

## 유리섬유보강에 의한 조적조 건축물의 내진 성능향상에 관한 실험 연구

### An Experimental Study on Seismic Capacity Improvement of Masonry Buildings by Glass Fiber Reinforced Methods

조 상 민\* / 최 성 모\*\* / 권 기 혁\*\*\* / 이 수 철\*\*\*\*

Cho, Sang-Min / Choi, Sung-Mo / Kwon, Ki-Hyuk / Lee, Su-cheul

#### Abstract

Whereas The masonry buildings are safe under gravity loads, most of the masonry buildings in Korea have many structural defects under a lateral load due to an earthquake acceleration. But there is no earthquake resistant design code for the Masonry in Korea. Therefore it may be necessary to be set up an seismic code and be suggested for reinforcing methods for existing masonry buildings. The purpose of this paper is to investigate seismic capacity of reinforced masonry buildings subjected to earthquake load. The typical two models of the masonry building in Korea are selected through a site investigation. On the basis of test results, the fiber reinforcing effect of the two models was considerable. The maximum base shear force and deformation capacity for RM were remarkably increased. It was found that the pier rocking failure was a dominant mode for the RM buildings during a seismic excitation.

#### 요 지

조적조 건축물은 작은 인장력과 연성능력으로 인해 지진발생시 심각한 피해상황을 나타내고 있다. 국외의 경우 조적조 건축물에 대한 여러 가지 보강방법이 사용되고 있으나, 국내의 경우 여러 가지 제약에 의하여 유리섬유보강방법을 사용하는 것이 적절하다. 본 논문에서는 유리섬유보강을 통한 지진피해를 입은 조적조 건축물의 내진성능에 관해 평가하였다. 실험결과 유리섬유보강 실험체의 최대 밀면전단력과 변형이 현저하게 증가하였다. 파괴이후에도 유리섬유보강 실험체는 계속 하중에 저항하는 것으로 나타났다. 유리섬유보강 실험체는 전반적으로 pier 부분에서 Rocking 거동을 보였다.

#### 1. 서 론

조적조 건축물은 과거뿐만 아니라 현재에도 우리나라 저층 주거형태의 많은 부분을 차지하고 있다. 그러한 조적조 건축물은 일부 개구부의 인방을 제외하고는 기둥과 보가 없는 벽식구조로서 어느 정도의 강성을 보유하고 있기 때문에 수직하중과 풍하중과 같은 정적인 하중에 대해서는 상당한 저항력을 가지지만, 큰 자중 및 작은 인장력과 연성능력으로 인하여 지진하중과 같은 동적하중에 대하여 매우 취약한 단점을 가지고

있다. 그러나 우리나라의 내진 설계에서는 5층 미만의 소규모 건물에 대해서는 내진설계가 의무화되어 있지 않으므로 대부분 2~3층의 저층인 우리나라의 조적조 건축물의 경우에는 지진에 대하여 많은 인명피해를 초래할 수 있다. 따라서 본 연구는 국내 현실을 최대한 반영한 조적조 건축물의 진동대 실험을 통하여 조적조 건축물의 지진하중에 대한 구조적인 내진성능을 평가하고 합리적인 조적조 건축물의 내진보강 방법에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

\* 서울시립대학교 석사과정(csm123@hanmail.net)

\*\* 정회원, 서울시립대학교 조교수

\*\*\* 정회원, 서울시립대학교 부교수

\*\*\*\* 정회원, 서울구조안전기술사사무소 소장

## 2. 조적조 건축물의 특징

조적조 건축물은 하중을 지지하는 직각방향으로 배열된 면내벽체와 바닥을 이루는 다이아프램으로 구성되어 있다. 외국의 경우 대부분 목재나 경량철재 등을 사용한 바닥구조로 되어 있어서 비강체 격막으로 되어 있는 반면에 우리나라는 온돌문화로 인하여 바닥을 철근콘크리트슬래브를 사용하여 강체로 된 격막으로 되어 있다. 건물에 지진하중이 가해지면 건물의 기초는 지반으로부터 지진하중을 면내벽체로 전달한다. 면내벽체에 의해 걸려진 나머지 지진하중은 격막에 전달되고 격막은 지진하중을 면외벽체에 전달한다. 비강체 격막이면 면외벽체는 면내벽체의 변위보다 더 큰 변위를 보인다. 수평하중의 대부분 면내벽체가 부담하게 된다.

조적조 벽체의 면내 횡력에 의한 파괴 메커니즘은 휨, 전단, 미끄러짐 및 Rocking 또는 이들의 혼합된 형태로 나타나며, 이러한 조적조의 지진피해 순서는 ① 벽과 바닥사이의 균열, ② 코너와 벽 연결부에서의 균열, ③ 면외벽체의 붕괴, ④ 인방보와 파라펫의 균열, ⑤ 구조벽체의 대각선 균열, ⑥ 구조벽체의 일부 붕괴, ⑦ 건물의 일부 또는 전체 붕괴 순서이다.

## 3. 실험

### 3.1 실험체 계획

본 실험체는 2001년 서울시의 “조적조 건축물에 대한 내진 보강방안”에 관한 연구에서의 현황조사결과를 토대로 국내 조적조 건축물의 표준형식과 구조적 특성을 반영하여 다음과 같이 실험체를 계획하였다.

- (1) 현황조사결과 가장 일반적인 규모인 15~20평형(20평 이하)에 대한 표준도면과 벽량을 기준으로

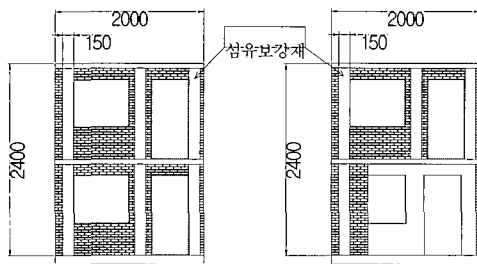
설정하였다.

- (2) 원형 모델의 규모가 1개층 바닥 면적이 3m×4m 이고 층고가 2.4m인 2층의 주거형과 주상복합형 실험체를 Fig. 1과 같이 1/2Scale로 축소하여 제작하였으며, 유리섬유보강재를 부착하여 비보강 실험체(A형, B형)와 비교하기 위해 보강 실험체(RA형, RB형)를 제작하였다.
- (3) 보강방법은 유리섬유보강재 보강방법을 사용하였다. 이 보강공법은 공사가 쉽고 벽체의 강성 증가에 효과적인 반면 화재에 취약한 면을 가지고 있다. 하지만 화재와 지진이 동시에 일어날 가능성은 거의 없으며, 화재 발생하는 경우는 내진보강과는 상관없이 조적 구조물은 그 구조적 성능을 다함으로 화재에 대비한 별도의 피복 시공을 하지 않는다. 유리섬유는 조적벽체 표면을 바탕처리한 후 프라이머와 접착제를 도포하고, 현장에서 유리섬유와 에폭시를 기계적으로 혼합한 복합재로서 보강부위에 부착하였다.

### 3.2 실험체 제작

#### (1) 재료 실험

실험에 사용된 모르타르의 배합비는 시멘트:모래 = 1 : 2.5~3.0이고, 줄눈두께는 10mm정도인 원형 시험체와 크기를 1/2 축소 시험체에 대해 실시하였다. 축소 벽돌의 크기는 95×45×28.5mm이며, 크기를 축소하지 않은 원형상태의 골재를 사용하고, 축소 시멘트 벽돌의 배합비는 1회 믹서 분에서 모래 : 석분 : 시멘트 : 물 = 650kg : 650kg : 170kg : 60ℓ로 하였다. 각 시험체별 재료 실험 결과는 다음과 같다.



(a) 주거형(RA형) W2 (b) 주상복합형(RB형) W2 (c) 실험체 사진 W2

그림. 1 유리 섬유 보강 실험체의 개요

표 1. 재료 실험 결과

	접착강도	압축강도		
		2켜	3켜	4켜
원형 시험체	1.72 kgf/cm <sup>2</sup>	148 kgf/cm <sup>2</sup>	126 kgf/cm <sup>2</sup>	123 kgf/cm <sup>2</sup>
축소 시험체	2.25 kgf/cm <sup>2</sup>	191 kgf/cm <sup>2</sup>	168 kgf/cm <sup>2</sup>	159 kgf/cm <sup>2</sup>
축소/원형	131%	129%	133%	129%

실험체에서 사용한 유리섬유보강재는 유리섬유와 에폭시를 기계적으로 합침 시켜 현장 제작한 TYFO SEH51 복합재(에폭시+유리섬유)이며 보강 재료의 물성치를 Table 2에 나타내었다.

**(2) 실험체 제작 과정**

실험체는 막힘줄눈쌓기법으로 0.5B 쌓기로 시공하고, 줄눈두께는 5mm정도로 하였으며 개구부의 틀은 50mm×50mm단면의 목재를 사용하였다.

실험체는 바닥 슬래브에  $\phi 40$ 의 구멍을 12개 뚫어 진동대 바닥에 연결하였으며, Fig. 2와 같이 W3 벽체

에 9개의 변위계(LVDT)와 7개의 가속도계(Accelerometer)를 설치하여 각층의 상대변위와 절대 가속도를 체크하였다. Reference Frame에 연결된 변위계에서 측정된 변위값은 1층바닥의 변위와 비교하여 상대변위값을 찾을 수 있다.

가력하중은 Kern County Earthquake(N21E)을 1/2 축소된 모델에 지진파를 사용할 때는 같은 크기의 가속도 효과를 적용하기 위해 시간축을  $\sqrt{2}$ 배 축소하여 사용하였다.

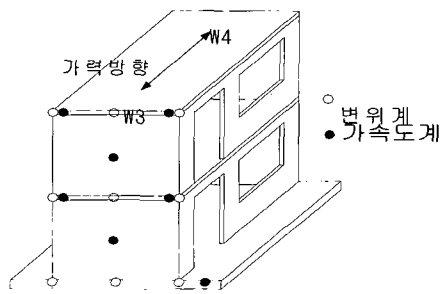
원형실험체와 축소실험체간의 상사성을 만족시키기 위한 방법으로 부가질량을 사용하였다.

**표 2.. TYFO SEH51 복합재(에폭시+유리섬유)의 물성치**

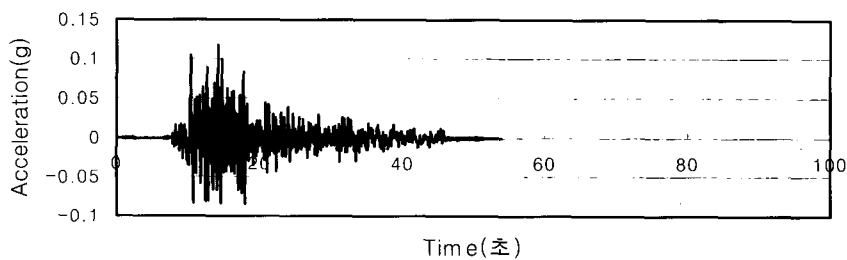
설계과단인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	과단변형률 (%)	두께 (mm)
5,000	2.52×10 <sup>5</sup>	2.0~3.0	1.3

**표 3. 하중단계**

단 계	예 상 PGA	진 도 (MMI)	내 용
1단계	0.08g	7	A형, B형, RA형, 그리고 RB형에 가력
2단계	0.11g	7	
3단계	0.15g	7	
4단계	0.2g	8	
5단계	0.3g	8	RA형, RB형에 가력
6단계	0.35g	9	
7단계	0.5g	9	
8단계	0.55g	9	RA형만 가력



**그림 2. 계측기 설치**



**그림 3 Taft 지진파(축소 지진파)**

**표 4. 실험체 중량(tonf)**

	원형 (마감포함)	축소	부가질량		
			1층바닥	2층바닥	지붕
주거형	32.88	3.26	2.34	1.58	1.04
주상복합형	32.95	3.28	2.30	1.58	1.08

#### 4. 실험결과와 분석 및 고찰

##### 4.1 실험체의 균열 형상

유리섬유보강 실험체는 하중단계 4단계의 지진하중을 받고 손상을 입은 상태에서 Fig. 1과 같이 보강하였다. 유리섬유로 보강된 실험체는 비보강 실험체에 비해 상당한 내진성능을 보여주었다. A형은 5단계에서 파괴가 일어났지만 RA형은 5단계에서 비보강된 면외벽체 W3에 일부 휨 균열만이 발생하였으며 A형보다 3단계나 더 진행된 0.55g에 해당되는 8단계에서 보강벽체가 파괴되는 현상이 발생하였다. RA형은 7단계에서 1층과 2층의 Pier 부분에 전단균열이 심하게 발생하기 시작하여 8단계에서는 유리섬유로 보강하지 않은 면내벽체의 일부가 파괴되어 떨어져 나갔다. A형의 경우 균열이 1층에 집중적으로 나타난 반면에 RA형은 2층에서도 균열이 상당히 발생하여 1층과 2층에 전반적으로 균열이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 보강으로 인하여 1층과 2층이 더욱 더 일체화되었기 때문이다. 또한 Pier 부분의 보강으로 인하여 Pier 부분은 균열이 적었으나 개구부 인방의 중앙부분에 집중적으로 균열이 발생하였다.

RB형 역시 B형 실험체에 비해 상당한 내진성능을 보여주었다. RB형은 6단계에서 면내 벽체에 휨균열이

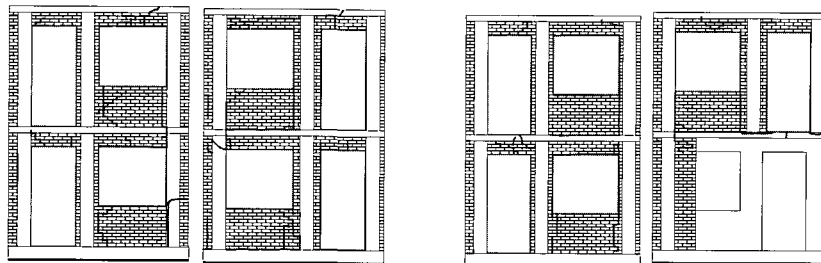
발생하였고, 최대 지반가속도가 0.5g인 7단계에서 보강 섬유에 균열이 발생하였으며 전체 구조물의 Rocking 거동이 관찰되었다. RB형 역시 1층과 2층 벽체에 전반적으로 비슷하게 균열이 분포되었다.

1층 벽체가 일부 제거된 BB형보다 BA형이 한 단계 더 높은 지진하중에 견딤으로써 비정형성 건물보다 정형성 건물의 유리섬유보강이 더 효과적임을 알 수 있다. 또한 보강되지 않은 면내벽체가 먼저 균열되고 파괴가 일어남으로 이 부분의 보강 역시 절실히 필요하다.

##### 4.2 밀면전단력

실험체의 최종단계의 최대밀면전단력은 RA형의 경우 A형보다 약 3배 정도 증가하였고, RB형은 B형보다 약 2배 정도 증가하였으며 이것으로 RA형의 보강효과가 RB보다 더 큼을 알 수 있었다.

RA형은 A형보다 최대밀면전단력의 증가율이 1단계부터 차이가 났지만 RB형과 B형은 4단계까지는 거의 같은 크기의 최대밀면전단력을 가지며 5단계이후부터 RB형이 갑작스럽게 최대밀면전단력이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 그리고 7단계에서 최대밀면전단력이 줄어들었다. 이것은 이 단계에서 1층 벽체가 갑작스럽게 파괴를 일으키기 때문이다.



(a) RA형 W1, W2 벽체 균열도

(b) RB형 W1, W2 벽체 균열도

그림 4. 실험체의 균열형상 (최종단계)

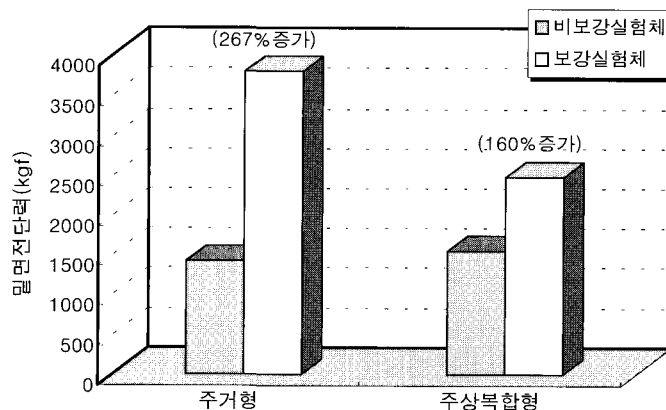


그림 5. 실험체의 최종단계의 최대밀면전단력

### 4.3 단계별 최대변위

RA형 실험체의 경우 2층바닥의 최종단계에서 최대 변위는 A형 보다 277% 증가하였고 RB형은 B형보다 199% 증가하였다. RA형과 RB형은 모두 7단계에서 급격히 변위가 증가하였다. 이것은 이 단계에서 실험체의 파괴가 일어났음을 나타내고 있다. 하지만 RA형은 파괴가 일어난 후에도 계속 한 단계 더 진행됨으로써 하중에 더 저항할 수 있음을 보여주었다. 모든 실험체가 파괴 전까지는 선형 거동을 하는 것을 볼 수 있었다.

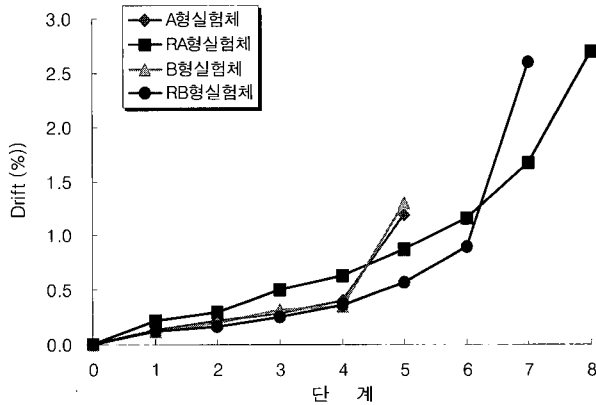


그림 6. 단계별 최대 변위

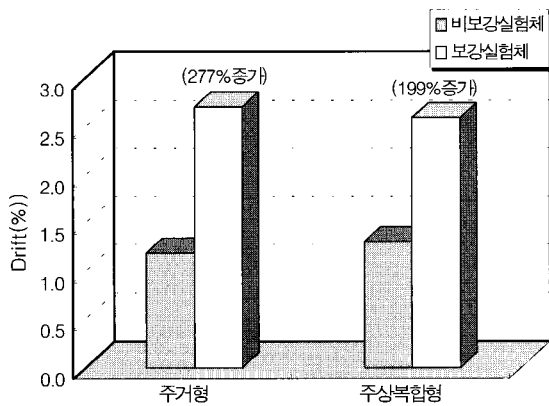


그림 7. 2층바닥 최대 변위

### 4.4 에너지 소산능력

구조부재의 변형능력이 크다는 것은 외력에 대한 에너지 소산능력이 크다는 것을 의미한다. Fig. 8은 주거형과 주상복합형의 각 단계별 최대 에너지 소산능력을 비교하고 있다. 최대 에너지 소산능력은 최대하중-변위 곡선으로 둘러 쌓인 면적 값으로 구했다. RA형은 6단계이후 급격하게 최대 소산 에너지가 증가하였으며 최종 단계 시점을 기준으로 하여 A형보다 최대 소산 에너지가 5.02배가 증가하였고, RB형은 B형보다 2.41배 증가하여 연성능력이 상당히 증가함을 보였다.

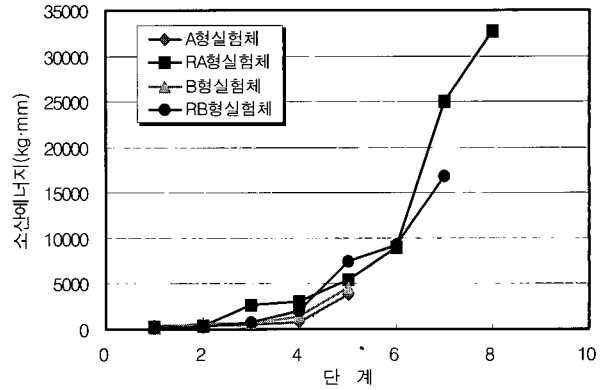


그림 8. 최대 에너지 소산능력

### 4.5 단계별 강성 변화

면내벽체 W2의 단계별 강성변화를 그림 9에 나타내었다. 하중과 변위와의 관계를 바탕으로 실험체들의 강성을 산정하였다. 일반적으로 조적조 건축물에 있어서의 강성저하는 벽돌과 모르타르의 전단 마찰응력이나 부착응력의 상실로 인하여 발생하기 때문에 비보강 실험체(A형과 B형)의 경우 단계별로 지진하중에 의하여 점차 강성이 감소하였다. 특히 A형의 경우 벽체 W2는 각 pier의 폭이 B형 실험체의 벽체 W2의 폭보다 상당히 작기 때문에 강성저하가 큰 것으로 사료된다.

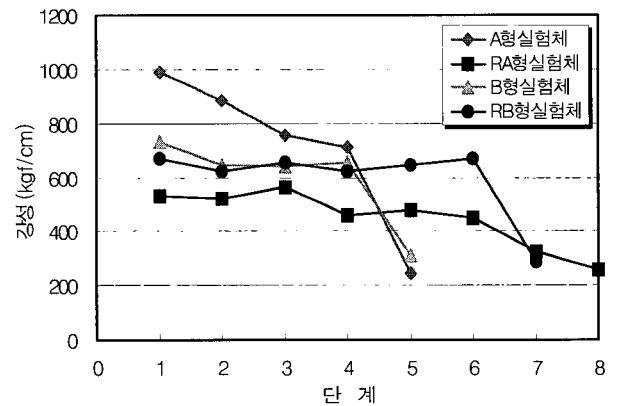


그림 9. 단계별 실험체의 강성 변화

유리섬유보강 실험체는 유리섬유보강을 하였지만 1단계에서의 강성의 값이 비보강 실험체의 4단계일 때의 강성의 값과 비슷하여 강성의 증가가 없는 것으로 나타났다. 하지만 비보강 실험체와 달리 강성의 저하가 작게 나타났다.

## 5. 결 론

RA형과 RB형 모두 휨균열이 발생한 후 전단균열과 Rocking 거동이 일어났다. 보강 실험체는 비보강 실험체에 비해 1층과 2층에 균일하게 균열이 나타났다. 또한 유리섬유로 보강한 실험체는 비보강 실험체보다 최대전단내력 및 연성이 현저하게 증가하였다. 유리섬유 보강을 한 RA형과 RB형은 A형과 B형보다 2~3단계 더 진행된 상태에서 파괴가 일어났고 보강된 실험체는 파괴이후에도 계속 하중에 저항하는 것으로 나타났으며, 1층의 최대변위에서도 보강 실험체는 비보강 실험체보다 약 3배 이상 증가함으로써 상당한 보강효과가 있음을 보여주고 있다. 특히 정형인 RA형의 경우 비정형의 RB형보다 보강효과 더 크게 나타났다.

RA형과 RB형은 2층바닥과 지붕층이 일체가 되어 거동하므로 단자유도 모델로 치환하여 건축물의 내진 성능을 평가할 수 있다. 따라서 앞으로 더 많은 실험을 통하여 간단한 설계식과 유한요소모델을 제안하며, 열화도 등을 고려하고 다른 여러 가지 보강방법을 사용하여 지진에 대한 현실적인 보강방법에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 서울특별시 (2001) “조적조 건축물에 대한 내진 보강 방안”
- 한국전산구조공학회, “구조물의 내진설계”, 전산구조공학회 기술강습회
- 대한건축학회 (2000) “건축물 하중기준 및 해설”
- 노현섭 (2002) “2층 조적조 건축물의 내진 성능에 대한 실험 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문
- 김재관, 김남희, 류혁, 채운병 (1999) “비보강주거용 조적조의 지진거동 실험” 한국지진공학회 추계학술대회 논문집.
- A.C.Costley and D.P.Abrams. (1995) “Dynamic Response of Un-reinforced Masonry Buildings with Flexible Diaphragms” NCEER-96-0001.
- FEMA 178, 273, 274, 306, 307, 308.
- Harry A. Harris. (1988) “Masonry : Materials, Design, Construction and Maintenance”

- ◎ 논문접수일 : 2004년 4월 29일  
◎ 심사의뢰일 : 2004년 5월 03일  
◎ 심사완료일 : 2004년 6월 19일