



## 강봉 및 강판을 이용한 개구부를 갖는 전단벽의 보강효과에 관한 실험 연구

최윤철<sup>1)</sup> · 배백일<sup>2)</sup> · 최창식<sup>2)</sup> · 최현기<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>청운대학교 건축설비소방학과 <sup>2)</sup>한양대학교 건축공학부

## An Experimental Study on Retrofit Effect of Shear Wall with Opening Using Steel Bar or Steel Plate

Youn-Cheul Choi,<sup>1)</sup> Baek-II Bae,<sup>2)</sup> Chang-Sik Choi,<sup>2)</sup> and Hyun-Ki Choi<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Environmental Engineering and Building Service, Chungwoon University Hongseong 350-803, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**ABSTRACT** Recently, for more demands of the economical benefits and environmental conservation, many engineers prefer to choose remodeling. Artificial openings are often unavoidable to make house wider, which will degrade wall strength and stiffness by losing effective wall section that may cause the weakening of system capacity. In these cases the damaged shear walls need to be retrofitted by additional materials or members. In this research, four specimens were tested to investigate the capacity of the damaged wall and the retrofitted wall. The artificially damaged wall was prestressed by tendons to improve the shear capacity of the wall, and the other walls were retrofitted by adding steel plate at the surface for the same purpose. Consequently, these retrofitted walls had improved capacity and stiffness in both shear and flexure. Especially, the wall with steel plate showed ductile behavior after ultimate load and the prestressed wall had greater stiffness than the unstrengthened prototype wall.

**Keywords :** shear wall, remodeling, opening, retrofit, steel bar

### 1. 서 론

#### 1.1 연구 배경

높은 횡강성이 요구되는 고층 건축물에서 지진이나 바람과 같은 횡하중 저항요소로서 전단벽의 사용은 매우 효율적인 구조시스템이다. 철근콘크리트 내력벽 (structural wall)의 일종인 전단벽의 내진성능은 과거의 지진에 대한 피해조사 및 기존 전단벽에 대한 연구 결과로부터 이미 입증되었다.<sup>1-3)</sup>

현재 국내 대부분의 공동주택은 철근콘크리트 벽식구조물이다. 이러한 철근콘크리트구조물은 재료적, 시공적, 환경적, 구조적 요인 등으로 인하여 시간이 경과하면서 구조내력이 부족하거나 사용성이 저하하여 리모델링 시 보수, 보강 등을 실시하여 안전성을 확보하여야 한다. 특히 여러 리모델링의 방법 중 작은 면적의 단위세대에서 세대간 벽을 철거함으로써 세대병합을 통하여 중규모의 면적으로 리모델링을 할 경우 세대간 벽의 인위적 손상

은 피할 수 없다. 따라서 기존 구조물의 전단벽에 개구부가 발생하게 되는 경우 기존 구조물의 저항성과 횡강성을 개선시키고 보강구조물이 지진에 의해 요구되어지는 강성과 연성을 만족하도록 적절한 내진거동을 유도하는 것은 필수적이다.<sup>4,6)</sup>

철근콘크리트구조물에 대한 보강 방법에는 여러 가지가 있으나, 강판과 같은 연성이 높은 부재를 구조물에 부착시키는 공법을 폭넓게 사용하는 추세다. 그러나 이러한 부착공법에는 모체와 보강재가 일체가 아닌 부착상태이기 때문에 보강된 부재가 소요 한계상태에 도달하기 전에 보강재 끝단에서 전단 또는 휨 박리 등이 발생하여 보강재의 탈락 현상을 발생시키는 문제가 제기되고 있다. 이와 같이 보강재를 구조 부재에 부착시켜 부재의 변형이 진행된 후 보강재의 변형이 유발되는 부착공법은 보강재와 일체화의 상실에 대한 문제가 있으며 이러한 위험성을 피하기 위한 방법으로 강봉에 의한 프리스트레싱 보강 방법이 있다. 이는 보강하고자 하는 부재에 소정의 응력을 도입시켜 보강을 시작하는 시점에서부터 부재와 일체화 되어 부재의 내력 향상에 도움을 줄 수 있는 보강기법이다. 특히 전단 저항에 있어서 균열폭의 증대에 따른 추가 내력 손실을 프리스트레싱을 이용하여 효과적으로 막아줄 수 있는 방법으로 전단 지배형 부재

\*Corresponding author E-mail: chk7796@naver.com

Received February 12, 2008, Revised February 17, 2009

Accepted March 12, 2009

©2009 by Korea Concrete Institute

에 대해 효과적인 보강 기법일 수 있다.

보강재 재료 및 보강 개념에 따라 다소 다른 특성을 나타내는 이 두 보강방법은 내력 상승이라는 동일한 목표를 가지고 있지만 두 보강 방법에 따라 거동의 차이가 있으며 특히 보강재가 그 힘을 발휘하는 시점에 따라 전체적인 구조물의 거동이 달라질 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 세대 병합형 리모델링시 전단벽에 개구부를 설치하였을 경우 단면손실에 따른 내력 감소율을 파악하고자 하며 서로 다른 보강력 발현특성을 나타내는 보강 방법에 대한 특성 및 성능평가를 위한 실험적 연구를 진행하였다.

## 1.2 연구내용

리모델링의 유형은 크게 수평확장형, 세대병합형, 세대축소형, 복층형 등 4가지로 구분할 수 있으며, 이중 세대병합형의 경우 인접세대간 벽에 개구부를 형성하여 세대를 병합하는 수법이다. 이러한 세대병합형 리모델링을 실시할 경우 내력벽의 부분적인 절단 또는 해체 시 손상 이전과 손상된 이후 전단벽체의 구조성능에 대한 평가는 매우 미흡한 실정이다. 전단벽에 개구부가 설치될 경우 개구부 주위에 응력집중현상이 발생하며, 이에 따른 구조체의 내력 및 강성이 저하되어 전체 구조물의 안전에 문제가 발생하게 된다. 이러한 개구부 설치에 있어 개구부 면적 및 개구부의 위치, 개구부 형태, 개구부 상부의 연결부재 (coupling beam, coupling slab) 등에 따라 개구부가 벽체에 미치는 영향은 상이할 것이다.

기존 연구 결과<sup>4,6)</sup> 벽체에 설치된 개구부의 크기에 따라 벽체의 강도 감소는 개구부 크기에 비례하는 것으로 나타났으며, 개구부 면적비 (개구부면적/벽체면적)가 23%, 30%, 39%일 때 벽체의 내력감소율은 30%, 50%, 70% 감소되는 것으로 나타났다. 그러나 개구부 (개구부면적비 23%)에 의해 형성된 연결부재의 (연결슬래브) 영향을 고려한 경우 벽체의 내력 감소율은 차이가 있는 것으로 나타났다.<sup>5)</sup>

이에 본 연구에서는 리모델링시 벽체의 철거 한계치를 30%로 설정하였으며, 적정 면적비는 세대간 출입구 형태를 대상으로 23%의 면적비를 갖는 경우를 대상으로 연결부재에 대한 고려를 위해 개구부 상부의 연결보 및 연결슬래브가 설치된 다층 실험체를 (2층) 대상으로, 연결부재 설치에 따른 개구부의 영향평가 및 효율적인 보강방법을 도출하고자 한다.

## 2. 보강 계획

### 2.1 강판보강

강도가 저하된 철근콘크리트구조물의 내력증진을 위한 보강공법중 강판 접착공법은 시공기간이 짧고, 사용중인 구조물에도 적용이 가능하며, 인장은 물론 압축을 받는

구조물에도 적용할 수 있다는 장점으로 인해 1970년도 이후 영국, 일본, 프랑스 등에서 교량 및 건축물의 보강에 널리 적용되어 왔다.

강판보강기법 중 모체에 에폭시를 주입하여 부착시키는 부착공법은 보강재가 콘크리트 표면에 접착되어 있는 상태로 보강된 부재가 소요 한계상태에 도달하기 전 보강재의 끝단에서 전단박리 (shear peeling) 또는 휨 박리 (flexural peeling) 등 모체로부터 보강재가 탈락하려는 경향이 있다. 이러한 탈락을 방지하기 위해 강판에 앵커볼트로 고정시키는 방법을 사용하였다.

벽체 및 강판의 전단저항기구는 벽 중앙부의 폭넓은 대각선 압축지주 및 벽철근에 의한 트러스 기구로 저항하며, 보강된 부재의 전단강도는 벽체 및 강판의 전단강도의 합으로 구할 수 있다.

$$V_{shear} = V_{wall} + V_{steel\ plate} \quad (1)$$

Fig. 1과 같이 강판의 항복강도에 의해 평면에 작용하는 전단응력은  $\tau = \alpha_{py} \sin \alpha \cos \alpha$ 로서, 강판의 전단강도  $V_{steel\ plate}$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$V_{steel\ plate} = \tau l t_p = \sigma_{py} l t_p \sin \alpha \cos \alpha \quad (2)$$

여기서,  $l$ 은 강판의 유효폭으로서 벽체의 순간격과 같으며,  $t_p$ 는 강판의 두께,  $\alpha$ 는 강판의 인장응력장 축, 스트립의 각도로서 CSA 2001<sup>7)</sup> 및 AISC 2005<sup>8)</sup>에서 제시되어 있는 식 (3)으로 구할 수 있으며, 근사값으로 45도이다.

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + tl/2A_c}{1 + th_s(1/A_h + h_s^3/360I_c l)} \quad (3)$$

휨 강도  $V_f$ 는 시스템의 캔틸레버 거동에 의한 강도를 의미한다. 강판보강시 기초면에 정착을 실시하지 않아 주로 전단에 저항하는 강판의 기여도는 무시하고 벽체의 휨성능에 의해 결정된다.<sup>9,10)</sup>

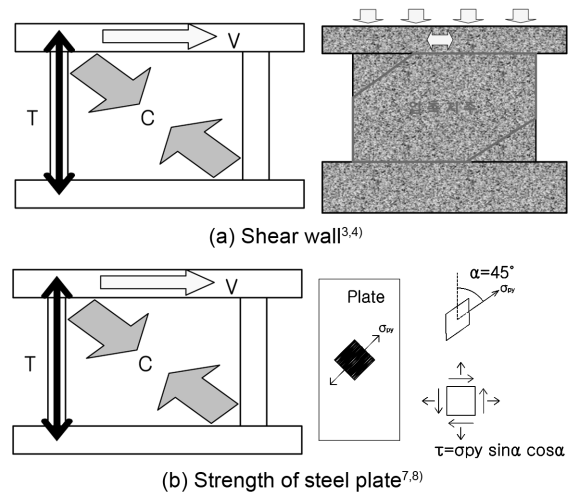


Fig. 1 Mechanism of shear resistance (steel plate)

## 2.2 강봉보강

PS강봉에 의한 보강방법과 같이 보강하고자 하는 부재에 소정의 응력을 도입시켜 보강을 시작하는 시점에서부터 부재와 일체화되어 부재의 향상된 내력을 발휘할 수 있는 능동적 (active) 개념의 보강기법이 있다. 콘크리트 균열이 발생한 경우에는 골재의 맞물림 작용에 의한 전단 저항이 나타난다. 또한 수평전단 보강근이 부족할 경우 철근이 항복하여 균열이 넓어지게 되고 이로 인해 콘크리트에 의한 전단 저항능력은 현저히 떨어진다. 결국, 이 부재는 사인장파괴로 이르게 된다. 따라서 전단 벽체 보강을 위하여 active 보강기법을 도입함으로써 사인장균열이 발생하고 진전되는 것을 방지할 수 있다.

Fig. 2는 벽체에 프리스트레싱을 적용하였을 경우의 입면이며 아래 그림은 단면이다. 프리스트레싱을 도입한 보강 방법의 기본적인 개념은 보에 설치되는 전단 보강근과 같다. 이는 벽체의 전단 보강근과 같은 방향으로 설치되어 보의 전단파괴를 제어하는 방안으로 기존의 전단 보강근이 수동적인 개념의 전단 보강방안인 반면 프리스트레싱을 이용하여 균열의 벌어짐을 막아줌과 동시에 이미 발생된 균열에 대해서도 효과를 낼 수 있을 것이라 생각된다.

프리스트레싱에 의한 보강효과는 양방향에서 프리스트레싱력을 가하게 되므로 결국 두 배의 프리스트레싱이 원하는 부재에 작용하는 효과를 나타내며 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$V_{ps} = 2A_{ps}f_{ps}h/S_p \quad (4)$$

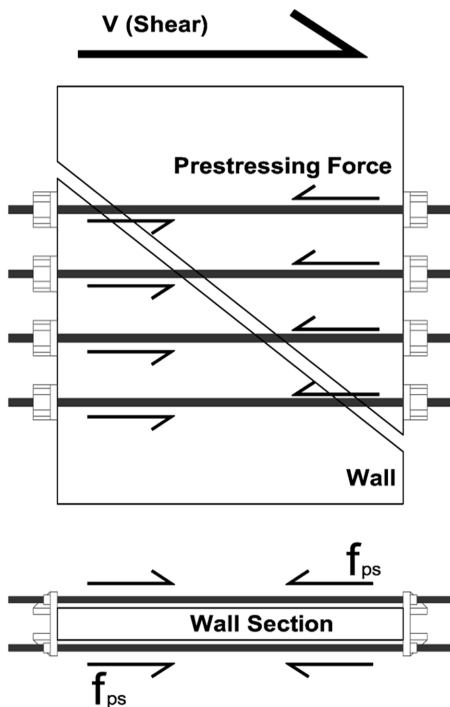


Fig. 2 Mechanism of shear resistance (prestressing steel bar)

여기서,  $A_{ps}$ 는 프리스트레싱강봉의 유효단면적,  $f_{ps}$ 는 프리스트레싱 도입응력 (도입응력은 보강내력 결정 후 역으로 산정하였으며,  $0.81 \text{ tf/cm}^2$ 를 적용하였다.),  $h$ 는 모체 (벽체)의 높이,  $S_p$ 는 프리스트레싱 강봉의 간격이다.

## 3. 실험 계획 및 방법

### 3.1 실험체 계획 및 제작

본 실험의 대상이 되는 건축물은 Fig. 3과 같이 1980년대에 건축된 벽식 구조 아파트의 16평형이다. 평면 확장 세대 병합형 리모델링을 위해 두 세대의 사이에 있는 벽에 개구부를 설치하는 것을 가정하였다.

실험체에 설치된 개구부의 면적은 선행 연구<sup>4,6)</sup>에서 나타난 바에 따라 인위적 손상을 입은 경우에 적절한 내력을 가질 수 있는 개구부 면적비 23%인  $580 \times 1,300 \text{ mm}$ 로 계획하였다. 실험의 주요변수인 보강방법을 주 변수로 선정하였으며, 연결부재의 (슬래브) 영향을 고려하기 위해 모든 실험체에 연결부재를 설치하였다. 개구부가 설치되지 않은 기존 실험체인 솔리드 (solid), 개구부가 있으며 별도의 보강을 실시하지 않은 비교 실험체인 CW-RC, 강판 및 프리스트레스 강봉을 사용하여 보강한 CW-ST, CW-PS 총 4개의 실험체를 제작하였다.

슬래브의 길이는 슬래브의 유효폭과<sup>11,12)</sup> 전체 골조 해석시에 산정된 모멘트 다이어그램에 따라 모멘트의 반곡점이 형성되는 지점으로 결정했다. 실험체 일람 및 상세는 Table 1과 Fig. 4에 나타내었으며, 보강내력 산정은 Table 2에 나타내었다.

### 3.2 재료 시험 및 실험 방법

본 실험에 사용된 철근 및 콘크리트의 재료 실험은 KSB 0801의 라호 규정 및 KSF 2404에 따라 시험편을 제작하여, KSB 0802 및 KSF 2404 규정에 따라 실시하였으며 시험 결과는 Tables 3과 4에 나타내었다.

실험은 반력벽이 설치되어 있는 입체 공간에서 실시되었으며 실험체의 설치 상황은 Fig. 5에 나타내었다. 수평

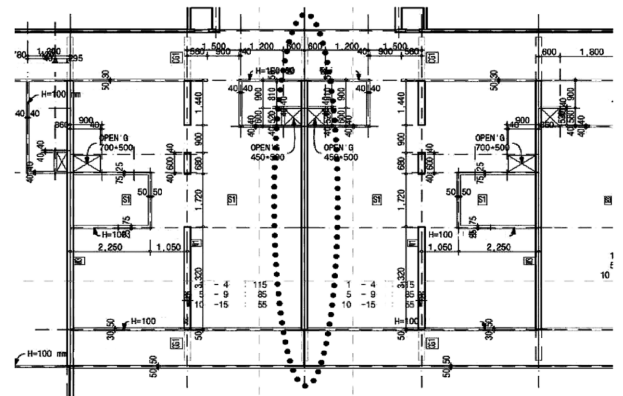
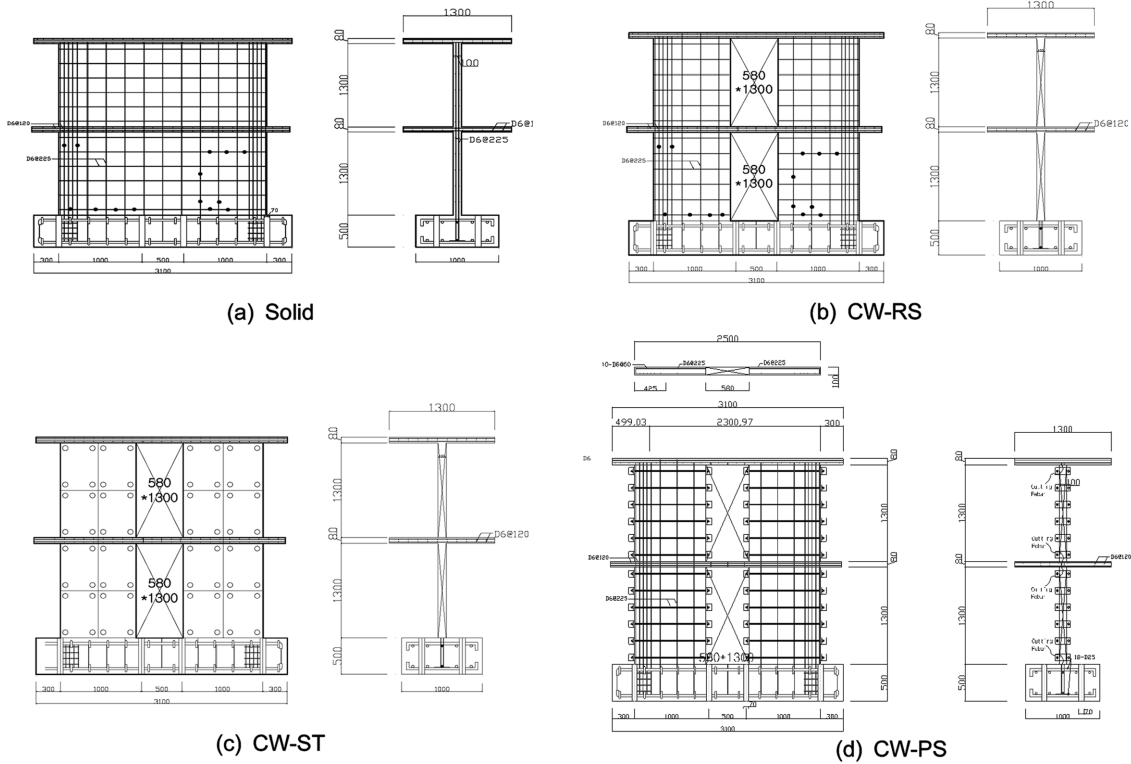


Fig. 3 Plan of prototype building

**Table 1** List of specimens

Specimens	Opening	Opening-wall ratio	Steel of wall		Steel of slab		$f_{ck}$ (MPa)	Steel plate	Prestressbar
			Ver	Hor	Ver	Hor			
Solid	x	-	D6@225	D6@225	D6@120	D6@120	21.23	-	-
CW-RS	o	23% (580 mm × 1,300 mm)							
CW-ST									
CW-PS									



**Fig. 4** Details of specimens (unit : mm)

**Table 2** Retrofit of specimen

Specimens	Retrofitting method	Flexural strength	Shear strength	Retrofit strength		$V_n$ (kN)	Predicted strength	Predicted failure mode
		$V_f$ (kN)	$V_s$ (kN)	$V_{sp}$ (kN)	$V_{ps}$ (kN)			
Solid	x	826	265	-	-	265	265	S
CW-RS	x	345	155	-	-	155	155	S
CW-ST	Steel plate	345	172	403	-	575	345	F
CW-PS	Prestressing	345	172	-	125	297	297	S

$V_{steel\ plate} = \tau l_p = \sigma_{py} I_p \sin \alpha \cos \alpha$ ,  $V_{prestressing} = 2 A_{ps} f_p h / S_p$ ,  $V_n$ : maximum ultimate design strength (retrofit strength)  
 Failure mode : S-shear govern, F-flexural govern

**Table 3** Material properties of steel

Materials	Yield strength (MPa)	Yield Strain ( $\epsilon_y$ )	Tensile strength (MPa)	Poisson's ratio
D6	291.19	0.0019	375.01	0.28

**Table 4** Material properties of concrete

Materials	Compressive strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Maximum Strain ( $\epsilon_u$ )	Poisson's ratio
Concrete	21.23	21.92	0.00171	0.15

하중은 실험체의 2층 슬래브에 가력 프레임을 설치하고 이를 2,000 kN의 하중을 가할 수 있는 액츄에이터와 연결하여 가력하였다. 실제 건물과의 유사성을 위해 축력 도입의 경우 2층 슬래브 중앙, 즉 벽체 중앙에 힌지를

설치하고 가력보를 벽을 따라 설치하였으며 벽체단면적의 10% (0.1)의 하중을 실험 시작부터 종료까지 일정하게 유지시켰다. 벽체의 전단변형량을 측정하기 위해 LVDT를 벽체의 코너에서 대각선 방향과 벽체의 중앙에 수직

## 4. 실험 결과

### 4.1 균열 및 파괴양상

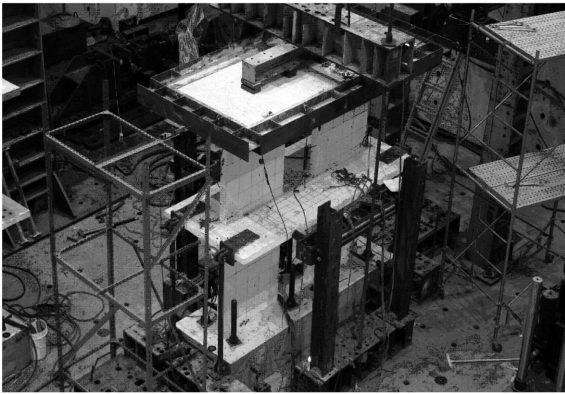


Fig. 5 Setting for test

으로 설치하였다. 1층 슬래브의 지점 조건을 만족시키기 위해 가력방향으로 힌지를 설치하였으며 실험체의 면외 좌굴 방지를 위해 슬래브의 높이와 같은 곳에 프레임 및 볼지그 (ball zig)를 설치하였다. 벽체의 항복 시점을 알아보기 위해 벽체와 슬래브 양단부 내의 수직 철근에 wire strain gage (WSG)를 콘크리트의 타설 전에 설치하였다. 벽체 하부와 상부의 수평철근에도 수평철근의 전단저항 기여 여부 판단을 위해 WSG를 설치했다.

횡력의 가력 방식은 Fig. 6과 같이 가력이 발생하는 변위를 가력점의 높이로 나누어준 부재각 (1/1000, 1/500, 1/300, 1/250, 1/200)으로 제어하였다. 각 사이클이 부재각별 3회씩 정·부가력으로 반복되어 진행되도록 하였다.

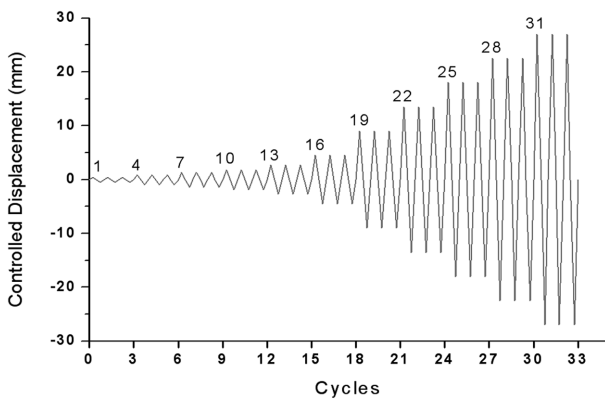


Fig. 6 Applied displacement history

각 실험체의 파괴 양상을 Fig. 7에 나타내었다. 기준 실험체인 솔리드의 경우 초기 벽체 단부에서 휨 파괴에 의한 다수의 휨 균열이 나타났으며, 하중이 집중 가력됨으로써 균열폭의 증가와 함께 실험 중반부에 이르러 양단부에서 발생한 휨균열이 벽체 중앙부로 진행되어 사인장균열로 발전하였다. 중국에는 사인장균열이 중앙에서 교차되면서 균열폭이 점차적으로 넓어져 벽체 콘크리트에 박리가 일어났으며 벽체 단부의 하부에 압괴가 발생하며 전형적인 장방형 단면을 가진 저형 전단벽의 파괴 양상을 나타내었다.

개구부 (580×1300)가 설치되어 있으며 보강하지 않은 CW-RS의 경우에는 초기 균열이 부재각 (displacement/height) 0.2%에서 벽체 단부에서 휨 파괴 양상을 나타내었다. 하중이 증가됨에 따라 균열은 개구부 주위로 진전되어 단부에서 벽체의 전면으로 확산되기 시작했다. 실험 후반부에서는 뚜렷한 균열의 확산은 나타나지 않았으며 벽체 하부의 균열이 넓어지며 박리현상과 더불어 벽체 양 단부에서 압괴가 발생하여 최종 파괴되었다.

강판으로 보강한 CW-ST 실험체의 경우 실험 진행 중에는 균열의 진전 상황을 파악할 수 없어 실험 도중 벽체 보강 면을 두드려보고, 실험 종료 후 강판을 모체에서 분리하여 균열발생 상황을 관찰하였다. 균열은 CW-RS와 유사하게 벽체 단부에 집중되어 있었으며 기초저면 (반력 바닥 고정용)과 벽체 부분의 분리로 중국 파괴되었다. 또한 1층 슬래브에서 나타난 균열정도는 CW-RS 실험체에 비해 상대적으로 많은 균열이 발생하였음을 알 수 있었다. 이는 모체와 보강재의 계면이 분리됨으로써 응력이 벽체 단부의 상부로 집중되었으며 그 응력의 일부는 슬래브로 전달된 것으로 사료된다.

프리스트레싱 보강기법을 사용한 CW-PS의 경우 초기 균열은 부재각 0.37%에 실험체 단부에서 발생하였다. 하중이 증가함에 따라 균열은 벽체의 상부와 개구부 방향으로 균열이 진전됨으로써 사인장균열의 형태를 나타내었다. 균열이 발생한 위치는 단부의 프리스트레싱 정착

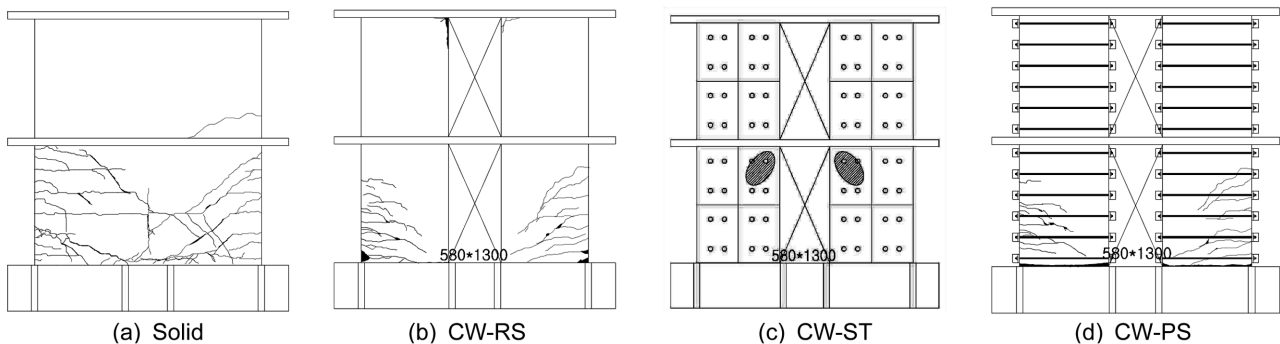


Fig. 7 Crack patterns and failures of specimens

부였으며 이 위치를 제외한 다른 곳에서는 균열이 시작되지 않았다. 하중이 점증가력 됨으로써 벽체 상부에는 더 이상 균열이 진전되지 않았고 벽체와 기초의 접합면에서 CW-ST와 같이 하부 균열의 폭이 넓어지면서 벽체가 기초에서 분리되었다. 그러나 슬래브에 발생한 균열의 정도는 CW-ST에 비해 상대적으로 적게 나타나고 있는데 이는 슬래브로의 응력 배분이 강판 보강을 도입한 CW-ST에 비해 더 작게 나타나았기 때문으로 판단된다.

결과적으로 보강 대상이 되는 CW-RS에 비하여 보강을 실시한 실험체 CW-ST와 CW-PS는 공통적으로 기초와 벽체의 분리에 의한 슬라이딩으로 종국 파괴되었다. 이는 강판에 의한 벽체 전반의 강성 증가와 프리스트레싱에 의한 벽체의 보강효과에 의해 벽체의 강도가 증가되었기 때문으로 사료되며, 실제 대상 건물의 보강시 슬래브에 정착되는 보강기법이 필요한 것으로 판단된다.

## 4.2 하중-변위관계

본 연구에서 측정된 실험체에 대한 정적 반복 가력의 하중-변위 곡선은 Fig. 8과 같다. 변위는 2층 슬래브의 가력지점에서 측정된 값이다.

Table 5에 나타낸 바와 같이 개구부가 없는 솔리드 실험체의 경우 부재각 0.8%에서 최대 내력 280 kN을 보였으며 최대 내력 이후 벽체 전면의 전단균열의 발생과 단부에서의 압괴로 인하여 내력이 감소하였다.

개구부가 존재하며 보강하지 않은 CW-RS의 경우 부재각 0.6%에서 최대내력 160 kN이었으며, 최대 내력 이후 급격한 내력 감소는 나타나지 않았다.

보강을 실시한 CW-ST의 경우에는 CW-RS에 비해 전단 저항 내력이 증가하였으나 개구부가 없는 솔리드에 비해 21% 내력이 감소되었다. 강선으로 보강된 CW-PS는 부재각 0.96%에 최대 내력 192 kN으로 CW-ST와 유사한 이력거동을 보였으며 솔리드에 비하여 31%의 내력

감소를 보였다.

각 실험체의 하중-변위 관계를 살펴보면 솔리드의 경우 장방형 전단벽의 전형적인 현상으로서 핀칭 (pinching)을 나타내며 거동하였다. 반면 개구부가 있는 CW-RS와 개구부가 있는 벽체에 보강재를 설치한 CW-ST와 CW-PS의 경우 핀칭현상이 솔리드보다 작게 나타나고 있는데 이는 장방형 전단벽에 개구부를 설치함으로써 벽체의 파괴모드가 전단보다는 휨 지배형으로 변화되었기 때문으로 사료된다.

강판 보강재를 설치한 CW-ST의 경우 타 실험체에 비해 더 많은 하중이력을 경험할 수 있으며 후반 이력에서 완만한 내력 감소를 보여주고 있다. 이는 보강재인 강판이 실험의 후반 이력에서 지속적으로 거동하고 있는 것으로 판단된다. 프리스트레싱 강봉을 이용한 CW-PS의 경우는 CW-RS와 유사한 형태의 하중-변위 곡선을 나타내었다. 그러나 이 경우 초기 강성이 CW-RS보다 높은 상태였기 때문에 더 많은 이력을 경험하고 더 높은 내력을 나타내었다.

## 4.3 강성

각 실험체의 강성 저하 곡선을 Fig. 9에 나타내었다. 모든 실험체는 하중이 증가함에 따라 강성이 저하되는 경향을 보여주고 있다. 보강하지 않은 솔리드 실험체와 CW-RS 실험체의 경우 솔리드 실험체의 경우 초기 완만한 강성 감소율을 보였으나 벽체 중앙부에 사인장균열이 발생한 이후 급격한 강성 저하 현상을 보였다. 이에 반해 개구부가 있는 CW-RS 실험체의 경우 초기부터 매우 급격한 강성 저하 현상을 나타내었다.

강판으로 벽체 전면을 보강한 CW-ST의 경우 초기강성은 기준 실험체인 솔리드에 비해 낮은 값을 보였으나 하중의 증가와 더불어 강성 저하율이 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 보강 모체의 내력이 일정 강도 발휘한

**Table 5** Comparison of test results and predictions

Specimens		Test results										Predicted strength		Comparisons of results		
		$P_{cr}^{(1)}$ (kN)	$P_y^{(2)}$ (kN)	$P_u^{(3)}$ (kN)	$\delta_y^{(4)}$ (mm)	$\delta_u^{(5)}$ (mm)	$\mu^{(6)}$	$\theta_y^{(7)}$	$\theta_u^{(8)}$	$\frac{P_{n(retrofit)}}{P_{u(nonretrofit)}}^{(9)}$	$\frac{P_{n(retrofit)}}{P_{u(Solid)}}^{(10)}$	Cal. (kN)	FEM (kN)	Cal./ FEM.	$P_u'/$ Cal.	$P_u'/$ FEM
Solid	Pos	98	186	280	13	20	1.53	1/212	1/138	-	1	265	274	0.96	1.05	1.02
	Neg	95	183	275	13	22	1.69	1/212	1/125	-	1				1.03	1.00
CW-RS	Pos	59	106	160	9	16	1.77	1/306	1/172	1	0.57	155	170	0.91	1.03	0.94
	Neg	54	113	170	14	22	1.57	1/197	1/125	1	0.61				1.09	1.00
CW-ST	Pos	-	146	220	20	25	1.25	1/138	1/110	1.39	0.79	345	-	-	0.63	-
	Neg	-	93	140	20	38	1.9	1/138	1/72	0.82	0.51				0.40	-
CW-PS	Pos	89	128	192	12	25	2.08	1/230	1/110	1.22	0.69	297	-	-	0.64	-
	Neg	96	118	178	12	22	1.83	1/230	1/225	1.04	0.65				0.60	-

<sup>(1)</sup> $P_{cr}$ : Cracking load (test value) <sup>(2)</sup> $P_y$ : Yielding load <sup>(3)</sup> $P_u$ : Ultimate load <sup>(4)</sup> $\delta_y$ : Yielding displacement <sup>(5)</sup> $\delta_u$ : Maximum displacement

<sup>(6)</sup> $\mu$ : Ductility ratio <sup>(9)</sup> $\frac{P_{n(retrofit)}}{P_{u(nonretrofit)}}$ : Retrofit effectiveness ratio for Solid, <sup>(10)</sup> $\frac{P_{n(retrofit)}}{P_{u(Solid)}}$ : Retrofit effectiveness ratio for CW-RS

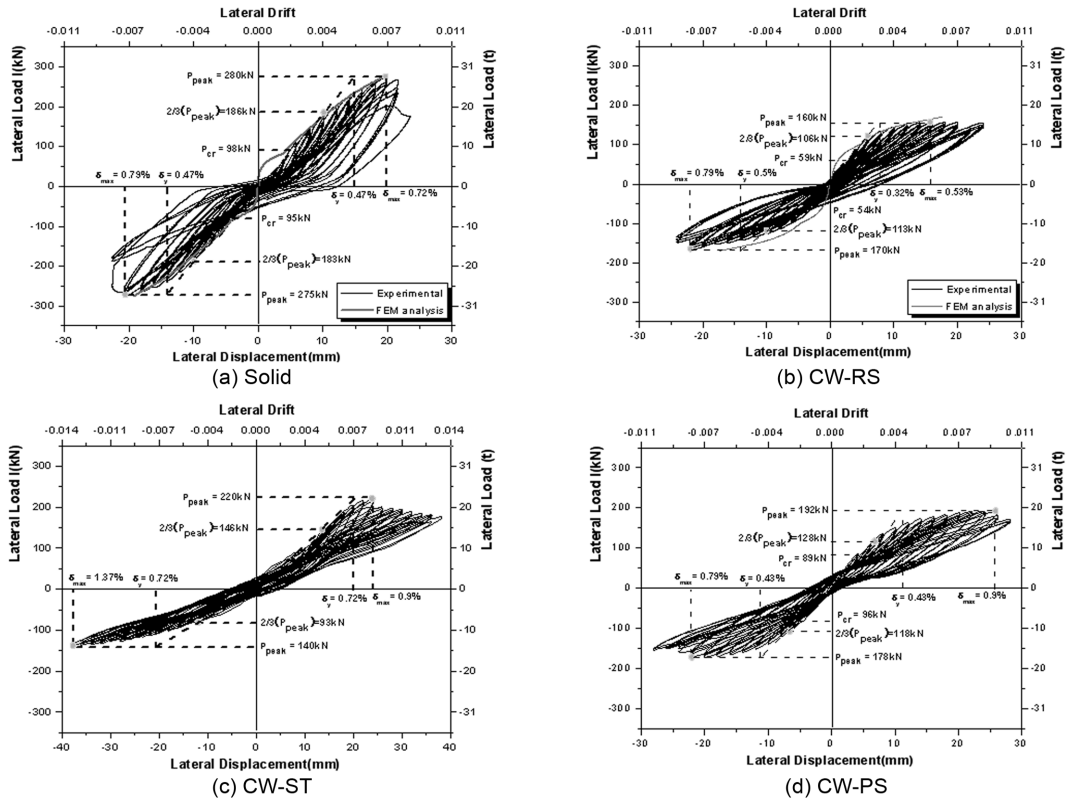


Fig. 8 Load - displacement relationship

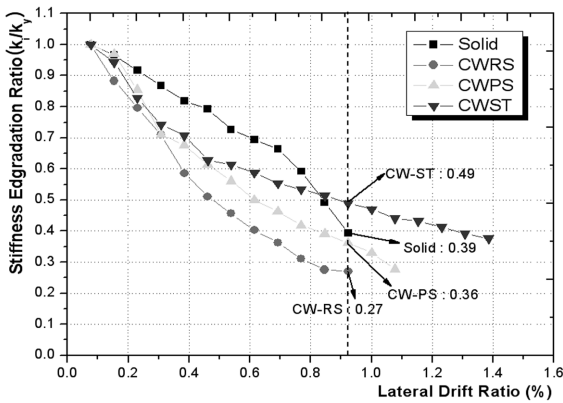


Fig. 9 Stiffness degradation

후 보강재가 보강 능력을 발현하는 특성 때문에 사료 된다. 프리스트레싱을 가한 CW-PS 실험체의 경우 보강 대상인 CW-RS 실험체보다 높은 강성과 완만한 강성 저하율을 보여주었다. 대부분의 실험체가 파괴에 도달한 부재각 0.92%에서 실험체의 강성비를 살펴보면, 강성비가 CW-RS에 비해 보강을 한 실험체들이 초기 강성에 대해 훨씬 높게 유지됨을 알 수 있다. 이는 보강체들이 벽체 강성 유지에 기여하는 것으로 판단된다.

## 5. 보강력 발현 특성

### 5.1 보강재의 내력 상승 기여

실험체들의 파괴 패턴을 비교해볼 때 개구부가 신설될

경우 벽체는 전단파괴 보다는 휨파괴에 지배를 받는 경향이 있었다. 또한 실험에 의한 각 실험체의 내력을 살펴보면 보강을 하지 않은 개구부가 존재하는 실험체 CW-RS에 비해 강판과 강봉으로 보강을 실시한 CW-ST와 CW-PS는 각각 39%와 22%의 내력 상승을 보여주고 있다. 특히 강판으로 보강한 CW-ST의 경우 벽체 내력의 상승은 급격히 증가하다 최대 내력을 지나는 순간 바로 하강하기 시작했다. 이후 다시 그 내력 저하율이 낮아지는 연성적인 거동을 이끌어내기 시작한다. 즉 강판은 보강이 되어 있지 않은 벽체가 더 이상 내력을 발휘하지 못하는 순간부터 벽체의 취성적 파괴 거동을 막는데 기여하고 있음을 알 수 있다. 그러나 강봉으로 보강한 CW-PS의 경우 보강을 실시하지 않은 CW-RS와 특별한 변화 없이 꾸준한 상승률로 내력이 상승하면서 더 많은 이력을 경험할 때 까지 파괴되지 않으면서 내력 상승을 이끌어 냈다. 이는 강판보강은 벽체의 파괴 거동 이후에 보강재가 보강력을 발휘하고 있으며, 강봉을 이용한 보강의 경우 보강력 (프리스트레싱)을 도입한 시기부터 모체와 동일하게 거동하며 보강력을 발휘하는 것으로 사료된다.

### 5.2 철근의 변형률

실험체 내부의 응력분포를 알아보기 위하여 설치된 WSG를 통한 철근의 변형률을 Figs. 10과 11에 나타내었다.

각 실험체에 대한 임계의 위치에서 수직 철근의 변형률 분포를 Fig. 10에 나타내었으며 개구부 유·무에 따

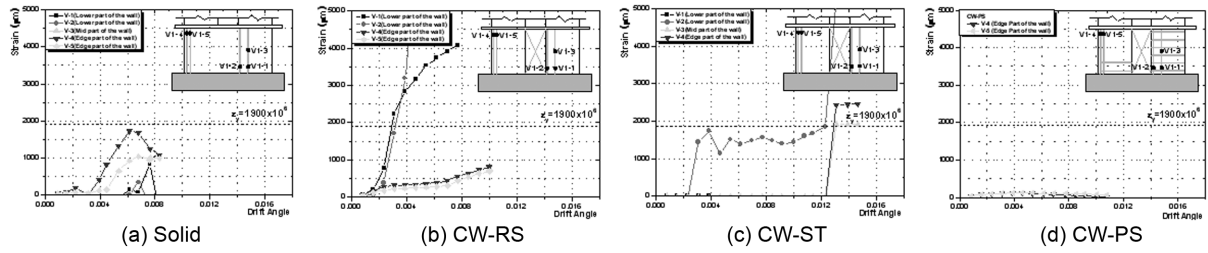


Fig. 10 Vertical steel strain of walls

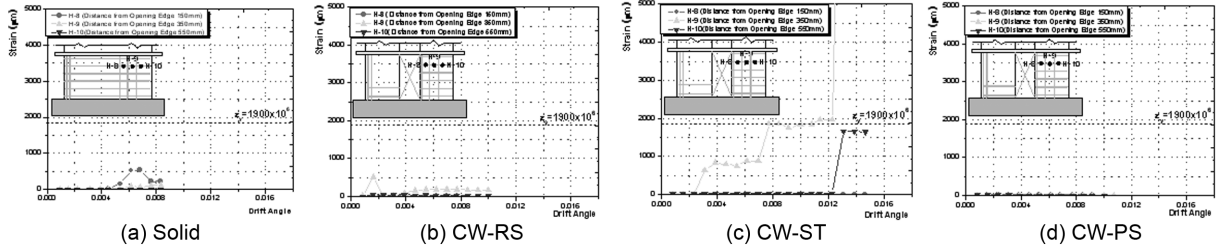


Fig. 11 Horizontal steel strain of walls

라 변형량이 다소 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

개구부가 없는 솔리드의 경우 개구부가 있는 경우에 비해 수직철근의 변형량이 다소 낮게 나타나고 있으며, 특히 개구부가 있는 경우 2층까지의 전체 형상비가 전단 벽체보다는 휨 벽체에 가까워지므로 하중이 점증가력됨으로써 변형률은 전체적으로 증가하고 있다.

각 실험체의 변형률을 살펴보면, 개구부가 없는 솔리드 실험체의 경우 전술한 바와 같이 사인장파괴가 주 파괴모드로 나타남으로써 하부 보다는 벽체의 중앙부 또는 상부에서 다소 높은 변형률을 나타내고 있다. 반면 개구부가 있는 CW-RS의 경우 뚜렷한 휨 거동을 함으로써 벽체 양단부의 변형률은 솔리드와 다소 비슷한 형태를 보이고 있으나 벽체의 하부에 위치한 철근이 상부보다 다소 높은 변형을 나타내고 있다.

강판 및 프리스트레싱 강봉으로 보강한 CW-ST와 CW-PS 실험체의 경우 보강 공사 중 일부 게이지의 손상으로 인해 데이터를 습득하지 못하였다. 그러나 습득한 데이터에 의하면, 철근의 변형률 증감은 개구부가 있으며 무보강 실험체인 CW-RS와 유사하게 나타나고 있으나 CW-ST의 경우 벽체와 기초저면 (바닥 고정용 기초)이 완전 분리 파괴될 때 높은 변형률을 나타내고 있다. 반면 벽체 전면에 동일한 간격의 강봉으로 보강한 CW-PS의 경우 벽체 상부에서 CW-ST에 비해 극히 낮은 변형률을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 각 실험체별 수평 철근의 변형률을 개구부 중심에서부터 거리별로 나타낸 것이다. 솔리드의 경우 철근이 항복을 경험하지는 않았지만 벽체의 단부로부터 거리에 비례하여 실험체 중앙부로 갈수록 변형률이 높게 나타나고 있다. 이는 개구부가 없는 솔리드의 경우 전단에 지배받는 전단벽의 거동에 의한 압축 지주의 폭이 증가하였기 때문으로 사료된다.

개구부가 있으며 보강하지 않은 CW-RS의 경우 개구부 설치로 인하여 수평 철근의 정착 길이 상실과 형상비 변화로 인한 휨거동으로의 변화로 인하여 모든 철근의 변형이 거의 없는 것으로 나타났다. 개구부가 있으며 강판으로 보강한 CW-ST의 경우 벽체 중심부에 위치한 수평 철근이 지속적인 증가와 함께 항복하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 개구부를 중심으로 양 벽체에 횡력에 저항하는 압축 지주의 폭이 강판에 의해 벽체 내부에 발생하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 수평 배치한 강봉에 의해 보강한 CW-PS의 경우에도 수평 철근은 항복을 경험 하지 않았다. 이는 PS보강의 경우 강판 보강과는 달리 개구부의 발생으로 인한 절단된 철근의 단부 구속에 대한 정착력을 개선시키지 못하기 때문이며 이는 휨-전단 균열에 대하여 효과적으로 저항하지 못한 것으로 판단된다.

### 5.3 보강체의 보강력 발현

Fig. 12는 CW-ST의 벽체 내부에 배근된 수직, 수평철근의 변형률을 나타낸 것이다. 하중이 점증 가력될수록 변형률은 증가하고 있으며 부재각 0.8% 이후 변형률이 급격히 증가하고 있다. 이는 최대내력 이후 완만하게 내력이 감소되는 도중 벽체와 바닥 고정용 기초부위가 완전 분리되는 시점으로 급격히 균열의 폭이 넓어지고 콘크리트가 탈락되는 시점이다. 따라서 부재의 교차부위, 즉 벽체와 기초 저면의 교차면에 L자형과 같은 굴곡 형태의 보강이 필요한 것으로 판단된다.

Fig. 13은 벽체에 수평으로 보강한 강봉의 각 위치별 변형률을 정가력에 대해서 나타낸 것이다. 강봉의 강성이 높은 관계로 철근에 비해 변형률은 극히 미미하게 나타나고 있으나 각 위치별로 꾸준한 변형률 상승을 경험



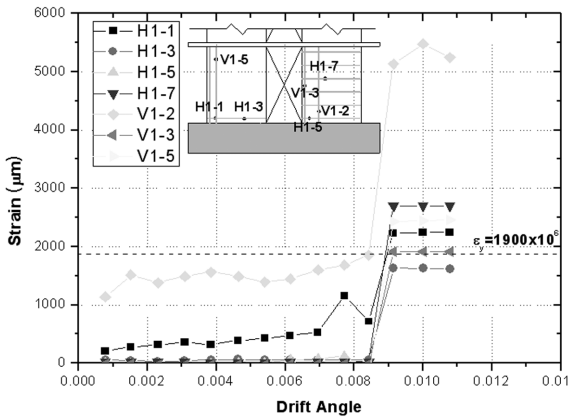


Fig. 12 Steel strain of CW-ST

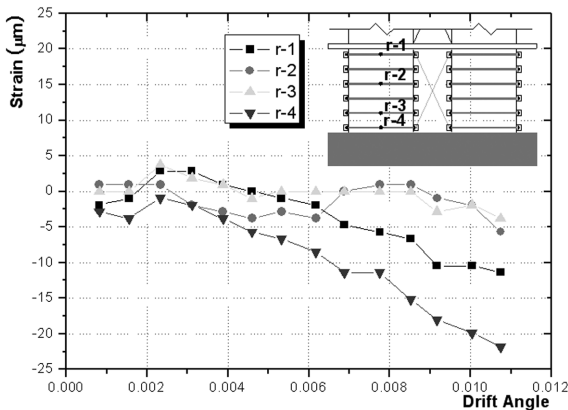


Fig. 13 Tendon strain of CW-PS

하고 있다. 각 위치별 변형량을 살펴보면 개구부가 있는 벽체에서 열려진 균열이 많이 분포하고 있는 벽체 단부의 상, 하부에 주로 높게 나타나고 있으며 변형량이 압축에 대해 지속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

이는 벽체의 균열 폭이 가장 넓게 나타난 위치의 변형량이 높게 나타남으로써 강봉은 열려진 균열에 대해 보강력을 발휘하기 때문으로 사료된다. 그러나 그 변형량은 균열이 사선방향으로 계속 진행되고 있는 부재각 0.8% 이후에 더 이상 나타내지 않고 있음으로서 수평으로 배치한 강봉은 사선방향으로 진행되는 균열에 대해서는 효과적으로 거동하지 않고 있음을 알 수 있다.

## 6. 결 론

개구부 설치를 위해 인위적인 손상을 가한 전단벽에 있어서의 보강효과를 파악하기 위해 두 종류의 보강방법을 사용한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 개구부가 없는 솔리드의 경우 중앙으로 사인장균열이 진행되며 전단으로 종국 파괴된 반면, 개구부를 가진 CW-RS의 경우 개구부 신설로 인하여 형상이 변화됨으로써 단부에 다수의 횡균열이 발생되며 종국 파괴되었다.

- 2) 강판과 강봉으로 보강한 CW-RS, CW-PS의 경우 개구부가 없는 솔리드의 최대내력까지는 발휘하지 못하였으나 개구부가 있으며 보강하지 않은 CW-RS에 비해 약 39%, 22%의 내력 상승률을 나타내었다.
- 3) 강판보강의 경우 모체 (벽체)에 응력이 도입되는 가력 초, 중반보다는 벽체가 내력을 더 이상 발휘하지 못하는 최대내력 이후 보강력을 더 많이 발휘함으로써 벽체의 연성적 거동을 유도하는 것으로 나타났다.
- 4) 강봉으로 보강한 경우 모체에 보강재가 도입된 시점부터 보강력을 발휘함으로써 초기균열의 진행과 균열의 진행 정도를 지연시키고 있으나, 실험 중반부에 나타나는 사선균열에 대해서는 수평 배치한 강봉은 균열 지연에 효과적이지 못한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원 및 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었고 (R01-2008-000-11381-0) 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Arnold, C., "Northridge Earthquake of January 17, 1994: Reconnaissance Report, Volume 1 Architectural Background," *Earthquake Spectra*, 11, 1995, pp. 443~452.
2. Paulay, T. A. and Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, John Wiley & Sons, 1992.
3. 윤현도, 최창식, "개구부를 갖는 철근콘크리트 바벨형 전단벽의 전단강도와 변형능력," 대한건축학회 논문집, 20권, 3호, 2005, pp. 11~12.
4. 윤현도, 김선우, 박완신, 김효진, 최창식, 최기봉, "개구부 설치를 위해 부분적으로 절단한 철근콘크리트 장방형 전단벽의 구조성능," 대한건축학회논문집, Vol. 21, No. 6, 2005, pp. 33~40.
5. 최윤철, 최현기, 최창식, "슬래브가 있는 전단벽의 구조적 거동에 대한 개구부의 영향," 콘크리트학회 논문집, 20권, 1호, 2008, pp. 3~11.
6. 최윤철, 최현기, 최창식, "개구부 신설에 따른 전단벽의 보강기법 특성," 대한건축학회 논문집, 24권, 1호, 2008, pp. 71~78.
7. Canadian Standards Association (CSA), *Limit States Design of Steel Structures, CAN/CSA S16-01*, Canadian Standards Association, Willowdale, Ont., Canada, 2001.
8. American Institute of Steel Construction (AISC), *Load and Resistance Factor Design Specification*, Chicago, 1999.
9. 박홍근, 광재혁, 전상우, 김원기, "주기하중을 받는 골조 강판벽의 실험연구," 한국강구조학회 논문집, 16권, 6호, 2004, 788 pp.
10. Ugural, A. C. and Fenster, S. K., *Advanced Strength and Applied Elasticity (Third Edition)*, Prentice Hall, 490 pp.

11. Paulay, T. and Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, John Wiley & Sons Inc., 1992, pp. 362~389

12. Schwaighofer, J. and Collins, M. P., "Experimental Study of the Behavior of Reinforced Concrete Coupling Slabs," *ACI Structural Journal*, Vol. 64, No. 2, 1977, pp. 123~127.

---

**요 약** 최근, 경제적 이점을 살리는 동시에 환경 부하를 줄이기 위하여 많은 기술자들이 리모델링을 선택하고 있다. 세대 통합을 하여 면적을 확대시키는 경우 세대간벽에 대한 개구부의 발생이 필연적인데 이에 따라 벽체의 유효 면적을 상실함으로써 벽체의 강도와 강성이 떨어지게 되며 최종적으로 전체 구조물의 성능을 감소시키는 결과를 낳게 된다. 그러므로 이 손상에 대해서는 별도의 보강이 필요하다. 이 연구에서는 손상을 입은 벽체의 성능을 파악함과 동시에 보강 성능의 파악을 위해 네 개의 실험체를 계획하였다. 이 벽체들은 인위적인 손상을 입은 것으로, 프리스트레싱과 강판의 부착에 의해 보강되어 있다. 실험 결과 보강된 실험체들은 전단과 휨에 대해 강도와 강성 모두 향상된 성능을 보여주었다. 특히 강판 보강의 경우 최대 하중 이후의 연성적 거동을 보여주었고 프리스트레싱 벽체는 강성의 큰 증가를 보여주었다.

**핵심용어** : 전단벽, 리모델링, 개구부, 보강, 강봉