

지진피해를 입은 조적조 건축물의 유리섬유보강에 따른 내진성능

Seismic Capacity Strengthened by GFS of Masonry Buildings with Earthquake Damage

권 기 혁*

최 성 모**

이 수 철***

조 상 민****

Kwon, Ki-Hyuk

Choi, Sung-Mo

Lee, Soo-Cheul

Cho, Sang-Min

Abstract

Most of the masonry buildings have many structural defects under an earthquake load due to the small tensile force and ductility. In the foreign countries there are many the reinforcing methods of masonry buildings, but the glass fiber sheet reinforcements must be used due to various conditions in Korea. The purpose of this paper is to estimate the seismic capacity of masonry buildings damaged by earthquake and reinforced by Glass Fiber Sheet. On the basis of test results, the maximum base shear force and deformation of the masonry building with GFS were remarkably increased. From the comparison by existing strength equations and test data, the new strength equation of reinforced masonry buildings with GFS was developed.

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. 실험결과 값과 기존 전단내력식을 비교하여 유리섬유보강 실험체의 전단내력식을 제안하였다.

Keywords : Masonry buildings, Glass fiber sheet, Earthquake, Strength equation

핵심 용어 : 조적조 건축물, 유리섬유, 지진, 강도식

* 정희원, 서울시립대학교 건축공학과 부교수

** 정희원, 서울시립대학교 건축공학과 조교수

*** 서울시립대학교 건축공학과 박사과정

**** 서울시립대학교 건축공학과 석사과정

E-mail : khwan@uos.ac.kr 02-2210-2741

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2004년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

비보강 조적조 건축물은 재료를 쉽게 구할 수 있고 공사비가 저렴하며 시공이 용이하기 때문에 현재까지 많이 시공되어왔다. 그러나 조적조 건축물은 작은 인장력과 연성능력으로 인해 지진발생 지역에서 심각한 피해상황을 나타내고 있다. 우리나라 역시 과거에 비하여 지진의 빈도수와 강도가 급격하게 증가하고 있어 기존 조적조 건축물의 지진에 의한 피해가 심각할 것으로 사료된다. 따라서 비보강 조적조 건축물의 내진 성능을 향상시킬 수 있는 적절한 내진보강방법이 절실히 필요하다.

지금까지 국내에서의 조적조 건축물에 대한 연구들은 대부분이 비보강 조적조 건축물의 내진성능에 관한 연구(비보강 조적벽체의 전단내력에 대한 시험⁴⁾, 실물 크기 비보강 시멘트 조적벽의 준정적 하중실험⁵⁾, 비보강 조적조의 재료특성에 대한 실험⁶⁾가 주를 이루고 있으며, 내진보강방안에 관한 연구는 거의 전무한 상태라고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 서울시에 분포되어 있는 조적조 건축물의 현황조사를 통하여 가장 일반적인 규모의 실험체를 제작하여 진동대 실험을 실시하였다. 실험을 통하여 지진피해를 입은 조적조 건축물의 유리섬유보강을 통한 내진성능 향상여부를 평가하고, 실험결과를 바탕으로 기존 비보강 조적조 건축물의 전단내력식과 실험결과 값을 비교하여 유리섬유보강 조적조 건축물의 전단내력식을 제안하고자 한다.

2. 조적조 건축물의 내진보강방법

국외에서 사용하고 있는 조적조 건축물에 대한 내진보강방법들은 다음과 같이 전단강도를 증가시키거나 연성을 증가시키는 방법들이 있다.

전단강도를 증가시키는 보강방법으로 기존 벽체에 강재 앵커를 삽입하는 강재 스크류 앵커 보강과 벽체에 유리섬유 보강재를 부착하는 방법이 있으며, 연성을 증가시키는 보강방법에는 벽체 접합부를 듀벨과 앵

커 등을 사용하여 보강하는 방식인 Anchor Tie 보강과 슬래브 하부에 프리스트레스 강선 혹은 일반 철근을 설치하는 Steel Tie 보강방법이 있다. 또한 강성과 연성을 동시에 증가시키는 방법으로 벽체를 코어링하여 구멍을 낸 후 콘크리트와 철근을 사용하여 보강하는 코어링에 의한 보강, 외부에 버팀벽을 설치하거나 내부에 철골 골조를 설치하는 방법이 있다.

하지만 국내의 조적조 건축물들은 0.5B 쌓기로 시공되어 벽체의 두께가 두껍지 않아 벽체에 구멍을 내어 앵커나 철물을 삽입하는 데는 시공상 제약이 있으며, 또한 건축물의 외부에 여유 대지가 부족하여 벽체 외부에 벽이나 골조를 설치할 공간이 부족하기 때문에 이 방법을 사용하는데 역시 일부 제약이 있다.

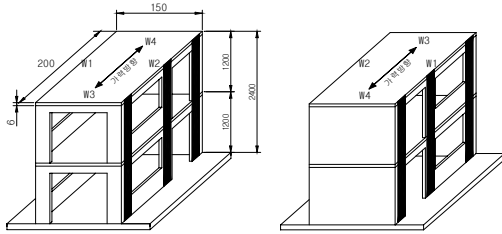
따라서 국내에서 조적조 건축물의 내진보강방법으로는 벽체의 두께의 영향을 받지 않고 보강을 하기 위한 외부 대지의 여유면적이 필요하지 않으며 시공이 간단한 유리섬유보강방법을 사용하는 것이 가장 적절하다고 사료된다.

3. 실험

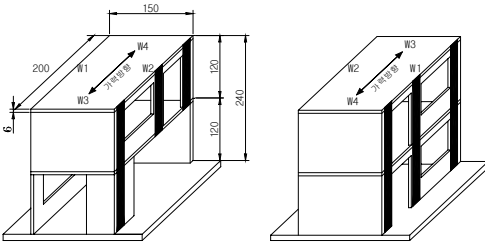
3.1 실험체 계획

실험체는 사전에 서울시에 분포되어 있는 조적조 건축물의 현황조사를 통하여 가장 일반적인 모델을 선정하여 주거형(A형, RA형)과 주상복합형(B형, RB형)으로 나누어 1/2로 축소·제작하였다.

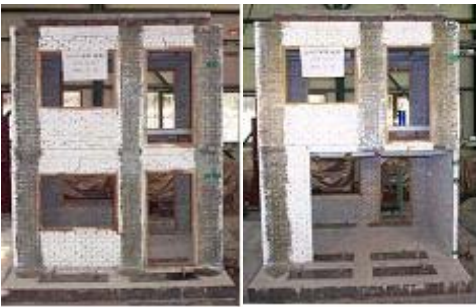
주거형 실험체는 1,2층을 모두 주거용으로 사용하는 건축물로 1층의 두 면내벽체의 강성이 같은 실험체이다. 반면 주상복합형 실험체는 1층은 상가, 2층은 주거용으로 사용하여 1층의 두 면내벽체의 강성에 차이가 있다. 유리섬유보강 실험체(RA형, RB형)는 지진피해 상황을 설정하기 위하여 비보강상태의 실험체를 4단계(최대지반가속도 0.2g)까지 가력한 후, 면내벽체의 pier에 유리섬유를 폭 15cm로 부착하였다.



(a) RA형 실험체 가력방향



(b) RB형 실험체 가력방향



(c) RA형 실험체 사진 (d) RB형 실험체 사진

Fig. 1 실험체 도면 (단위 : cm)

3.2 실험방법

실험체는 Fig. 2와 같이 3m×3m 크기의 진동대에 조적조 건축물을 올려놓은 뒤 앵커를 이용하여 실험체를 진동대에 부착하였다. 실험체는 면내벽체만의 거동을 살펴보기 때문에 1축 지진실험을 하였다.

진동대의 가력하중은 Taft 지진파(N21E)로, 1/2 축소된 모델에 지진파를 사용할 때 같은 크기의 가속도 효과를 적용하기 위하여 지진파의 시간축을 $1/\sqrt{2}$ 로 축소¹⁰⁾하여 단계별로 하중을 증가시키며 가력 하였다.



Fig. 2 실험체 설치 모습

Table 1 단계별 가력 하중

단 계	예상PGA	진 도(MMI)	내 용
1단계	0.08g	7	모든 실험체에 가력
2단계	0.10g	7	
3단계	0.15g	7	
4단계	0.20g	8	
5단계	0.30g	8	RA형, RB형에 가력
6단계	0.35g	9	
7단계	0.50g	9	RA형만 가력
8단계	0.55g	9	

Table 2 재료 실험 결과

	접착강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수E (kgf/cm ²)
벽돌실험	-	162	9577
프리즘실험	2.00	109	13410

Table 3 TYFO SEH51 복합재의 물성치

설계과단인장강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	인장탄성계수 (kgf/cm ²)	두께 (cm)
5,000	650	2.52×105	0.13

3.3 구조재료의 특성

벽돌은 1/2로 축소한 95×45×28.5mm 벽돌을 제작하여 사용하였다. 골재는 크기를 축소하지 않은 원형 상태의 골재를 사용하였으며, 줄눈의 두께는 10mm이다.

실험에서 사용한 유리섬유는 유리섬유와 에폭시를 기계적으로 함침 시켜 현장 제작한 TYFO SEH51 복합재 (에폭시+유리섬유)로 물성치는 다음과 같다.

4. 실험결과

4.1 균열 양상

주거형 실험체의 균열 양상을 살펴보면 비보강 실험체인 A형은 3단계에서 처음으로 면외벽체에 휨균열이 발생하였고, 4단계에서는 면내벽체에 상당한 전단균열이 발생하였으며, 5단계에서 Rocking이 발생하면서 최종 파괴를 일으켰다. 반면에 4단계까지 가력한 주거형 실험체를 유리섬유로 보강한 RA형 실험체는 5단계에서 처음으로 면외벽체에서 일부 휨 균열이 발생하기 시작하여 6단계에서 면내벽체에 균열이 발생하기 시작하였다. 그리고 8단계에서 유리섬유로 보강된 벽체의 일부가 파괴되어 최종 파괴를 일으켰다.

주상복합형 실험체의 경우 비보강 실험체 B형은 3단계에서 면내벽체에 균열이 발생기 시작하여 5단계에서 1층과 2층의 Pier부위에 전단균열이 심하게 발생하였다. 반면 RB형 실험체는 5단계에서 면외벽체에, 6단계에서 면내벽체에 휨균열이 발생하기 시작하여, 7단계에서 Rocking 거동을 하였다. 비보강 실험체인 A형과 B형 실험체는 가력 5단계에서 최종 파괴가 일어났고, 유리보강 실험체인 RB형은 7단계에서, RA형은 8단계에서 최종파괴가 일어났다. 따라서 지진피해를 입은 조적조 건축물을 유리섬유로 보강하였을 때, 실험체는 손상되기 전인 비보강 실험체보다 더 향상된 내진성능을 갖는 것으로 나타났다. 또한 주거형이 주상복합형보다 보강효과가 더 크게 나타났다.

4.2 하중과 변위 관계

각 실험체의 단계별 최대 밀면전단력과 최대변위와의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 비보강 실험체는 5단계에서, RB형 실험체는 7단계에서, 그리고 RA형 실험체는 8단계에서 변위가 급격하게 증가하여 이 단계에서 실험체의 항복이 나타났다.

유리섬유보강 실험체는 4단계까지 비보강 실험체와 비슷한 거동을 보여 지진 손상을 받은 조적조 건축물을 유리섬유로 보강하였을 경우 손상을 입기 전의 내력으로 회복할 수 있음을 보여주고 있다.



Fig. 3 벽체 W2의 균열 형상(최종단계)

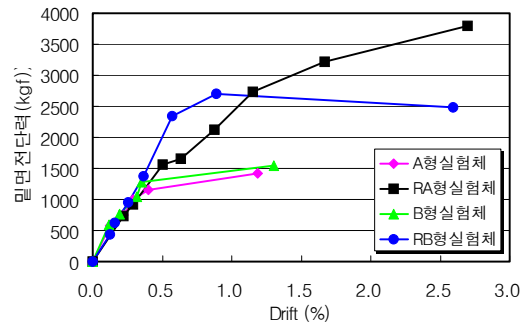


Fig. 4 밀면전단력과 변위 관계

파괴상태의 최대변위를 비교하면 RA형은 A형보다 227%, RB형은 B형보다 200% 더 변위가 증가하였으며, 밀면전단력은 RA형이 A형의 밀면전단력보다 297%, RB형은 B형보다 211% 증가하였다. 따라서 보강 실험체는 유리섬유의 보강으로 인하여 피해를 입기 전 실험체의 내력으로 회복될 뿐만 아니라 그 이상으로 내력을 확보함에 따라 유리섬유보강 효과가 상당히 큼을 알 수 있었다.

Table 4 기존 전단내력식

Code	전단내력식
이원호 교수 제안식	$V_r = \alpha P \left(\frac{l}{h} \right) \left(1 - \frac{f_a}{1.17 f'_m} \right)$ <p>여기서 f_a : 압축응력, P : 축하중, f'_m : 대각인장응력, l : 벽체 길이, h : 벽체 높이, α : 경계조건(0.5 : 고정단-자유단 1.0 : 고정단-고정단)</p>
FEMA 178	<p>-벽체 전단강도 : $V_a = v_m A_n / 1.5$ v_m : 조적 전단강도, A_n : 줄눈 단면적</p> <p>-Rocking 강도 : $V_r = 0.9 P_D D / H$ P_D : 부재상단에 작용하는 수직하중 D : 면내수직벽체길이, H : 면내수직벽체높이 중 최소값을 사용</p>
FEMA 273&306	<p>-벽체 전단강도 : $V_a = v_m A_n$</p> <p>-Rocking 강도 : $V_r = 0.9 \alpha P_{CE} (L / h_{eff})$ α : 단부조건계수, L : 면내수직벽체길이, h_{eff} : 면내수직벽체높이</p> <p>-사인장강도 : $V_{dt} = f'_{dt} A_n (\beta) \sqrt{1 + f_{ae} / f'_{dt}}$ f_{ae} : 부재수직압축응력, f'_{me} : 조적개체사인장응력 단 $\beta = L / h_{eff} < 0.67$ 일 때 $0.67 \leq L / h_{eff} \leq 1.0$ 일 때 L / h_{eff} $1.0 < L / h_{eff}$ 일 때 1.0</p> <p>-Toe파괴강도 : $V_{tc} = \alpha P_{CE} \left(\frac{L}{h_{eff}} \right) \left(1 - \frac{f_{ae}}{0.7 f'_{me}} \right)$ 중 최소값을 사용</p>
UCBC	<p>-벽체 전단강도 : $V_a = v_a A_n$</p> <p>-Rocking 강도 : $V_r = 0.5 P_D D / H$ 중 최소값을 사용</p>
국내 기준식	$0.4 \sqrt{f'_m} A_n \quad 8.46 A_n \quad 2.86 A_n + 0.3 N_y$ <p>중 최소값을 사용</p>

5. 면내벽체의 강도 산정식 제안

Table 4는 조적벽체의 전단내력을 구하는 식들이다. 이 식들을 이용해 비보강 실험체의 면내벽체 강도를 산정하여 실험값과 비교하였다. 실험결과 2층 바닥과 지붕층이 같이 거동하므로 2층의 벽체와 바닥 그리고 지붕층의 질량은 1층 면내벽체의 상부에 작용하는 하중으로 치환하여 작용시켰다. 1층의 면외벽체와 바닥 다이아프램의 영향은 고려하지 않았다.

이론식 모두 실험값에 비하여 작은 값을 나타내어 실제강도보다 과소평가함을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 비보강 조적조 건축물의 전단내력식을 제안한다. 실험에서 비보강 조적조 건축물의 최종파괴가 Rocking 파괴 거동을 보인 후 Toe파괴 거동을 하였으므로 FEMA 306의 Toe파괴 전단내력식 12)을 일부 수정하여 다음 식(1)과 같이 나타내었다.

$$V_m = \alpha P_{CE} (\beta) \left(1 - \frac{f_{ae}}{0.1 f'_{me}} \right) \quad (1)$$

여기서

α : 단부조건계수

0.5 : 고정단-고정단

1.0 : 고정단-자유단

P_{CE} : 축하중,

f_{ae} : 부재수직압축응력

f'_{me} : 조적개체 사인장응력

β 는 $L/h_{eff} < 0.67$ 일 때 0.67

$0.67 \leq L/h_{eff} \leq 1.0$ 일 때 L/h_{eff}

$1.0 < L/h_{eff}$ 일 때 1.0

L : 면내수직벽체 길이

h_{eff} : 면내수직벽체 높이

유리섬유보강 실험체에서 유리섬유가 부담하는 전단력은 $V_g = V_n - V_m$ 이므로 이 식에 실험에 의한 유리섬유보강 실험체 전단력 V_n 과 식(1)에 의해 구한 조적조 벽체의 전단력 V_m 을 이용해 V_g 을 구하면, RA형 실험체는 2153kgf, RB형 실험체는 1430 kgf이다. 다시 이 값을 이용하여 유리섬유가 부담하는 전단력을 구하는 식을 구하면 다음 식과 같다.

$$V_g = 0.0116 \times b_{gfs} \times h_{gfs} \times \sqrt[3]{f_{gfs}} \quad (2)$$

여기서 b_{gfs} : 유리섬유 폭,

h_{gfs} : 유리섬유 높이

f_{gfs} : 유리섬유의 설계파단인장강도(kgf/cm²)

따라서 유리섬유보강 실험체의 밀면전단력을 구하는 식을 식(3)과 같이 제안한다.

$$V_n = \alpha \beta P_{CE} \left(1 - \frac{f_{ae}}{0.1 f'_{me}} \right) + 0.0116 b_{gfs} h_{gfs} \sqrt[3]{f_{gfs}} \quad (3)$$

그러나 탄소섬유로 보강한 콘크리트의 단순보 실험을 살

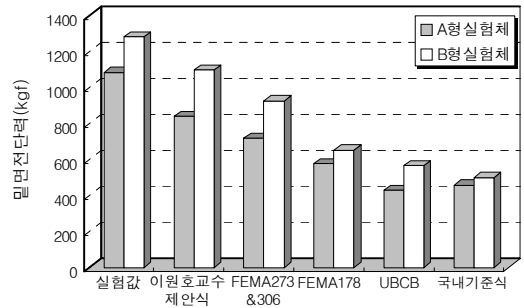


Fig. 5 면내벽체의 전단내력식 비교

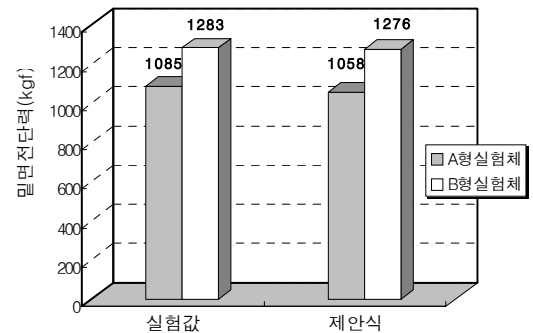


Fig. 6 제안식과 실험값의 밀면전단력 비교

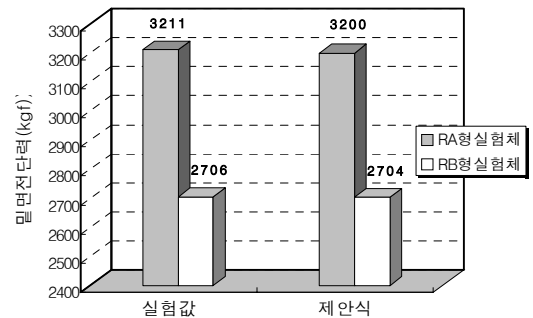


Fig. 7 제안식과 실험값의 밀면전단력 비교

펴보면 철근에 의한 전단내력값이 한계값 ($2.1\sqrt{f_{ck}}b_u d$)에 가까워질수록 탄소섬유에 의한 보강효과가 감소하는 것으로 나타났으므로) 조적조 벽체의 경우도 유리섬유를 많이 보강하더라도 그 보강효과가 계속 증가하지는 미지수이다. 따라서 향후 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

6. 결론

비보강 조적조 실험체와 지진피해를 입은 비보강 조적조 건축물을 유리섬유보강한 조적조 건축물의 진동대 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유리섬유보강을 한 실험체는 비보강 실험체보다 2~3단계 더 진행된 상태에서 파괴가 일어났으며 파괴 이후에도 계속 하중에 저항하는 것으로 나타났다. 또한 유리섬유보강 실험체의 최대변위와 밑면전단력이 비보강 실험체보다 2배 이상 증가하였다. 즉 유리섬유보강 실험체는 손상 이전 실험체의 내력을 회복할 뿐만 아니라 연성 및 최대전단 내력이 현저하게 증가하여, 유리섬유보강으로 인하여 내진성능이 크게 향상되어 보강효과가 상당히 크게 나타났다.
- 2) 기존 이론식들에 의하여 구한 전단강도는 실험에 의한 실제값보다 작게 나타나 실제강도보다 과소 평가하고 있어 식들을 일부 수정하는 것이 바람직하다고 사료된다.
- 3) 본 실험과 같은 유리섬유보강 실험체는 다음과 같은 전단내력 제안식을 이용하여 실험체의 전단력을 구할 수 있다.

$$V_n = aP_{CE}(\beta) \left(1 - \frac{f_{ae}}{0.1f_{me}} \right) + 0.0116b_{gfs} h_{gfs} \sqrt[3]{f_{gfs}}$$

단 β 는 $L/h_{eff} < 0.67$ 일 때 0.67

$0.67 \leq L/h_{eff} \leq 1.0$ 일 때 L/h_{eff}

$1.0 < L/h_{eff}$ 일 때 1.0 이다.

참고문헌

1. “조적조 건축물에 대한 내진 보강 방안”, 서울특별시, 2001.
2. “건축물 하중기준 및 해설”, 대한건축학회, 2000.
3. 노현섭, 최성모, 권기혁, “2층 비보강 조적조 건축물의 내진 성능에 대한 실험 연구”, 대한건축학회 논문집, 2002, 4, pp.59~66.
4. 정병주, 김윤일, “조적벽의 전단내력과 보수효과에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 1998, 1, pp. 307~319.
5. 김장훈, 장태희, 김재관, 류혁, 채운병, “비보강 시멘트 벽돌 건물의 내진성능 실험연구”, 한국지진공학회 춘계 학술대회 논문집, 2000, pp. 298~307.
6. 김희철, 김관중, 박진호, 홍원기, “지진하중을 고려한 조적조의 재료특성 평가에 관한 실험연구”, 한국지진공학회논문집, 2001, 4, pp. 93~101.
7. 이원호, 이정환, 이봉근, 오상훈, “비보강 조적벽체의 전단내력에 관한 연구(I)”, 한국도시방재학회 학술발표대회 논문집, 2003, pp. 435~440.
8. 김홍범, “비보강 조적조 면내수직벽체의 강도산정식 비교”, 한양대학교 석사학위논문, 2002.
9. 이원호, 임재형, 배영수, “탄소섬유시트로 전단 보강된 철근콘크리트 보의 보강효과”, 대한건축학회, 2001, 12.
10. G Michele Calvi, “Test of Masonry Structures for Seismic Assessment”, Earthquake Spectra, 1996.
11. A.C.Costley and D.P.Abrams, “Dynamic Response of Un-reinforced Masonry Buildings with Flexible Diaphragms”, NCEER-96-0001, 1995.
12. Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings : FEMA 178, 273, 306.
13. Harry A. Harris, “Masonry : Materials, Design, Construction and Maintenance”, 1998.

(접수일자 : 2003년 10월 29일)