

## 조적벽체의 형상비에 따른 접착형 보강재의 보강효과에 관한 실험적 연구

박병태<sup>1</sup>, 권기혁<sup>2\*</sup>

# An Experimental Study for Reinforcement Effect of Adhesive Stiffeners Depending on the Aspect Ratio of Masonry Wall

Byung-Tae Park<sup>1</sup>, Ki-Hyuk Kwon<sup>2\*</sup>

**Abstract:** Unreinforced masonry buildings are vulnerable to lateral forces, such as earthquakes, owing to the nature of the building materials, yet numerous masonry buildings remain in South Korea. Since the majority of the existing masonry buildings were constructed more than 20 years ago, it is necessary to develop economical reinforcement methods for disaster reduction. In this study, external reinforcement of masonry walls using adhesive stiffeners was proposed as a reinforcement method for such age-old masonry buildings. Six specimens were fabricated with different aspect ratios ( $L/H = 1.0, 1.3, \text{ and } 2.0$ ) and used in static load tests to verify the reinforcement effect. The experimental results showed that the masonry walls before and after reinforcement were ruptured by rigid body rotation and slip. In addition, the maximum strength, maximum displacement, and dissipated energy of the walls were shown to increase after applying the adhesive stiffeners, thereby verifying the excellent reinforcement effect. Furthermore, an adhesive stiffener design for unreinforced masonry walls was proposed based on the increased shear strength achieved by using conventional glass fibers. The proposed design can be used as a basis for the application of adhesive stiffeners for unreinforced masonry walls.

**Keywords:** Unreinforced masonry, Economical reinforcement methods, External reinforcement, Adhesive stiffeners, Shear strength

## 1. 서 론

벽돌은 주변에서 쉽게 재료를 구할 수 있기 때문에, 조적조 건축물을 구성하는 데 있어 오래전부터 사용되어 왔다. 이러한 벽돌은 미적 아름다움과 시공의 편의성, 제조비용의 절감 등으로 국내에서도 산업화가 시작되는 1970년대 이후 주택건물로서 대규모로 건설되기 시작하였다. 이러한 조적조 건축물은 1990년도까지 증가하다 이후 신도시의 등장으로 감소되기 시작하였으나, 현재에도 국내에서는 전체건물의 약 40% 가량 차지하는 등 여전히 많은 건물이 존재한다(NIDP, 2009). 현재 남아있는 조적조 건축물의 대부분이 1~2층의 저층건축물로 지어진지 20년 이상 되어 노후화되었으며, 줄눈과 벽돌의 계면접착력으로 저항하는 조적조 특성상 지진과 같은 횡력작용시 대규모피해가 예상된다. 따라서 최근에 조적조 건축물의 내진성능 향상을 위한 연구는 지속적으로 증가되어

왔으며, 현재의 구조기준을 맞게 보강이 필요하다. 기존 조적조 건축물은 벽체를 보강하여 벽체의 전단저항능력의 향상을 통해 건축물의 안전성확보하고 있다. 벽체의 전단보강은 슛크리트(shotcrete)를 활용한 표면처리, 그라우트 주입(grout injections), 코어신설(reinforced core) 등 다양한 방안이 적용되고 있으나(M. A. ElGawady, 2006), 사용공간의 감소, 질량 증가, 상대적으로 높은 비용에 대한 문제점이 있다(ElGawady M et al., 2004). 따라서 기존 노후화된 건물에 적합한 낮은 비용으로 구조적 성능을 높이는 새로운 보강법을 개발하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 경제성과 시공성이 우수하고 조적벽체의 전단저항능력을 향상시키고 취성파괴를 방지하는 접착형 보강재를 개발하여 구조적성능을 확인하고자 한다. 이를 위해 형상비( $L/H$ )를 주요변수로 하는 비보강 조적벽체를 제작하여 보강전·후 보강효과를 검증하고자 하였으며, 효율적인 적용을 위한 기초자료를 제시하는 것을 목적으로 수행하였다.

<sup>1</sup>정회원, 서울시립대학교 건축공학과 박사과정

<sup>2</sup>정회원, 서울시립대학교 건축공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: khkwan@uos.ac.kr

Department of Architectural Engineering, University of Seoul, 163 Seoulsirip-daero, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Korea.

•본 논문에 대한 토의를 2017년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 2. 기존연구

### 2.1 조적조 보강공법

일반적으로 건축물의 구조성능향상을 위해 내력증진, 변형능력, 에너지 흡수능력 향상법등과 같은 많은 공법들이 제안(MOE, 2011)되고 있으나, 조적조 건축물에서는 주로 내력증진과 변형능력의 향상법이 사용되고 있다. 조적조 건축물의 내력향상법으로는 콘크리트 또는 철골조의 설치(Ahn et al., 2013), 섬유보강재(Bae et al., 2012)의 설치 등이 있으며, 변형능력 향상법으로는 강제스크류 앵커(Ismail et al., 2011), 앵커타이(Anchor tie) 등이 시공되고 있다. 특히, 섬유보강재(fiber reinforced polymer)는 건축물에 추가적인 하중을 부가하지 않아 국외(Luccioni et al., 2011; Zhou et al., 2016)뿐만 아니라 국내(Kwon et al., 2004)에서도 다양한 방안으로 활발히 제안되고 있다. 이러한 기존 외부보강법은 건축물의 내진성능을 크게 향상시키지만, 분진발생, 공사기간의 장기화, 정밀시공요구와 더불어 낮은 경제성을 보여 건축물의 내진성능확보를 위한 보급에 제한적이다(Song, 2013). 따라서 국외에서는 노후된 조적조 특성에 적합한 보강목표와 생애주기비용을 고려한 경제성을 갖춘 새로운 보강공법에 대한 연구로 Fig. 1(a)~(b)과 같이 스틸코드(Steel cord), 천연섬유(Natural fiber), 폴리프로필렌(polypropylene)을 이용한 보강법을 제안하고 있다(Borri et al., 2011; Olivito et al., 2012; Paola, et al., 2004).

### 2.2 조적벽체의 파괴형태와 강도

FEMA 356에서는 조적벽체의 축응력, 형상비, 재료의 특성 등을 변수로 하여 비보강 조적벽체의 4가지 파괴모드(Rocking, Toe Crushing, Sliding, Diagonal Tension)에 대한 전단강도식을 아래와 같이 제시하고 있다.

$$V_r = 0.9\alpha P \left( \frac{L}{H} \right) \quad (1)$$

$$V_{tc} = \alpha P \left( \frac{L}{H} \right) \left( 1 - \frac{f_a}{0.7f'_m} \right) \quad (2)$$



(a) Steel cords



(b) Natural fiber strips

Fig. 1 Seismic retrofit materials of masonry wall

$$V_{bjs} = V_{mc} A_n = \frac{0.75(0.75v_{te} + P/A_n)}{1.5} A_n \quad (3)$$

$$V_{dt} = f'_{dt} A_n \left( \frac{L}{H} \right) \sqrt{1 + \frac{f_a}{f'_{dt}}} \quad (4)$$

여기서,  $\alpha$ 는 경계조건(칸틸레버: 0.5, 양단 고정: 1.0),  $P$ 는 벽체에 작용하는 축하중,  $L, H$ 는 각각 벽체길이와 유효 높이이며,  $f_a$ 는 벽체에 작용하는 압축응력,  $f'_m$ 은 조적조 압축강도( $f'_m = f'_{mc}/1.6$ ),  $V_{mc}$ 은 수평줄눈 미끄러짐 전단강도,  $A_n$ 은 벽량,  $f'_{dt}$ 는 프리즘 압축강도,  $v_{te}$ 는 모르타르 전단강도,  $f'_{dt}$ 는 사인장 전단강도이다. 전단강도는 위에서 제시하고 있는 4가지 전단강도 중 가장 작은 값으로 선정한다.

국내에서도 여러 연구자에 의해 국내 실정에 부합된 강도식을 제안하였다. 특히 Kwon(2007) 등은 UBC Code의 허용전단응력식을 기준으로 국내 실험체를 분석하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$V_m = 0.02 A_n \sqrt{f'_m} \quad (5)$$

여기서, 각 식의 기호는 (1)~(4)와 동일하다.

또한 한국시설안전공단에서는 FEMA와 같이 파괴모드별로 강도를 구한 후 그 중 작은 값을 벽체의 전단강도로 산정하고 있으며, 아래와 같이 제시하고 있다.

$$V_{tcr} = 1800\alpha \sqrt{P} \left( \frac{L}{H} \right) \left( 1 - \frac{f_a}{0.5f'_m} \right) \quad (6)$$

$$V_{bjs} = V_{mc} A_n = 0.56v_t + 0.005 \frac{P}{Lt} \frac{Lt}{1.5} \quad (7)$$

여기서, 각 식의 기호는 (1)~(4)와 동일하며,  $t$ 는 벽두께,  $v_t$ 는 모르타르의 전단강도로 현장시험자료를 사용하거나 판단에 의해 상태가 양호한 경우 0.2 MPa, 보통인 경우 0.15 MPa, 불량한 경우 0.1 MPa로 한다. 국내에서 제시된 강도식의 경우 가로줄눈파괴 및 대각인장파괴에 대해서는 FEMA식을 따랐으며, 강체회전 및 양단부압괴 파괴에 대해서는 FEMA식에 비해 다소 높게 평가하는 경향을 보였다.

### 2.3 접착형 보강재에 의한 보강효과

국내에서는 FRP나 접착형 보강재를 사용한 비보강 조적벽체의 보강설계에 대한 연구가 활발히 진행되지 않아 조적벽체의 보강 방안에 명확한 평가기준은 제시되어있지 않은 상태이다. 특히 접착형 보강재는 기존의 유사한 연구는 전무

한 실정임에 따라 본 연구에서는 접착형 보강재의 보강효과를 정량화하기 위해 보강재료(유리섬유)의 폭, 높이, 설계과단인장강도로 보강에 의해 증가된 전단내력을 평가한 아래와 같은 전단내력식(Kwon et al., 2007)을 활용하였다.

$$V_f = a \cdot b_g \cdot h_g \cdot A \cdot \sqrt{f_g} \quad (8)$$

여기서,  $a$ : 계수,  $b_g$ : 보강재료의 폭,  $h_g$ : 보강재의 높이,  $A$ : 개구부율의 영향도 계수,  $f_g$ : 보강재료의 설계과단인장강도 ( $N/mm^2$ ) 이다. 따라서 접착형 보강재로 보강된 조적벽체의 전단내력은 다음과 같다.

$$V_n = V_m + V_f \quad (9)$$

여기서,  $V_n$ 은 보강된 조적벽체의 전단내력,  $V_m$ 은 비보강조적조의 전단내력,  $V_f$ 는 보강에 의해 증가된 전단내력을 의미하며, 보강재의 내력 및 부착량에 비례하여 보강한 조적조의 전단내력은 증가하게 된다.

### 3. 접착형 보강재의 공법개요

#### 3.1 접착형 보강재의 구성

본 연구에서 제안한 접착형 보강재를 이용한 조적벽체 보강공법은 Fig. 2과 같이 조적벽체에 부착되는 접착제, 구조적 성능을 향상시키는 보강재, 방수효과 및 자외선 저항을 위한 코팅재 3부분으로 구성된다. 접착되는 부분은 접착강도는  $58 \text{ kg/cm}^2$ (철판, 신율은 11%, 비중은 1.5, 두께는 1.1 mm)의 특성을 지닌 부틸고무재료로 벽체파괴시에도 보강재의 부착성능 저하를 최소화 하였다. 보강재로 사용된 평라스(Flat lath)는 벽체의 내력 및 연성을 향상시키고, 면외방향의 파괴를 방지하기 위해 두께 0.7~0.8 mm로 하였다. 코팅재는 박막의 알루미늄 필름으로 하여 접착형 보강재에 외부환경에 대한 저항성을 높였다.

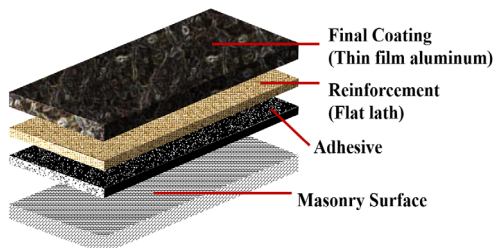


Fig. 2 Configuration of the adhesive stiffener

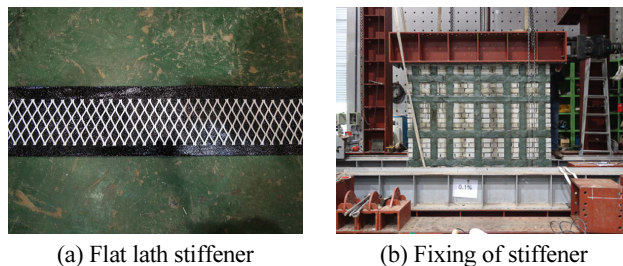


Fig. 3 Adhesive type stiffener

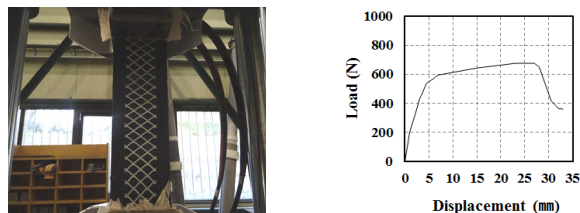


Fig. 4 Direct tensile tests on adhesive retrofit materials

#### 3.2 접착형보강재의 시공방법

접착형 보강재를 활용한 보강법은 거주중에도 시공이 가능하고 분진을 발생시키지 않기 위해 Fig. 3(a)~(b)와 같이 조적벽체에 프라이머를 활용하여 바탕처리후, 접착형 보강재를 벽체에 부착하며, 부착력이 떨어지는 곳은 토치나 다리미등을 이용하여 열을 가한 후 부착하였다. 접착형 보강재를 벽체에 부착시킨 후 롤러를 이용하여 일정한 압력을 가하면 부착성능은 더욱 향상되며, 마지막으로 양단부와 접착형 보강재의 교차부에는 에어타카를 이용하여 추가적인 고정을 실시하여 제품의 부착력저하로 인한 박락을 예방하였다. 따라서 본 연구에서 제안한 접착형 보강재를 활용한 공법은 시공난이도가 낮아 누구나 시공이 가능하고 보강속도가 빠른 것이 장점이다.

#### 3.3 접착형 보강재의 재료실험

제안된 보강재의 재료적 특성을 확인하고자 KS B 0802에 따라 재료의 인장실험을 만능재료시험기기(Universal testing machine)를 활용하여 수행하였다. 평라스의 폭 60~70 mm, 접착부재의 폭 100 mm로 제작된 접착형 보강재를 3개 인장가력하였으며, 수행된 실험결과는 Fig. 4와 같다. 보강재는 항복후에도 우수한 변형능력을 나타내어 비보강 조적벽에 부착시 벽체의 변형능력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 실험의 개요

#### 4.1 실험체 계획

본 연구에서는 접착형 보강재 부착시 벽체의 내력 및 연성,

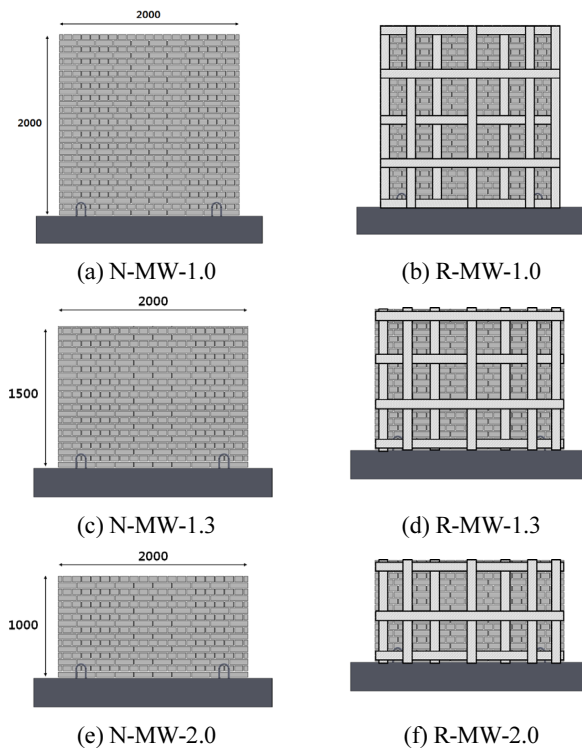


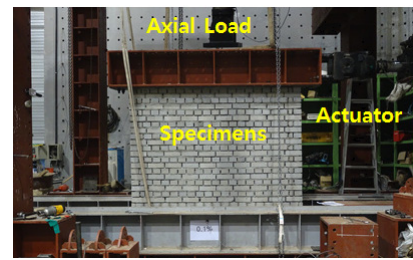
Fig. 5 Masonry wall specimens

Table 1 Description of the specimens

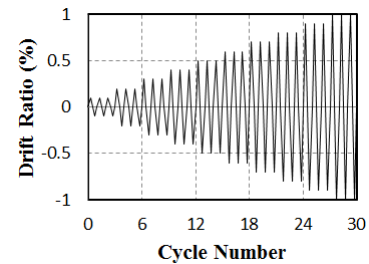
Specimens	Size(mm)	Retrofitting	Layer
N-MW-1.0	2000×2000	-	-
R-MW-1.0	2000×2000	○	2
N-MW-1.3	2000×1500	-	-
R-MW-1.3	2000×1500	○	2
N-MW-2.0	2000×1000	-	-
R-MW-2.0	2000×1000	○	2

N: Non Retrofitted, MW: Masonry Wall, R: Retrofitted, Number: Aspect ratio

소산에너지를 확인하기 위해 형상비에 따른 조적벽체실험체를 제작하였다. 실험체의 형상비(L/H)는 Fig. 5과 같이 1.0, 1.3, 2.0의 3가지로 하였으며, 각 형상비별 비보강실험체와 보강실험체를 제작하여 총 6개의 실험체를 제작하였다. 벽체의 두께는 일반적으로 조적조 건축물에 가장 많이 사용하는 1.0 B로 하였으며, 벽돌은 시멘트벽돌을 사용하였다. N-MW-1.0 실험체는 길이 2000 mm×높이 2000 mm로 제작된 비보강실험체이며, R-MW-1.0 실험체는 접착형보강재로 보강한 실험체이다. 접착형보강재는 세로로는 벽체의 양단부 첫 번째 Head Joint에서 30 cm간격으로 6개와 중앙부에 1개를 부착하여 한면에 총 7개씩 양면에 부착하였으며, 가로로는 양단부 Bed Joint에서 2단위에 각각 부착후 형상비 1.0 실험체는 추가로 3줄, 형상비 1.3 실험체는 2줄, 형상비 2.0 실험체는 1줄을



(a) Measurement set up



(b) Loading pattern

Fig. 6 Test set-up and loading history

부착하여 총 3~5개의 세로보강재를 부착하였다. 모든 실험체의 보강재의 적층수는 2점으로 하였으며, 조적벽체의 상·하부 각 1단씩은 에폭시를 사용하여 각각 가력프레임과 바닥콘크리트에 부착하여 고정하였다. 접착형 보강재가 부착된 보강 실험체 모두 부착력저하를 방지하고자 양단부 및 교차부에 타커핀을 이용하여 추가적인 고정을 실시하였으며, 실험체에 대한 상세는 Table 1과 같다.

## 4.2 가력 계획

실험체에 대한 가력은 변위제어방식에 의한 횡력가력으로 Fig. 6(a)~(b)와 같이 500 kN 액츄에이터(Actuator)를 사용하여 가력하였으며, 층간변위비 0.1%단위로 증가시켰다. 정·부 방향으로 3회씩 반복가력하였으며, 실험체에 작용하는 압축력은 강재프레임 및 블록을 통해 약 8 kN 작용하도록 하였다.

## 5. 실험결과 및 분석

### 5.1 벽체의 파괴형태 및 거동

형상비에 따른 무보강 조적벽체 및 접착형 보강재를 사용한 보강조적벽체의 실험결과는 Fig. 7와 Table 2에 정리하였다. 형상비(L/H) 1.0 실험체인 N-MW-1.0 실험체는 실험초기 벽체하부에서 균열이 발생하며 강제회전(Rocking)에 의한 하중감소가 나타났으며, 실험이 진행되면서 미끄러짐(Sliding)이 관찰되었다. 보강재로 보강한 R-MW-1.0 실험체는 보강전 실험체와 같이 벽체하부 줄눈에서 균열이 나타났으며, 실험

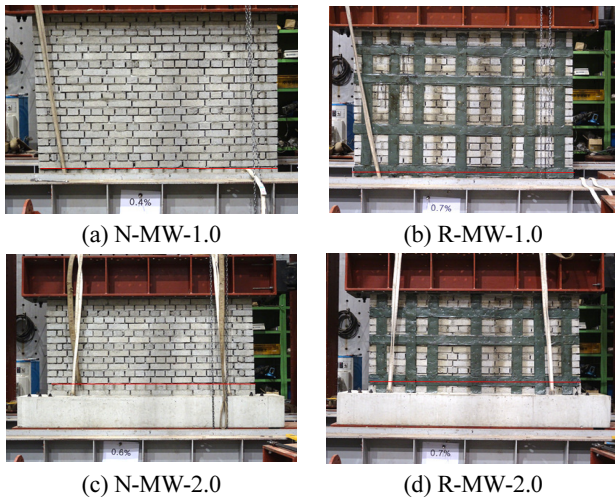


Fig. 7 Crack occurrence and failure mode

Table 2 Failure mode results

Specimens	Aspect ratio	Reinforcement variable	Failure mode
N-MW-1.0	1.0	-	R, S
R-MW-1.0	1.0	Adhesive reinforcements	R, S, TC
N-MW-1.3	1.3	-	R, S
R-MW-1.3	1.3	Adhesive reinforcements	R, S
N-MW-2.0	2.0	-	R, S
R-MW-2.0	2.0	Adhesive reinforcements	R, S

Failure mode: R(rocking), S(sliding), TC(toe crushing)

이 진행되면서 벽체의 모서리가 파괴되는 단부압괴(Toe crush)가 발생하였다. 형상비 1.3 실험체인 N-MW-1.3 실험체는 형상비 1.0 실험체와 같이 조적 하부줄눈에서 균열 발생 후 하중감소가 나타났으며, 층간변위비 0.4%에서 면외방향으로 거동하면서 급격히 하중감소가 나타나며 파괴가 발생하였다. 반면 접착형보강재로 보강된 R-MW-1.3 실험체는 보강전 실험체와 같이 강제회전과 미끄러짐이 발생하였으나, 실험이 진행되는 동안 하중감소가 나타나지 않았으며, 면외거동에 의한 파괴도 발생하지 않았다. 형상비 2.0 실험체인 N-MW-2.0 및 R-MW-2.0 실험체는 강제회전 및 미끄러짐에 의해 파괴가 발생하였으며, 특히 R-MW-2.0 실험체는 파괴 이후 하중감소 없이 변형만 증가하는 등 안정적인 파괴 후 거동을 보였다.

## 5.2 하중-변위관계

각 실험체의 변위비에 따른 하중의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 형상비 1.0의 비보강 조적 벽체인 URM-1.0 실험체

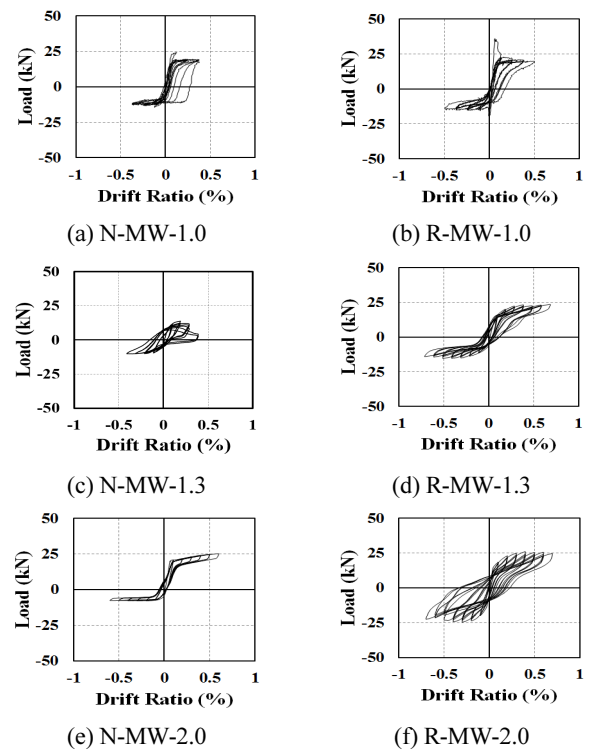


Fig. 8 Relationship of loading-drift ratio

는 층간변위비 약 0.12%에서 정방향 하중 24.19 kN, 부방향 하중 -14.81 kN, 평균 최대내력 19.5 kN 도달 후 균열이 발생하여 내력저하가 나타났으며, 층간변위비 0.2% 이후 더 이상의 하중 증가 없이 변위만 증가하였다. 최종파괴는 층간변위비 약 0.37%에서 실험체의 강제회전파괴에 의한 면외 거동에 의해 나타났다. RM-1.0 실험체의 최대하중은 층간변위비 약 0.1%에서 정방향 36.01 kN, 부방향 -19.25 kN, 평균내력 27.63 kN으로 나타나 비보강 조적벽체에 비해 매우 우수한 강도 상승효과를 나타냈다. 그러나 최대하중 발현 후 급격히 하중감소를 보였으며, 층간변위비 약 0.2% 이후 하중증가 없이 변형만 증가하였다. 이후 층간변위비 2.0% 벽체의 하단부 벽돌의 압괴가 나타나면서 실험을 종료하였다. 형상비 1.3의 비보강 벽체인 URM-1.3 실험체는 층간변위비 약 0.19%에서 정방향 하중 13.76 kN, 부방향 하중 -10.06 kN, 평균내력 11.91 kN에서 균열발생 후 급격히 하중감소가 나타났다, 층간변위비 약 0.38%에서 면외방향 거동에 의한 파괴가 발생하였다. 접착형보강재로 보강된 RM-1.3 실험체의 최대하중은 층간변위비 약 0.4%에서 정방향 하중 23.55 kN, 부방향 하중 -15.41 kN, 평균내력 19.48 kN으로 나타나 접착형 보강재 설치에 따른 우수한 강도 상승효과를 보였으며, 최대하중 이후에도 실험이 종료된 층간변위비 0.7%까지 안정적인 이력곡선형태를 보였다. 형상비 2.0의 비보강 벽체인 URM-2.0 실험체의 최대하중은 실험이 종료된 층간변위비 0.6%에

서 정방향 하중 25.2 kN, 부방향 하중 -7.90 kN, 평균내력 16.55 kN을 보였으며, 실험종료시까지 낮은 에너지 흡수능력을 나타냈다. 접착형 보강재로 보강된 RM-2.0 실험체의 최대하중은 증강변위비 0.4%에서 정방향하중 26.05 kN, 부방향 하중 -24.73 kN, 평균내력 25.39 kN을 보였으며, 실험이 종료시까지 에너지 흡수능력이 크고 안정적인 형상의 하중-변위비 곡선형상을 나타냈다. 모든 실험체의 하중-변위비에서 정가력이 부가력에 비해 내력이 크게 나타나는 경향을 보였으며, 이는 낮은 횡변위비에서 항복이 발생하는 조적벽체의 특성으로 각 변위비에서 첫가력을 정가력에서 진행함에 따라 균열 발생이후 잔류변형 및 강성저하로 부가력에서 내력저하가 발생한 것으로 판단된다.

### 5.3 최대내력 및 최대변위

접착형 보강재시공에 따른 조적벽체의 최대내력, 최대변위 등을 분석하여 Fig. 9에 나타내었다. 여기서 최대내력비와 최대변위비는 각각 정방향과 부방향 하중의 평균값을 기준으로 하였으며, 비보강실험체에 대한 백분율로 하였다.

형상비에 따른 조적벽체 보강실험체는 비보강 실험체와 비교하여 최대내력은 최소 1.42배, 최대 1.63배로 향상되었고, 최대변위는 최소 1.16배, 최대 1.89배 향상되었다. 특히 형상비 1.3 실험체의 보강효과가 크게 나타났으며, 이는 가력 초기 균열발생에 따른 강제회전과 슬라이딩에 의한 파괴와 함께 면외거동 이 시작되면서 낮은 내력과 연성을 보였기 때문으로 판단된다.

### 5.4 접착형보강재로 보강한 조적벽의 전단내력

비보강 조적벽체의 전단내력 및 접착형보강재로 증가된 전

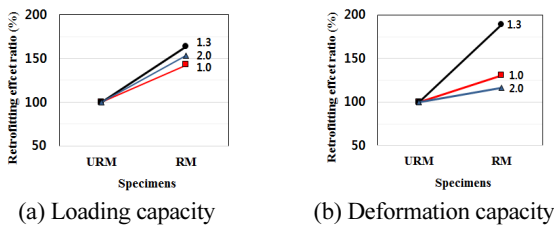


Fig. 9 Retrofitting Effect

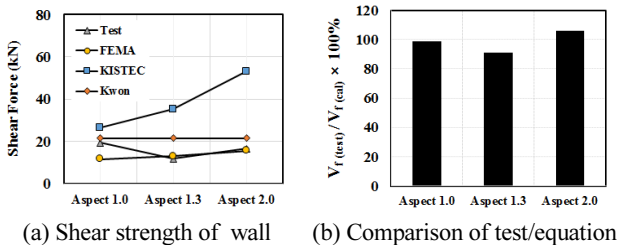


Fig. 10 Shear Strength of Wall Specimens according to Equations

단내력에 대한 결과는 Fig. 10과 같으며, 실험에 의한 전단강도는 각 변위비의 정(+)방향의 최대지점과 부(-)방향의 최대 지점의 평균값으로 정의하였다.

FEMA의 제안식에 따라 예측한 결과, 실험결과와 같이 모든 비보강 실험체는 강제회전에 의해 전단강도가 결정되었으며, 실험결과값의 약 0.4~0.8배 수준으로 과소평가되었다. 한국시설안전공단 및 권기혁의 제안식은 형상비 1.0에서는 실험결과값의 약 1.1배~1.2배수준으로 비교적 유사한 값을 보였으나, 형상비 증가될수록 실험결과 값에 비해 과대평가되었다. 이는 제안식에서는 높이 감소에 따른 감소된 축력에 비해 형상비의 증가가 더 크게 나타나 이론값은 커졌으나, 실험값에서는 작아졌기 때문으로 생각되며, 기존 국립방재연구소 (NDMI, 2008) 및 Kwon et al.(2007)의 연구에서도 유사한 경향을 보였다.

접착형 보강재에 의해 증가된 전단내력은 식(8)를 이용하여 계산하였고, 개구부율의 영향도를 고려하는 A는 Kwon et al.(2007)에 의한 실험값인  $(1+2\alpha)^3$ 의 형태로 정의하였다. 여기서, 계수  $\alpha$ 는 면내 벽체 개구부 비율이며, 실험체별로 제안식을 대입하여 얻어진 계수값을 평균하여 0.025의 값을 얻었다. 따라서 최종 도출된 식은 다음과 같다.

$$V_f = 0.025b_g h_g (1+2\alpha)^3 \sqrt{f_g} \quad (10)$$

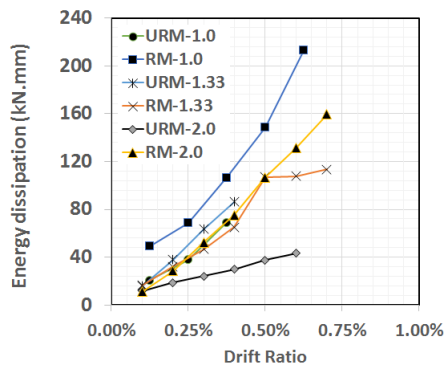
도출된 식을 통해 실험체에 적용해본 결과 접착형 보강재로 증가된 전단내력에 대한 예측값과 실험값의 차이는 모두 10%내외로 유사하였다.

### 5.5 에너지소산능력 비교

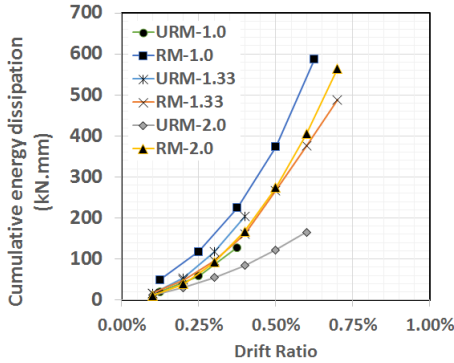
에너지소산능력(Energy dissipation capacity)은 지진발생 시 구조물에 가해지는 지진에너지를 구조체에서 흡수할 수 있는 능력으로 건축물의 내진성능을 평가함에 있어 중요한 지표가 된다. 따라서 일반적인 구조물은 에너지소산능력이 우수하도록 설계해야하며, 본 연구에서 계산된 에너지 소산량은 Fig. 11에 나타내었다. 여기서 에너지 소산량은 각 변위비의 첫 번째 사이클의 하중-변위곡선의 면적으로 계산하였다.

형상비 1.0, 1.3, 2.0인 비보강 실험체의 에너지소산은 각 변위비에서 유사하게 나타났으며, 최종변위비 기준 각각 69.25 kN·mm, 86.22 kN·mm, 43.25 kN·mm로 매우 낮은 에너지소산능력을 보였다. 그러나 접착형 보강재로 보강시 실험체의 최종 소산에너지는 RM-1.0, RM-1.3, RM-2.0에서 각각 213.11 kN·mm, 113.43 kN·mm, 159.28 kN·mm로 나타나 비보강실험체에 비해 최대 3.68배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

각 변위비의 소산에너지를 합산한 누적에너지소산은 형상비에 상관없이 보강전 실험체는 평균 165.73 kN·mm, 보강후



(a) Energy dissipation



(b) Cumulative energy dissipation

Fig. 11 Energy dissipation

실험체는 평균 546.5 kN·mm로 나타나 접착형보강재 설치에 따른 약 3.3배의 소산에너지의 향상이 있었다.

## 6. 결론

본 연구에서는 조적벽체 형상비에 따른 접착형 보강재를 설치시 보강효과를 확인하고자 실험체를 제작하여 가력시험을 실시하였다. 형상비에 따른 보강효과 검증을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 비보강 조적벽체에 낮은 축력이 가해졌을 때 조적벽체는 강체회전에 의해 주요파괴가 발생하였고 벽체의 하부에 균열이 나타나는 특징이 있다.
- 2) 하중-변형곡선에서의 최대하중은 보강전 · 후 형상비 1.0 실험체에서 크게 나타났으며, 보강실험체는 조적벽체에 균열에 따른 항복이후 소성변형영역이 길게 나타나는 특징이 있다.
- 3) 형상비에 상관없이 접착형 보강재 설치에 따른 실험체의 최대내력 및 최대변위는 증가하였으며, 특히 형상비 1.3 실험체의 보강효과가 가장 크게 나타났다.
- 4) 보강된 조적벽체의 전단강도식은 비보강 조적벽체의 전

단강도와 보강에 의해 증가된 강도를 합한 것으로 나타낼 수 있으며, 실험결과를 분석하여 제안된 식과 실험값은 10%미만의 차이를 보여 비교적 정확한 예측을 하는 것으로 나타났다.

- 5) 비보강 실험체의 에너지 소산능력은 형상비에 관계없이 유사하게 낮은 수치를 보였으며, 접착형 보강재의 시공시 약 3.3배의 에너지소산의 향상을 보였다.

본 연구를 통해 접착형보강재를 이용하여 비보강 조적벽체의 횡력에 따른 내력 및 연성향상을 확인하였다. 그러나 조적 조건물은 면내파괴 뿐 아니라 면외거동에 의한 파괴, 개구부에 대한 적용성, 시간에 따른 부착력 저하에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 하며, 이론식의 정립과 같은 이론 연구가 수반되어야 한다.

## 감사의 글

이 논문은 2015년 이공계전문가 기술개발서포터즈사업 (C0336021)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## References

- Borri, A., Castori, G., and Corradi, M. (2011), Shear Behavior of Masonry Panels Strengthened by High Strength Steel Cords, *Construction and Building Materials*, 25, 494-503.
- Ahn, C. W., Yoon, J. H., Song, D. Y., Chan, B. S., and Min, C. H. (2012), The Design Considerations of Steel Braced Frame for Seismic Retrofit Through Increasing the Lateral Strength of Existing RC Buildings, *Earthquake Engineering Society of Korea*, 17(6), 293-303.
- ARYA, A. S., BOEN, T., and ISHIYAMA, Y. (2013), Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 75-81.
- B. Luccioni, V. C. Rougier (2011), In-plane Retrofitting of Masonry Panels with Fibre Reinforced Composite Materials, *Construction and Building Materials*, 25, 1772-1788.
- Bae, B. I., Yun, H. J., Choi, C. S. and Choi, H. K. (2012), Evaluation of Shear Strength of Unreinforced Masonry Walls Retrofitted by Fiber Reinforced Polymer Sheet, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 24(3), 305-313.
- Bibiana L. and Viviana C. Rougier (2011), In-plane retrofitting of masonry panels with fibre reinforced composite materials, 25, 1772-1788.
- Catherine, P., Thanasis, T., and Maria, L. (2011), Externally Bonded Grids as Strengthening and Seismic Retrofitting Materials of Masonry Panels, *Construction and Building Materials*, 25, 504-514.
- Zhou, D., Zhou, S., and Lei, Z. (2016), In-Plane Shear Behaviors of Constrained Masonry Walls Externally Retrofitted with BFRP, *Journal of Composites for Construction*, 20(2), 1-12.
- ElGawady, M., Lestuzzi, P., and Badoux, M. (2004). A Review of

- Conventional Seismic Retrofitting Techniques for URM. In: proceedings of 13th international brick and block masonry conference. Amsterdam, July, Paper No. 89.
- International Association for Earthquake Engineering (2004), Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction, National Information Center of Earthquake Engineering, 34-39.
- Ismail, N., Petersen, R. B., Masia, M. J., and Ingham, J. M. (2011), Diagonal Shear Behaviour of Unreinforced Masonry Wallettes Strengthened Using Twisted Steel Bars, *Construction and Building Materials*, 25(12), 4386-4393.
- Kashyap, J., Willis, C. R., Griffith, M. C., Ingham, J. M., and Masia, M. J. (2012), Debonding Resistance of FRP-to-clay Brick Masonry Joints, *Engineering Structures*, 41, 186-195.
- Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (2011), Assessment guideline for seismic performance of existing building, 63-66.
- Kwon, K. H., Lee, S. C. and Jung, W. C. (2007), Proposing the Shear Force Equation of GFRP Strengthened Masonry Wall, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 7(1), 1-9.
- Kwon, K. H., Choi, S. M., Lee, S. C. and Cho, S. M. (2004), Seismic Capacity Strengthened by GFS of Masonry Buildings with Earthquake Damage, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 8(1), 231-237.
- Lee, J. H., Kim, K. M., Kim, H. W., Kim, J. S., Oh, S. H., and Lee, S. H. (2014), Seismic Retrofitting Effects of Retrofitted Unreinforced Masonry Walls Using Metal Laths and Steel Plates, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(3), 63-70.
- ElGawady, M. A. Lestuzzi, P., and Badoux, M. (2006), Aseismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Walls Using FRP, *Composites Part B: Engineering*, 37, 148-162.
- National Disaster Management Institute (2009), Study on seismic retrofitting techniques for unreinforced masonry buildings, 25-38.
- Olivito, R. S., Dubois, F., Veneri, A., and Zuccarello, F. A. (2012), Experimental and Numerical Analysis of Masonry Macro Elements Reinforced by Natural-Fibre-Composite Materials, 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Rome, Italy, pp. 1-8.
- Paola, M., and Kimiro, M. (2004), Proposal of effective technique for retrofitting unreinforced masonry dwelling, 13th World conference on earthquake engineering vancouver, Canada, Paper No. 2431.
- Park, B. T., and Kwon, K. H. (2015), An Experimental Study on Strength and Ductility of Masonry Buildings Retrofitted by Metal Connectors, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(3), 113-121.
- Rosamaria, C. (2014), Mechanical performance of natural fiber reinforced composites for the strengthening of ancient masonry, University of Calabria.
- Song, C. U. (2013), An Improvement Scheme on the Execution System of Seismic Retrofit School Projects, Master Thesis, Department of Construction Management, Chung-Ang University, Seoul, Korea, 6-7.

Received : 09/26/2016

Revised : 03/27/2017

Accepted : 06/15/2017

---

**요 지** : 비보강 조적조 건축물은 재료의 특성상 지진과 같은 횡력에 취약하지만, 국내에는 여전히 많은 조적조 건물이 존재한다. 특히 현재 남아있는 조적조 건축물의 대부분이 20년 이상 노후화됨에 따라 재해감소를 위한 경제성 있는 보강법의 개발이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 노후된 조적조 건축물의 보강법의 하나로 접착형 보강재를 활용한 조적벽체의 외부 보강법을 제시하였으며, 보강효과 검증을 위해 총 6개의 실험체를 형상비(L/H=1.0, 1.3, 2.0)를 변수로 제작하여 정적가력실험을 실시하였다. 실험결과, 보강전·후 조적벽체는 강제회전 및 미끄러짐에 의해 파괴가 발생하였고, 접착형 보강재 부착후 벽체의 최대내력, 최대변위, 소산에너지량은 증가하여 우수한 보강효과를 확인하였다. 또한 기존 유리섬유를 활용한 증가된 전단강도식에 착안하여 비보강 조적벽체에 대한 접착형 보강재의 설계안을 도출하여 적용을 위한 기초자료를 제공하였다.

**핵심용어** : 비보강 조적조, 경제적인 보강법, 외부보강, 접착형보강재, 전단강도

---