

유리섬유로 보강한 조적벽체의 전단내력식 설정에 관한 연구

Proposing the Shear Force Equation of GFRP Strengthened Masonry Wall

권 기 혁* / 이 수 철** / 정 원 철***

Kwon Ki-Hyuk / Lee Soo-Chul / Jung Won-Chul

Abstract

This study does by purpose that propose shear resisting force equation of reinforced masonry wall that is reinforced by GFRP(glass fiber reinforced polymer) based on result that is noted through cyclic loading of masonry wall and a shaking table experiment of mock that reflect identifying marks of masonry building which is constructed in domestic. It was Rocking mode to dominate failure of masonry wall in the experiment results, and the equations of UBC show the most resemblant value with experiment results. Through this study, propose the shear force equation of GFRP strengthened masonry wall as following.

$$V_n = 0.02A_n \sqrt{f'_m} + 0.022b_g h_g (1+2a)^3 \sqrt{f'_g} \quad (\text{N/mm}^2)$$

key words : GFRP, masonry building, masonry wall, shear strength, shear resisting force

요 지

본 연구는 국내에 시공된 조적조 건축물의 특징을 반영한 조적벽체의 반복가력과 모의진동대 실험을 통해 얻어진 결과를 근거로 하여 유리섬유로 보강된 보강조적벽체의 전단내력식을 제안하는 것을 목적으로 한다. 실험결과, 개구부가 없는 조적벽체의 파괴를 지배하는 모드는 Rocking이었고, 개구부가 있는 경우는 개구부 주변에 균열이 집중되었다. 비보강 조적벽체의 전단내력식은 UBC에서 제시한 식이 실험과 가장 유사한 값을 보였다. 본 연구를 통해 제안되어지는 유리섬유 보강조적벽체의 전단내력식은 다음과 같다.

$$V_n = 0.02A_n \sqrt{f'_m} + 0.022b_g h_g (1+2a)^3 \sqrt{f'_g} \quad (\text{N/mm}^2)$$

핵심용어 : 유리섬유, 조적조 건축물, 조적벽체, 전단강도, 전단내력

1. 서 론

벽돌을 사용한 형식의 조적조 건축물은 기둥이 없는 벽식구조로서 어느 정도의 수직하중에 대한 강성

을 보유하고 있어 고정하중 및 적재하중과 같은 정적하중에 대해서는 저항력을 가지지만, 지진하중 및 풍하중과 같은 횡하중에 대한 연성능력이 매우 취약한 단점을 가지고 있다.

지금까지 국내에서 행해진 조적조 건축물에 대한

* 정회원 · 서울시립대학교 부교수 (e-mail: khkwon@uos.ac.kr)

** 정회원 · 서울구조안전기술사사무소 소장

*** 서울시립대학교 석사과정

내진성능연구는 비보강 벽체에 대한 연구와 내진 보강된 벽체에 관한 연구는 전무한 상태라 할 수 있다. 조적벽체의 내진성능을 향상시키기 위한 보강방법은 국외에서는 다수 제안·시공되고 있으나, 국내에서는 그 시공례가 없는 실정이다.

본 연구는 조적벽체의 보강에 적용될 수 있는 방법 중 국내적용 가능성이 높다고 판단된 유리섬유를 이용한 보강법에 대한 연구의 일부로써 보강된 벽체의 전단내력식의 제안을 목적으로 한다.

2. 실험

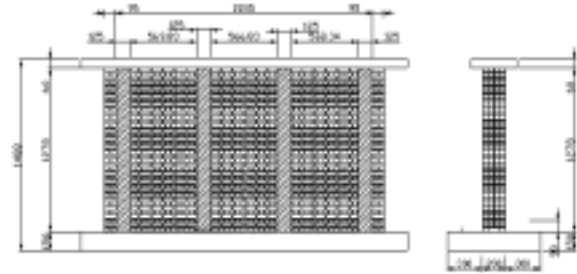
2.1 벽체실험

벽체 실험체는 벽체 상하부에 슬래브를 설치하여 각 2개조로 제작하였다. 1개조의 실험체는 보강하지 않은 상태로 하고 나머지 1개조에는 유리섬유를 보강하였다. 실험에 앞서 실제 조적건축물과의 상사성을 만족시키기 위하여 부가질량을 사용하여 실험체를 설치하였고 변위계 및 가속도계를 실험체에 부착하여 실험 시 각 단계별로 데이터를 자동으로 측정하도록 하였다. 각각의 실험체에 대하여 변위 증분에 따른 반복 가력실험을 실시하였으며, 실험 중 발생한 실험체의 균열 및 손상현상을 조사하였다. 실험체의 형상 및 개요는 그림 1, 2와 표 4에 나타내었고, 재료실험에 대한 결과는 표 1~3에 나타내었다.

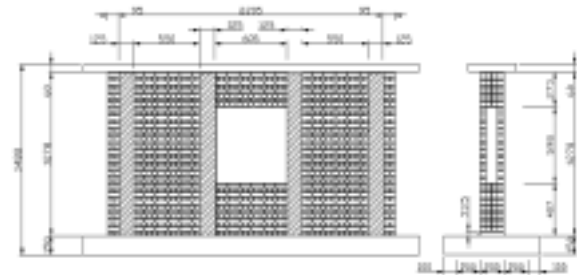
2.2 모의진동대실험

모의진동대 실험체는 1/2로 축소하여 2개조로 제작, 1개조는 유리섬유를 보강하였고 나머지 한 개조는 비보강 조적조로 제작하였다. 실험체의 개요와 형상은 표 5와 그림 3, 4에 정리하였다. 원형 실험체와 축소 실험체간의 상사성을 만족시키기 위하여 부가질량을 실험체에 설치하였으며, 실험에 앞서 변위계 및 가속

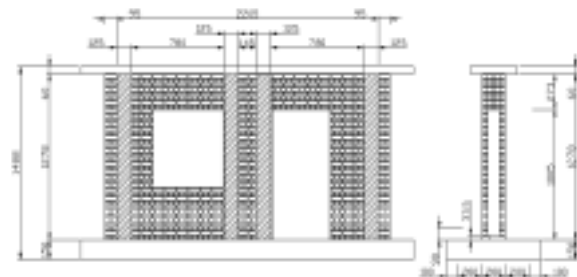
도계를 실험체에 부착하였다. 실험은 1952년 캘리포니아 남부에서 발생한 Kern County 지진파(Taft)를 입력지진파로 하여 예상 지진가속도를 단계별로 증가하면서 진동대에 의한 동적실험을 실시하였다.



(a) RS1 실험체



(b) RS2 실험체



(c) RS3 실험체

그림 1. 반복가력 실험체



(a) 유리섬유 보강



(b) 실험체 설치 (정면)



(c) 실험체 설치 (측면)

그림 2. 실험체 및 셋팅사진

표 1. 벽돌 실험 결과

압축강도 (N/mm ²)	탄성계수 (N/mm ²)	포아송비
16.5	977.2	0.25

표 2. TYFO SEH51 접합재(에폭시+유리섬유)의 물성치

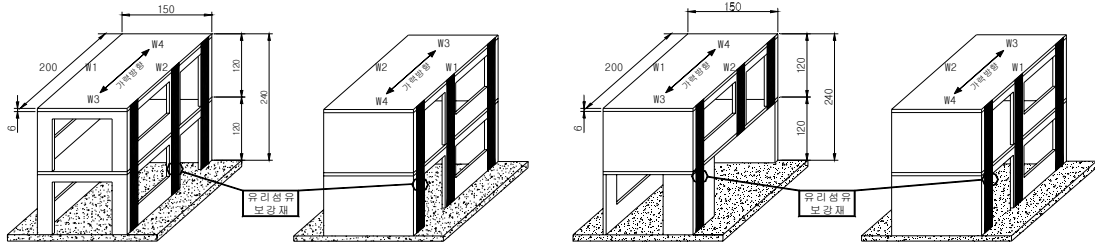
인장강도 (N/mm ²)	인장탄성계수 (N/mm ²)	과단변형률 (%)	두께 (cm)
510	2.57×10 ⁴	2.0 ~ 3.0	0.13

표 3. 프리즘 실험 결과

실험체	부착강도 (N/mm ²)	압축강도 (N/mm ²)	탄성계수 (N/mm ²)
3켜	0.22	11.2	1183
4켜	0.19	11.1	1553
平均	0.21	11.1	1368

표 4. 벽체 실험체의 개요

실험체	벽두께	전면적 (cm ²)	개구부 비율 (%)	크기	형상비	비고
S1	1.0B	28,192	0	실물의 1/2	2	비보강
S2			12			
S3			30			
RS1			0			유리섬유 보강
RS2			12			
RS3			30			



(a) RA형 실험체 가력 방향

(b) RB형 실험체 가력 방향

그림 3. 모의진동대 실험체



(a) A형 실험체 전경



(b) B형 실험체 전경

그림 4. 실험체 사진

표 5. 모의진동대 실험체 개요

실험체	벽두께	벽량	형태	크기	비고
A형	0.5B	1층 : 0.049	주거형	실물의 1/2	비보강
		2층 : 0.049			
B형	0.5B	1층 : 0.048	주상 복합형		
		2층 : 0.065			
RA형	0.5B	1층 : 0.049	주거형		유리섬유 보강
		2층 : 0.049			
RB형	0.5B	1층 : 0.048	주상 복합형		
		2층 : 0.065			

2.3 실험결과

2.3.1 벽체실험

반복가력실험은 보강여부에 관계없이 개구부가 없는 실험체들은 벽체내부에서 거의 균열이 발생하지

않고 벽체와 슬래브 접합면에서 균열이 발생하고 진전되어, 결국 균열부위에서의 슬라이딩과 벽체가 전체적으로 회전하게되는 Rocking 거동에 의한 균열손상 형태를 보였다. 개구부가 있는 실험체들은 응력이 집중하는 개구부주위에서 경사방향으로 균열이 진전되어 전단파괴 되었고, 개구부 주위를 유리섬유로 보강한 실험체들은 보강하지 않은 실험체보다 유리섬유의 영향으로 균열의 진전이 느리고 다소 억제되었다. 벽체를 전면보강한 실험체에서는 보강전 파괴형상과 반드시 일치하지는 않았으나 개구부 주위로부터 균열이 발생하는 일반적인 경향을 따랐다. 또한 벽체내부에 경사방향 균열이 발생한 경우에도, 벽돌자체의 파괴는 발생하지 않고 벽체와 슬래브 접합면 및 모르타르 줄눈을 따라 균열이 발생하였다. 벽체실험을 통해 얻은 결과는 그림 6~8에 나타난다.



(a) S1 실험체



(b) S2 실험체



(c) RS1 실험체



(d) RS3 실험체

그림 5. 벽체실험 파괴형상



그림 6. 유리섬유보강시의 최대전단내력 증가율



그림 7. 전면보강한 실험체(A,C)의 전단내력 비교

(a) 비보강

(b) 유리섬유보강

그림 8. 사이클별 최대수평하중

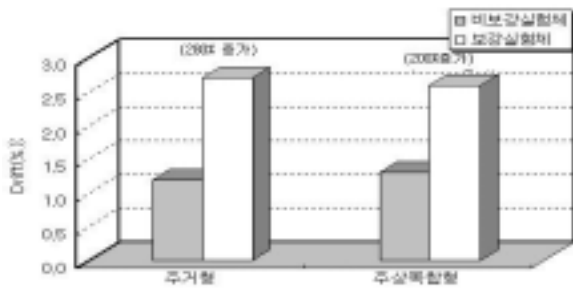
2.3.2 모의진동실험결과

비보강 실험체인 A형과 B형 실험체는 4~5단계 (0.2g~0.3g)사이에서 최종 파괴가 일어났고, 유리섬유로 보강한 실험체인 RB형은 7단계(0.5g)에서, RA형은 8단계(0.55g)에서 최종파괴가 일어났다. 따라서

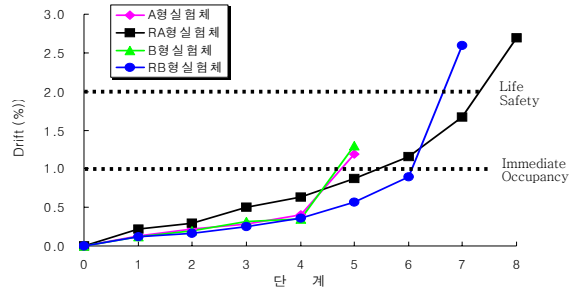
지진피해를 입은 조적조 건축물을 유리섬유로 보강하였을 때, 실험체는 비보강 실험체의 종국손상 시점인 0.2g에 비하여 0.5g와 0.55g 사이에서 종국붕괴형상을 보임으로서 3배 이상 내진성능이 향상됨을 확인하였다.

표 6. 단계별 균열 및 파괴형상

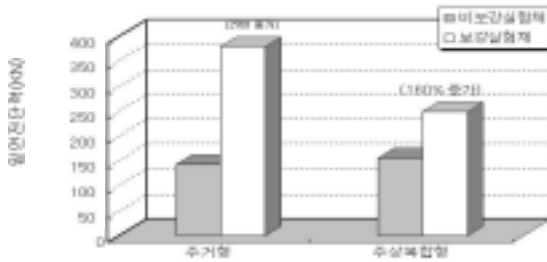
단계	A형	B형	RA형	RB형
1	반응없음	반응없음	반응없음	반응없음
2	반응없음	반응없음	반응없음	반응없음
3	면외벽체균열	면외벽체균열	반응없음	반응없음
4	면내벽체균열	면내벽체균열	반응없음	반응없음
5	파괴	파괴	반응없음	면내벽체균열
6			면내벽체균열	비보강벽체파괴
7			비보강벽체파괴	보강벽체파괴
8			보강벽체파괴	



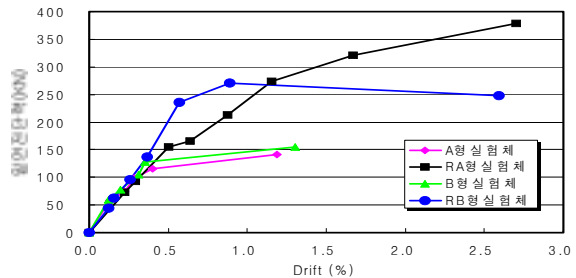
(a) 최종단계 2층 바닥 변위



(b) 단계별 최대 층간 변위



(c) 최종단계 밀면전단력



(d) 밀면전단력과 변위 관계

그림 9. 모의진동대 실험결과

유리섬유로 보강한 실험체는 전반적으로 구조물의 Rocking 거동이 관찰되었으며, Rocking 거동 이후에 Pier 하부 끝단에 압축파괴, 즉 Toe 파괴를 보였다. 비보강 실험체의 경우 균열이 1층에 집중적으로 나타났으나 유리섬유로 보강한 실험체는 1층과 2층 벽체에 전반적으로 비슷하게 균열이 분포하였다. 이것은 유리섬유보강으로 인하여 1층과 2층이 일체화되어 1층과 2층이 같이 거동하였기 때문이다. 또한 Pier 부분의 보강으로 인하여 Pier 부분은 균열이 적었으나 개구부 인방의 중앙부분에 집중적으로 균열이 발생하였고, 보강되지 않은 벽체에 상당한 균열이 발생하여 먼저 파괴가 일어났다. 하중 단계별 균열 및 파괴양상을 실험체별로 정리하여 표 6에, 그림 9에는 실험에서 얻어진 각 변위값과 전단력값을 정리하였다.

3. 면내벽체의 전단내력식 제안

3.1 지진에 의한 파괴성상 및 기존 전단강도식 고찰

조적조 건축물은 하중을 지지하는 조적벽체와 바닥을 이루는 격막(diaphragm)으로 구성되어있다. 조적조 건축물에 지진하중이 가해지면 건축물의 기초는 지진하중에 가장 강성이 큰 면내벽체로 전달한다. 면내벽체에 의해 흡수되고 남은 나머지 지진하중은 격막에, 격막은 다시 지진하중을 면외벽체에 전달한다. 격막이 비강체이면 면외벽체는 면내벽체의 변위보다 더 큰 변위를 보인다. 따라서 일반적인 조적조의 지진 피해는 ① 벽체와 바닥사이의 균열 ② 코너와 벽체의 연결부에서 균열 ③ 면외벽체의 파괴 ④ 인방보와 파

라렛의 균열 ⑤ 면내벽체의 대각선 균열 ⑥ 면내벽체의 일부 파괴 ⑦ 건축물의 일부 또는 전체 붕괴 순서로 진행된다.

횡하중을 받는 면내 수직벽체의 거동형상과 전단강도식은 FEMA 273 및 306의 문헌으로부터 표 7과 같이 연성거동형태에 따라 수평줄눈의 미끄럼파괴(Bed joint sliding)와 Rocking파괴로 나뉘고 취성거동형태에 따라 사인장파괴(Diagonal tension)와 Toe파괴(Toe crushing)의 4가지 유형으로 분류된

다. 표 8은 비보강 조적벽체의 전단내력식에 대한 기존 식들은 정리한 것이다.

4. 비보강 조적벽체의 전단내력식 검토 및 제안

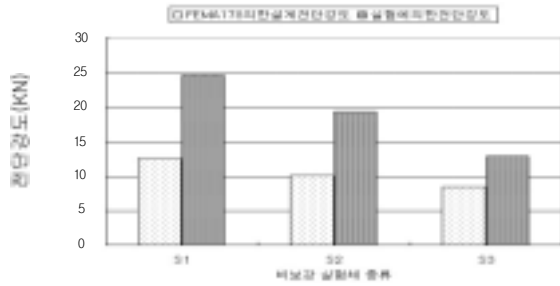
비보강 조적벽체의 전단내력식을 검토함에 있어 각 기준별 전단강도와 실험에 의한 전단내력을 비교하여 그림 10에 나타내었다.

표 7. 파괴거동과 그에 따른 전단강도식 (FEMA 273, 306)

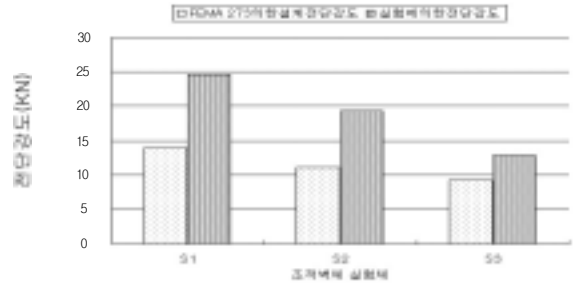
거 동	강 도 식
전단파괴	$V_{bs} = v_{me} A_n = \left(\frac{0.75(0.75v_{te} + \frac{P_{CE}}{A_n})}{1.5} \right) A_n$ <p>(v_{me} : 조적 전단강도, P_{CE} : 수직 축하중, v_{te} : 수평줄눈 전단강도, A_n : 줄눈 단면적)</p>
Rocking파괴	$V_r = 0.9 \alpha P_{CE} \left(\frac{L}{h_{eff}} \right)$ <p>(α : 단부조건에 따른 계수, L : 면내벽체길이, h_{eff} : 면내벽체높이)</p>
사인장파괴	$V_d = f_d A_n \left(\frac{L}{h_{eff}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_a}{f_d}}$ <p>(f_a : 수직압축응력, f_d : 조적개체 사인장강도)</p>
Toe파괴	$V_{tc} = \alpha P_{CE} \left(\frac{L}{h_{eff}} \right) \left(1 - \frac{f_a}{0.7f_m} \right)$ <p>(α : 단부조건에 따른 계수, P_{CE} : 수직 축하중)</p>

표 8. 기존 비보강 전단내력식

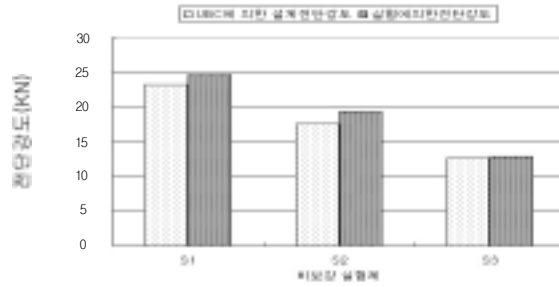
Code	전단내력식
이원호 교수 제안식	$V_r = \alpha P \left(\frac{L}{h} \right) \left(1 - \frac{f_a}{1.17f_m} \right)$ <p>f_a : 압축응력, P : 축하중 f_m : 조적벽체의 압축강도 α : 경계조건 (0.5 : 고정단-자유단, 1.0 : 고정단-고정단)</p>
국내 기준식 및 UBC 97	<p>비보강조적조의 공칭전단강도(강도설계법) KBC-05</p> <ul style="list-style-type: none"> - $0.125\sqrt{f_m} A_n$ (단위, N,mm) - $2.65A_n$ - $2.86A_n + 0.3N_y$ (완벽하게 충전되지않은 막힌줄눈쌓기/완벽하게 충전된 통줄눈 개방형조적조) - $4.08A_n + 0.3N_y$ (완벽하게 충전된 막힌줄눈) - $1.05A_n + 0.3N_y$ (완벽하게 충전된 통줄눈쌓기 비개방형 조적조) 중 최소값을 사용 <p>허용응력설계시 허용전단응력</p> $F_v = 0.025\sqrt{f_m} + 0.2f_{mi}$ <p>단위 (N,mm) f_{mi} : 고정하중에 의해 발생하는 압축응력</p>
FEMA 178	<ul style="list-style-type: none"> - 벽체 전단강도 : $V_a = v_m A_n / 1.5$ - Rocking 강도 : $V_r = 0.9P_D D/H$ 중 최소값을 사용 <p>여기서 조적벽체의 전단강도 v_m은 다음값 중 작은값으로 한다.</p> $v_m = 0.56v_{te} + \frac{0.75P_D}{A_n}, \quad v_m = 0.8f_{sp} + \frac{0.5P_D}{A_n}$ <p>v_{te} = 모르타르전단강도, f_{sp} = 조적벽체의 인장분할강도, P_D = Pier상부에 작용한 고정하중 A_n = 순 모르타르(그라우트) 단면적 또는 다음값 중 최저값으로한다</p> $2.5\sqrt{f_m} \text{ (단위: psi), } 200\text{psi, } 25\text{psi} + \frac{0.75P_D}{A_n}$



(a) FEMA 178에 의한 설계전단강도와 실험전단강도 비교



(b) FEMA 273에 의한 설계전단강도와 실험전단강도 비교



(c) UBC에 의한 설계전단강도와 실험전단강도

그림 10. 국외 기준식과 실험결과의 비교

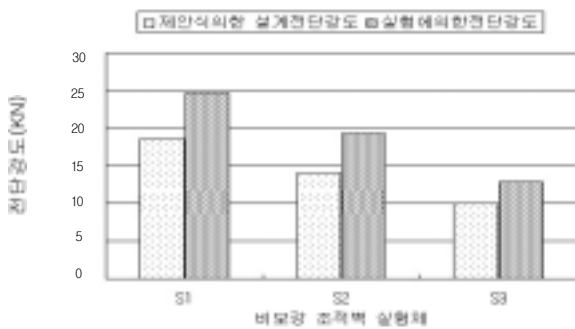
이상과 같이 기존 이론식에 의한 비보강 조적조의 설계용 전단내력과 본 연구에서 적용한 기존 비보강 조적조 건축물의 실험결과에 의한 전단내력을 비교한 결과 UBC CODE의 허용전단응력에 의한 전단내력값이 실험에 의한 전단내력과 가장 유사한 결과를 얻었으나, 안전율을 고려하면 실제적 적용에는 어려울 것으로 사료된다.

비보강 조적벽체의 실험결과를 비교분석하여 현재의 설계기준과 다르게 과거에 시공된 현존하는 비보강 조적벽체의 전단내력식을 다음과 같이 제안한다.

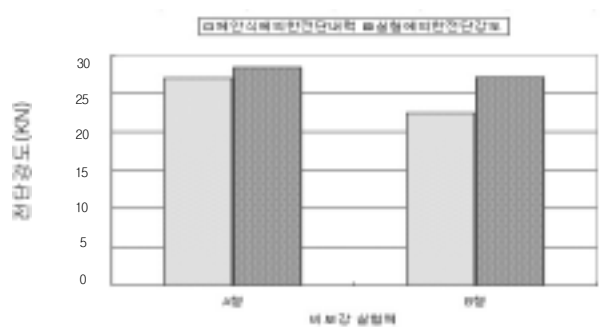
$$V_m = 0.02A_n \sqrt{f_m} \quad (\text{단위 } N/mm^2) \quad (1)$$

비보강 조적벽체의 전단내력 값을 V_m 으로 정하고, V_m 의 기본적 변수는 순모르타르 면적(A_n)과 조적벽체의 압축강도(f_m)으로 하면, $V_m = a \cdot A_n \sqrt{f_m}$ 이 되고 이 식에서 계수 a는 비보강 시험체의 실험결과를 토대로 각 시험체별 값을 평균하여 구하면, 0.02란 값이 얻어진다.

제안식과 그림 11에 실험결과와 비교하여 정리하였다. 이 그림에서 제안된 식이 실험결과에 유사한 값을 나타내며, 벽체실험결과에 대해서 적절한 안전율을 보이는 것으로 판단되나, 모의진동대 실험결과와 근접되어 있어 적절한 안전율이 고려되어야 한다.



(a) 비보강 조적벽체 제안 전단내력과 실험전단내력



(b) 비보강 조적벽체 제안 전단내력과 실험전단내력

그림 11. 비보강 조적벽체의 제안된 전단내력식 비교

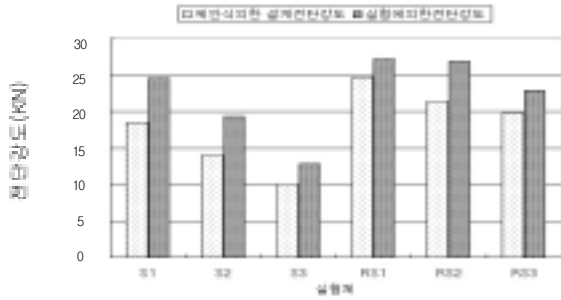


그림 12. 벽체 실험체별 제안 전단강도식과 실험전단강도

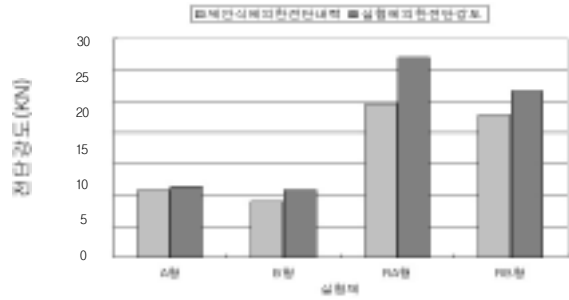


그림 13. 건물 실험체별 제안 전단강도식과 실험전단강도

5. 유리섬유로 보강한 조적벽의 전단내력식 제안

일반적으로 보강 조적조의 전단내력은 비보강 조적조의 전단내력과 보강 조적조의 전단내력의 합으로 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$V_n = V_m + V_f \quad (2)$$

여기서 V_n : 보강 조적조의 전단내력

V_m : 비보강 조적조의 전단내력

V_f : 보강에 의해 증가된 전단내력

즉, 보강효과에 의해 증가된 전단내력은 보강조적조의 전단내력에서 비보강 조적조의 전단강도를 제외한 값으로 나타낼 수 있다. 이 값은 실험결과로부터 Pier 구간에 보강한 유리섬유의 내력 및 부착량에 비례하여 유리섬유로 보강한 조적조의 전단내력이 증가하며, 개구부비율이 큰 실험체일수록 유리섬유 보강에 의한 전단내력의 증가효과가 크게 나타남으로, 이를 고려한 형태를 갖게 된다. 따라서, V_f 는 다음과 같은 형식을 갖게 된다.

$$V_f = V_n - V_m = a' \cdot b_g \cdot h_g \cdot A \cdot \sqrt{f_g} \quad (3)$$

여기서 a' : 계수, A : 개구부율의 영향도 계수 (계수 a' 와 A 는 실험결과를 통해서 얻어진다)

b_g : 유리섬유 폭, h_g : 유리섬유 높이

f_g : 유리섬유의 설계파단인장강도 (N/mm²)

개구부율의 영향도를 고려하는 A 는 개구부율에 따라 보강효과가 증대됨으로 개구부 ($\alpha \leq 0.3$)를 변수로 하여, 1보다 큰 값을 갖으며 개구부율의 변화와 증가

율의 변화를 비교하여 $(1+2\alpha)^3$ 의 형태로 정의한다. 계수 a' 는 실험체별로 제안식을 대입하여 얻어진 각 계수값을 평균하여 얻는다. 이런 과정을 통해 얻어진 V_f 는 다음과 같다.

$$V_f = 0.022 b_g h_g (1+2\alpha)^3 \sqrt{f_g} \quad (4)$$

여기서, α : 면내 벽체 개구부 비율 (개구부면적/벽체 면적, $\alpha \leq 0.3$)

본 연구를 통해 얻어진 유리섬유로 보강된 조적벽체의 전단내력 제안식은 다음과 같다.

$$V_n = 0.02 A n \sqrt{f'_m} + 0.022 b_g h_g (1+2\alpha)^3 \sqrt{f_g} \quad (5)$$

(다만; $V_n \leq 0.35 A n$ 이며, f'_m 및 f_g 의 단위는 (N/mm²))

제안된 식은 벽체의 한계상태에서 받을 수 있는 전단내력을 산정한 것이므로 실제 설계시에는 적절한 안전율을 고려할 필요가 있으며, 형상비가 2/1(길이/높이)을 초과하는 sliding파괴나 축응력이 전단력에 극히 클 경우, 면외응력과 편심이 작용하는 경우에는 적용될 수 없다.

6. 결 론

본 연구에서 적용한 기존 비보강 조적조 건축물의 실험결과에 의해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 비보강 벽체실험과 모의진동대실험을 통해 개구부가 있는 벽체는 Pier부에 파괴가 집중되며, 전반적인 파괴거동은 Rocking모드에 의하는

것으로 나타난다.

(2) 비보강 벽체의 실험을 통해 얻어진 전단강도를 기준이 외국 기준식과 비교한 결과 UBC에서 제안한 전단강도식이 실험결과와 가장 유사한 값을 갖으나, 적절한 안전율을 고려하여야 한다.

(3) 보강 조적조의 전단강도식은 비보강 조적벽체의 전단강도와 보강에 의해 증가된 강도를 합한 것으로 나타낼수 있으며, 실험결과를 분석하여 다음 식으로 증가된 강도를 구할 수 있으나, 적용 범위에는 한계가 있다.

$$V_f = 0.022 b_g h_g (1 + 2\alpha) \sqrt[3]{f_g} \quad (\text{N/mm}^2)$$

(4) 국내에 시공된 저층 조적조 건축물 벽체를 유리섬유로 보강한 경우의 전단내력식은 다음 식과 같이 제안된다.

$$V_n = 0.02A_n \sqrt{f_m} + 0.022b_g h_g (1 + 2\alpha) \sqrt[3]{f_g} \quad (\text{N/mm}^2)$$

이 식의 적용에 있어서 본 연구의 벽체와 다른 조건일 경우에는 적절한 안전율을 고려하여야하며, 향후 지진시의 비보강 벽체에 대한 모의진동대실험이 추가적으로 수행되어 적절한 안전율을 갖는 전단내력식의 수정이 필요하고 면외변형과 같은 추가적 항목에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산·학·연 컨소시엄사업의 “나선형 보강 철물을 이용한 치장벽체 보수·보강방법의 성능평가” 일부로 이루어진 것으로 본 연구를 가능하게 도움을 준 중소기업청과 서울시에 감사드립니다.

참 고 문 헌

권기혁, 이수철, 조상민, 최성모 (2004). 유리섬유보강에 의한 조적조 건축물의 내진성능에 관한 실험 연구, 한국방재학회 논문집, 한국방재학회, 제4권,

pp. 47~52

권기혁, 이수철, 조상민, 최성모 (2004). 지진피해를 입은 조적조 건축물의 유리섬유보강에 따른 내진성능, 한국구조물진단학회 논문집, 한국구조물진단학회, 제18권

권기혁, 정창용, 최창순 (2001). 저층 조적조 건축물의 내진성능 향상에 관한 실험적 연구, 도시과학논총, 서울시립대학교 도시과학연구원, 제27권, pp. 31~38

서울특별시 (2001). 조적조 건축물에 대한 내진 보강방안, 서울시립대학교 지진·방재연구소

권기혁, 김장훈 (2002). 비보강 조적벽체의 면내거동 해석, 한국지진공학회 논문집, 한국지진공학회, 제25권, pp. 1~10

김윤일, 정병주 (1998). 조적벽의 전단내력과 보수효과에 관한 연구, 대한건축학회구조계논문집, 대한건축학회, 제14권, pp. 307~319

권기혁, 노현섭, 최성모 (2002). 2층 비보강 조적조 건축물의 내진 성능에 대한 실험 연구, 대한건축학회구조계논문집, 대한건축학회, 제18권, pp. 59~66

배영수, 이원호, 임재형, (2001). 탄소섬유시트로 전단 보강된 철근콘크리트 보의 보강효과, 대한건축학회구조계논문집, 대한건축학회 제17권, pp. 27~34

강남구청 (2003). 비내진 설계된 철근콘크리트 아파트 건축물의 지진피해 추정 검토, 서울시립대학교 도시방재안전연구소

FEMA 178, 273, 274, 306 (2000).

Uniform Building Code Vol. 2 (1997). Structural Engineering Design Provisions

Miha Tomazevic (1999). Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings, Series on Innovation in Structures and Construction - Vol. I.v

Harry A. Harris (1998). Masonry : Materials, Design, Construction and Maintenance

◎ 논문접수일 : 2006년 10월 31일
◎ 심사의뢰일 : 2006년 11월 07일
◎ 심사완료일 : 2006년 12월 11일