

# 전단스팬비 영향을 고려한 RC구속조적조 벽체의 내진성능평가

## Seismic Performance Evaluation of Confined Masonry Wall System Considering of Shear-Depth Ratio

김경태\*      서수연\*\*      윤승조\*\*      성기태\*\*\*  
Kim, Kyong-Tae   Seo, Soo-Yeon   Yoon, Seung-Joe   Sung, Ki-Tae

### ABSTRACT

To investigate the effective seismic strengthening methods for masonry walls in developing countries, a total of four confined masonry (CM) walls were constructed and tested. In order to investigate the effect of the height of application point of lateral loads and reinforcing steel bars in walls and columns for the improvement of the seismic behavior of confined concrete block masonry walls, an experimental research program is conducted. The heights of inflection point considered were 0.67 and 1.11 times the height of the wall measured from the top of foundation beam. The constant vertical axial stress applied was 0 MPa. During the test, cracking patterns, load-deflection data, and strains in reinforcement and walls in critical locations was measured. From test data, it was showed that the seismic performance of confined concrete block masonry walls was significantly affected by test variables.

### 1. 서론

벽돌과 콘크리트블록 등을 사용해 건축물의 벽체를 구성하는 조적조건축물은 고대부터 현대에 이르기까지 세계각지에서 다수 건설되어왔다. 현재에도 특히 개발도상국에 있어서 공동 및 단독주택의 구조방식으로서 다수 설계 시공 되고 있다. 그러나, 이들 조적조벽체는 전단강도 및 인장강도가 낮다는 특징이 있기 때문에 지진이 발생함에 따라 인성에 대한 취약함과 벽체에 전단파괴가 발생해서 건축물의 전체붕괴 또는 대형파괴에 이르는 경우가 많다. 이러한 조적조건축물의 지진피해를 줄이기 위하여 내진적인 구조물을 설계·시공하는 것은 시급히 해결해야만 할 중요한 과제의 하나이다.

이런 조적조건축물중 지진발생국에서의 대표적인 조적구조 시스템의 하나가 RC로 구속된 조적조벽체(Confined Masonry Wall, 이하 '구속조적조벽체'라 칭함)이다. 구속조적조벽체라는 것은 중남미와 중국을 포함한 동남아시아의 국가 및 동유럽국가 등의 지진국에서 중저층조적조건축물에 자주 쓰이는 공법으로, 기둥의 주철근 하부를 정착시킨 후에 벽돌이나 블록을 모르타르를 이용해 먼저 조적하고,

\* 정회원, 충주대학교 건축공학과 강사, 공학박사

\*\* 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 충주대학교 토목공학과 교수, 공학박사

주변을 RC콘크리트로 현장타설하여 벽체를 구속시키는 공법이다(그림 1).

본 연구는 콘크리트블록을 사용한 구속조적조벽체의 내진거동을 실험을 통해 밝히고, 로우코스트의 내진적인 설계법의 개발을 목적으로 한다. 과거 본 연구를 수행해온 일본 오이타대학 건설공학과 구조연구실에서는 기존 연구<sup>1)</sup>에서 수평하중의 가력점(반곡점 높이)이 낮은 경우에서의 벽체의 전단거동을 실험을 통해 밝혔다. 본 논문에서는 수평하중의 가력점의 차이와 벽체길이의 차이에 의한 전단스팬비의 차이가 벽체의 내진성능에 미치는 영향을 실험을 통하여 검토하는 것을 목적으로 하고 있다.

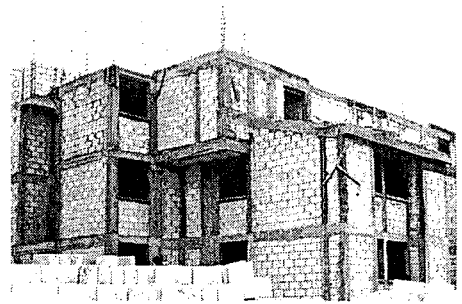


그림 1 구속조적조벽체의 시공현장

## 2. 실험체 및 실험방법

본 실험의 실험체를 표 1에 나타내고, 대표적인 실험체의 단면형상과 치수를 그림 2에 나타내었다. 실험은 수평철근비(0%), 수직철근비(0.36%), 축응력도(OMPA)가 일정한 조건하에서 형상비( $h_0/l_0$ )와 반곡점비의 차이( $h'/h_0$ )에 의한 전단스팬비의 차이를 실험변수로 하여 실험을 행하였다. 실험체는 역T형 RC조 기초위에 중공콘크리트블록(190mm×390mm×100mm)을 조적한 후에, RC조 구속기둥에 주철근으로 D19철근을 1개 배근하고 주변을 나선철근으로 보강한 후, 그 위에 T형보를 타설하여 제작하였다<sup>2)</sup>. 실험체명의 숫자(1.51, 0.84)는 형상비( $h_0/l_0$ )를 나타내고, 알파벳 “L”과 “H”는 각각의 반곡점비를 나타낸다. 본 실험에 사용한 재료의 역학적 성질은 표 2와 표 3에 나타내었고, 사용한 가력장치를 그림 3에 나타내었다. 실험체의 기초는 PC강봉을 사용해 바닥에 고정시키고, 벽체 상부의 T형보는 고장력볼트를 사용해 가력비에 고정 시켰다. 수직방향의 유압적으로 일정수직축력을 재하하고, 수평방향의 유압적으로 정적반복수평하중을 재하 하였다. 수평하중의 가력점 높이는 벽체의 하부로부터 실험체 높이( $h_0=1,512\text{mm}$ )의 111%와 67%로 하였다.

표 1 실험체 일람

실험체명	형상비 $h_0/l_0$	반곡점비 $h'/h_0$	전단스팬비 $M/Qd$ (= $h'/d$ )	수평철근비 $p_h$ (%)	수직철근비 $p_v$ (%)	축응력도 $\sigma_0$ (MPa)
(a) 1.51L	1.51	0.67(L)	1.07	0	0.36 (D13 @200)	0
(b) 1.51H		1.11(H)	1.77			
(c) 0.84L	0.84	0.67(L)	0.58			
(d) 0.84H		1.11(H)	0.96			

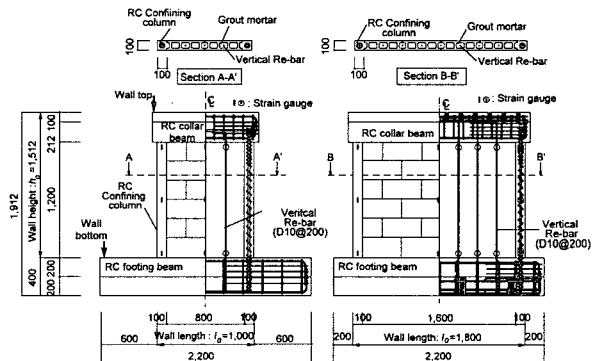


그림 2 실험체 형상

표 2 콘크리트·모르타르·프리즘의 압축강도

실험체명	콘크리트(MPa)		모르타르 (MPa)	프리즘 (MPa)
	기둥	보		
(a) 1.51L	30.8	30.2	38.0	19.9
(b) 1.51H	31.4	31.0	33.0	18.8
(c) 0.84L	27.6	28.9	36.5	17.3
(d) 0.84H	30.2	31.0	36.2	19.3

표 3 철근의 역학적 성질

철근	항복점강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
D6	467	541	10
D10	355	504	26
D13	335	473	27
D19	333	498	22

### 3. 실험결과

그림 4에 실험을 통해 얻어진 수평하중(Q)과 층간변형각(R)과의 관계 곡선을 나타내었다. 여기서, 본 실험에 있어서의 층간변형각(R)은 실험체 상부의 RC조 T형보 중앙부에 수평변위를 벽체높이( $h_0$ )로 나눈 값이다. 또한,  $\bar{\tau}$ 는 평균전단응력도( $\bar{\tau} = Q/t \cdot l$ )이다. 그래프 안에 ○◇△□등은 각각 초기균열 및 철근등의 항복한 지점을 나타내고 있다. 그림에서의 “---”선은 식 1에 의해 구하여진 전단강도의 계산치( $V_{su}$ )를 나타내고, “.....”선은 휨이론에 의한 휨강도이론식의 계산치( $V_{mu}$ )를 나타낸다. 이때의 식 1은 구속조적조의 전단강도 산정에 대한 정확한 제안식이 없기 때문에 기존의 콘크리트블록 및 벽돌을 사용한 각종 보강조적조벽체의 전단강도의 실험치를 평균치로 평가한 것으로 검토하였다<sup>3)</sup>.

$$V_{su} = \left\{ k_u \cdot k_p \left[ \frac{0.76}{(h/d)} + 0.012 \right] \sqrt{F_m} + 0.18 \gamma \delta \sqrt{p_h \cdot h \sigma_y \cdot F_m} + 0.2 \sigma_0 \right\} t j \cdot 10^3 \quad (1)$$

여기서,  $V_{su}$ :전단강도(kN),  $k_u$ :조적재료계수(=0.64),  $k_p$ : $1.16p_t^{0.3}$  ( $p_t = a_t / (t \cdot d)$ , %단위),  $h$ :실험체높이(m),  $d$ :내력벽의 수평유효길이(= $l_0 - t/2$ )(m),  $l_0$ =벽체의 길이(m),  $F_m$ :프리즘강도(MPa),  $\gamma$ :벽체내 수평철근 정착법에 따른 저감계수( $\gamma = 0.6$ ),  $\delta$ :하중계수(=1.0),  $p_h$ :수평보강근비,  $h \sigma_y$ :수평보강근의 항복점강도(MPa),  $\sigma_0$ :전단면축응력도(MPa),  $t$ :내력벽의 두께(m),  $j$ :응력중심거리(= $(7/8)d$ )(m)이다.

그림 5에 대표적인 실험체의 최종 균열 상황을 나타내었다. 실험체(a)는 벽체에 대각선의 전단균열이 발생하는 전후로 최대내력이 저하되는 전형적인 전단 파괴 양상을 보였고, 같은 조건에서 가력점음이만이 높은 실험체(b)는 단부 주철근의 항복으로 인해 구속 기둥과 벽체상부의 보에 균열이 다수 발생하는 휨 파괴의 양상을 보였다.

### 4. 고찰

표 4에 실험으로부터 얻어진 각 실험체의 최대내력과 기존의 식으로부터 산출한 계산치와 각각의 파괴모드를 나타내었다. 실험결과 구속조적조벽체에 기존의 전단강도식을 그대로 적용했을때 실험치가 계산치

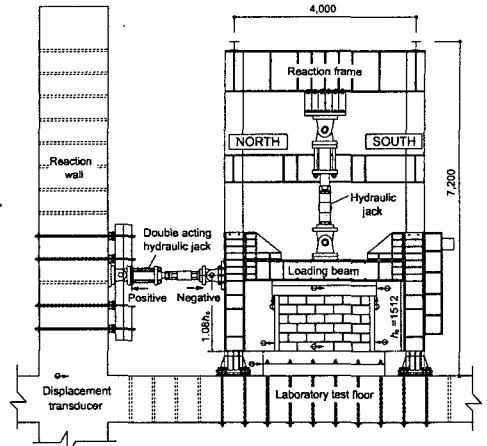


그림 3 가력장치

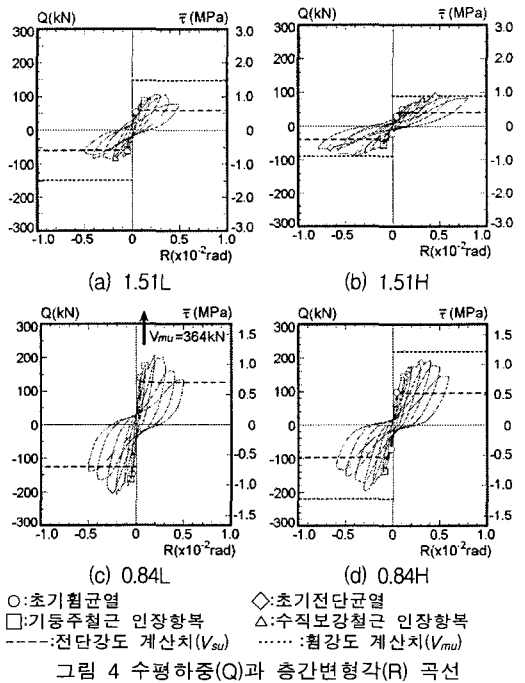


그림 4 수평하중(Q)과 층간변형각(R) 곡선

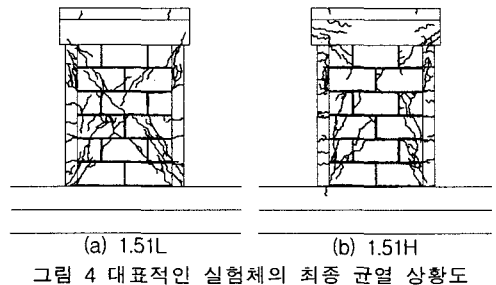


그림 4 대표적인 실험체의 최종 균열 상황도

의 1.51~2.04배로 계산치가 낮게 평가되는 것을 알 수 있다. 또한, 실험체(b)의 결과로부터 반곡점비가 높은 경우의 구속조적조벽체 휨강도 추정에 있어서 기존의 보강조적조벽체의 휨강도 이론식을 이용하여 추정 가능할 것으로 판단된다. 그림

표 4 각 실험체의 계산치와 실험치

실험체	실험치		파괴 모드	계산치		예상 파괴 모드	실험치/계산치			
	$Q_{max}$ (kN)			휨강도 $V_{mu}$ (kN)	전단강도 $V_{su}$ (kN)		$\frac{Q_{max}}{V_{mu}}$		$\frac{Q_{max}}{V_{su}}$	
	정가력	부가력					①/③	②/③	①/④	②/④
	①	②		③	④					
(a) 1.51L	107	89	S	148	59	S	0.72	0.60	1.82	1.51
(b) 1.51H	94	88	F	89	40	S	1.06	0.99	2.33	2.18
(c) 0.84L	207	208	S	386	126	S	0.57	0.57	1.64	1.65
(d) 0.84H	192	196	F/S	220	96	S	0.87	0.89	2.00	2.04

6은 그림 4로부터 얻어진

각각의 Q-R곡선에서 각 싸이클의 최대내력을 구하고, 이것을 다시 같은 층간변형각에서의 정가력과 부가력의 평균하중을 가지고 이들 점들을 연결한 것이다. 그래프 속의 ◇는 벽체내의 내력이 상승하여 대각선의 전단균열이 발생하여 전단파괴가 일어난 지점을 나타내고 있다. 그래프에서 수평가력점이 낮은 (a)와 (c)실험체를 비교해 보면 두 실험체 모두 층간변형각 0.2% 주위에서 전단파괴가 일어났다. 수평가력점이 높은 (d)실험체는 정가력과 부가력에서 각각 다른 파괴양상을 보였으며, 파괴시의 층간변형각이 0.3% 전후에서 발생되었다. 이는 수평가력점이 높은 관계로 벽체내에 휨거동이 크게 작용하였기 때문이라고 판단된다. 이와 같은 현상은 휨거동에 의해 파괴된 (a)실험체의 파괴시 층간변형각에서 더욱 확연히 알 수 있다.

또한, 본 실험으로 전단스팬비와 평균전단응력의 관계에서 벽체내의 철근량과 축응력도가 같은 조건하에, 전단스팬비(C→D→A→B순)가 작을수록 평균전단응력이 커지는 것을 실험을 통해 확인 하였다.

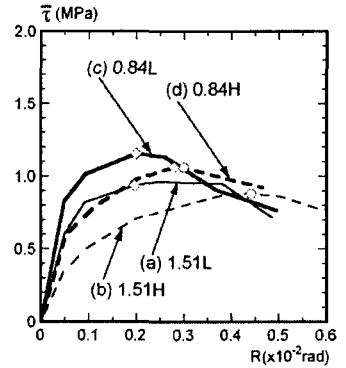


그림 6 평균전단응력과 층간변형각 곡선

## 5. 결론

- 1) 기존의 보강조적조벽체의 전단강도 추정식은 블록을 사용한 구속조적조벽체에서는 전반적으로 낮게 평가되어 이에 대한 검토가 필요하다.
- 2) 반곡점비가 높은 경우에서 구속조적조벽체 휨강도 추정은 기존의 보강조적조벽체의 휨강도 이론식을 이용하여 추정 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 벽체의 전단스팬비가 작을수록 평균전단응력은 높게 나타난다.

## 참고문헌

1. 吉村浩二, 菊池健児, 黒木正幸, 劉麗珍, “水平加力点高さ, 作用鉛直軸力および壁体内補強筋が枠組積造壁体の耐震挙動に及ぼす影響に関する実験的研究”, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp.141-148, 1999. 10.
2. 吉村浩二, 菊池健児, Oldemar Camacho, 高野浩一, 荳嶋宣雄, 増田登, Gladys Cuadros Olabe, “周辺を柱梁部材で拘束された補強コンクリートブロック壁体の地震時挙動に関する実験的研究 (その3) RC柱の拘束効果に関する実験”, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 分冊, pp.1041-1042, 1993. 9.
3. 松村 晃, “Shear Strength of Reinforced Masonry Walls, Proceeding of 9th World Conference on Earthquake Engineering”, pp.VI-121-126, Tokyo-Kyoto, 1988.
4. 김경태, 서수연, 윤승조, 요시무라코지, 성기태, “주변이 RC로 구속된 조적조 벽체의 내진성능 향상에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, pp.5-8, 2004.