

# 개구부 설치를 위해 인위적 손상을 가한 전단벽의 구조성능 평가

## Structural Performance of Reinforced Concrete Shear Walls Partially Cutted for Opening

최 윤 철\*      최 현 기\*\*      최 창 식\*\*\*      이 리 형\*\*\*\*  
Choi, Youn Cheul    Choi, Hyun Ki    Choi, Chang Sik    Lee, Li Hyung

### Abstract

The more demands on efficient utilization of resources, the more structural engineers prefer to select remodeling to improve old building's capacity. A series of four shear wall specimens were tested under constant axial stress and reversed cyclic lateral loading in order to evaluate the effect of the opening on the lower center of the wall induce by remodeling. Consequently, the existence of opening was verified to induce a different failure, which was caused by reduction of compression strut area formed on the wall to diagonal direction. Especially, the ultimate strength of the wall with an opening was revealed approximately 35% lower than that of the wall without an opening. And the similar results were appeared in characteristics of stiffness and energy dissipation capacity.

### 요 지

건축물의 증가와 자원의 효율적인 활용의 목적으로 기존 건축물에 대한 리모델링이 주목을 받고 있다. 리모델링 공사로 인해 세대간 병합을 위해 기존 벽에 개구부를 설치하는 경우 개구부의 영향을 파악 하는 것을 목적으로 철근콘크리트 전단벽의 정적가력 실험을 실시했다. 그 결과 개구부 유무에 따른 파괴현상은 벽 판에 형성된 압축지주의 단면적이 감소함으로써 다르게 나타났다. 특히 최대 내력은 개구부 설치에 따라 약 35%정도 감소되는 특성을 보였다. 이러한 경향은 강성 및 에너지 소산능력에서도 유사하게 나타났다.

**Keywords :** Shear wall, Remodeling, Opening, Performance, Damage

**핵심 용어 :** 전단벽, 리모델링, 개구부, 구조성능, 손상

\* 정희원, 한양대 건축대학 건축공학부 석사과정

\*\* 정희원, 한양대 초대형구조시스템 연구센터 연구조교수

\*\*\* 정희원, 한양대 건축대학 건축공학부 부교수

\*\*\*\* 정희원, 한양대 건축대학 건축공학부 교수

E-mail : ccs5530@hanyang.ac.kr 02-2220-0304

• 본 논문에 대한 토의를 2007년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2007년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

최근의 건설업계는 장기화된 불황과 함께 부동산에 관련된 각종 규제의 강화로 신축 혹은 재건축보다 기존의 건축물에 대한 리모델링을 선호하고 있으며 발코니 확장에 대한 합법화로 리모델링에 대한 요구는 늘어날 것으로 예상된다. 이와 더불어 건축물의 리모델링은 재건축과 비교하여 그 비용이 적게 소요되며, 폐기물의 배출이 적어 비용적인 측면 뿐 아니라 환경적인 측면에서도 유리한 방법이다. 리모델링은 사용자의 요구에 따라 철거 혹은 주요 구조 부재에 인위적인 손상을 가하게 된다. 특히 벽식 구조 아파트에서 세대간 병합을 위해 내력벽에 개구부를 설치하는 경우 그 개구부가 구조체 전체에 미치는 영향은 매우 크다. 그러나 현행 UBC 및 ACI 기준에서는 대칭이나 비대칭형 벽체의 설계에 대한 규정은 명시하고 있으나 개구부를 갖는 전단벽에 대한 설계방법은 제시되어 있지 않다.

지진의 우려가 높은 일본에서는 개구부의 영향에 따른 전단벽의 거동 및 지진 지역에서의 개구부 보강상에 관한 연구를 80년대 중반부터 青山博之<sup>(8)</sup>의해 진행되어 왔으며, 최근에 이르러 小野正行<sup>(11)</sup>는 개구부를 갖는 전단벽에서 재하속도에 의한 영향을 연구 보고하고 있다. 또한 Wallace와 Taylor<sup>(3)</sup>들은 벽체의 저면에 개구부를 갖는 휨 항복형 벽체에 대한 휨 거동 규명 및 변위기초설계법에 따른 경계부재의 횡보 강근량 산정방법을 검증하기 위한 실험적 연구를 실시하였으며, J.I.Daniel<sup>(4)</sup>은 6층의 벽에 개구부를 설치하여 개구부가 있는 내진 전단벽에 대한 설계 기준과 보강상세를 검토하여 개구부가 있는 벽체 설계시의 권장사항을 보고하였다.

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 인접세대간의 벽을 철거하여 세대를 병합하는 세대병합형 리모델링 공사에서 기존벽에 개구부를 설치하는 경우 효율적인 보강방법의 제시를 위한 연구의 일부로써 내력벽의 손상 이전과 손상 이후의 구조성능을 비교 분석하여 인위적 손상을 가한 내력벽의 응력손실에 따른 거동 특성을 평가하고자 한다. 이를 위하여 선행연구에서 적정 개구부 면적 산정을 위한 실험을 실시하였다. 실험체는 개구부가 없는 기준실험체를 비롯하여 개구부의

면적비가 23%, 30%, 39%인 실험체에 대하여 1/3 스케일로 실험체를 제작하여 실험을 실시하였다. 그 결과 개구부의 면적비가 30%이상인 경우 내력감소율이 50%이상 나타남으로써 구조적으로 많은 문제를 야기시키며, 목표강도까지 보강하는 것도 비현실적이라 판단하였다.

그러나 이러한 결과를 도출하는 과정에서 선행연구의 실험체가 형상비 0.5인 전단 지배 장방형 전단벽체로써 스케일이 1/3에서는 그 결과의 신뢰에 다소 부담이 되는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 선행연구결과에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 선행연구에서 내력감소율이 현저하게 높게 나타난 개구부 면적비 30%, 39%에 대해서는 고려하지 않았으며, 적정개구부 면적비로 판단된 23%의 실험체에 대해서 기준실험체와 비교, 분석하였다. 또한 전단벽에 개구부가 설치된 영향을 반영하고 있는 AIJ 기준 및 기존 연구자의 실험결과에 의해 제안된 전단강도 평가식의 국내 적용성을 검토함으로써 개구부 설치에 따른 내력손실의 보정을 위한 보강기법을 제안하는 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 전단벽의 전단강도

### 2.1 ACI318<sup>(5)</sup>

현행 ACI 기준에서는 전단 철근이 보강된 철근콘크리트 부재에 대한 전단강도는 콘크리트가 부담하는 전단능력 이외의 나머지 부분은 전단 철근이 부담한다고 가정하고 식(1)과 같이 제안하고 있다.

$$V_n = V_c + V_s \quad (1)$$

여기서, 벽체의 경우 콘크리트의 기여분( $V_c$ )은 임의의 단면에서 사균열 강도를 결정하는데 사용할 수 있도록 식(2)과 (3)중 작은 값을 적용하도록 규정하고 있다.

$$V_c = 3.3\sqrt{f_{ck}}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad (2)$$

$$V_c = \left[ 0.6\sqrt{f_{ck}} + \frac{l_w(1.25\sqrt{f_{ck}} + \frac{0.2N_u}{l_w h})}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] hd \quad (3)$$

단, 식(3)에서  $(M_u/V_u - l_w/2)$ 의 값이 감소함에 따라 이 값이 음수가 되기 직전에 이르면 식(2)가 좌우하게 되므로  $(M_u/V_u - l_w/2)$ 의 합이 음수가 되면 식(2)만을 사용하여야 한다. 또한 전단벽체의 전단철근의 기여분( $V_s$ )은 식(4)와 같이 규정하고 있다.

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4)$$

그러나 이러한 규준은 개구부의 영향을 고려하지 않은 것으로 개구부가 작다면 이같은 개구부의 영향은 무시할 수 있으나, 개구부가 상대적으로 크거나 위험영역에 있어 비탄성변형이 예상되는 경우 벽체의 거동에 개구부가 미치는 영향은 고려되어야 한다.

## 2.2 AIJ 규준<sup>(9)</sup>

현행 AIJ 철근콘크리트 구조계산규준에서는 개구부를 갖는 전단벽의 전단강도는 개구부가 없는 전단벽의 내력산정식에 강성 및 내력을 저감하는 강도저감율(Reducing)을 도입하여 개구부가 있는 벽체의 내력을 평가하고 있으며, 개구부 주변의 보강근량을 산정하는 방법을 제한하고 있다.

$$V_u = t_w L_{ub} \rho_s \sigma_{sy} \cot \Phi + \tan \theta (1 - \beta) t_w L_{ua} v f_{ck} / 2 \quad (5)$$

여기서,

$$\tan \theta = \sqrt{(h/L_{ua} + t - h/L_{ua}}$$

$$\beta = (1 + \cot^2 \Phi) \rho_s \sigma_{sy} / (v f_{ck})$$

$\sigma_{sy}$  : 40MPa이하

$t_w$  : 벽체두께,  $\rho_s$  = 벽체의 전단보강근비,

$\Phi$  : 트러스기구에서 압축지주의 경사각

$\cot \Phi = 1$  (전단벽의 전단강도 산정시)

$L_{ua}$  및  $L_{ub}$  : 아치 및 트러스 기구의 등가 벽체길이

$v$  : 콘크리트 유효강도계수이다

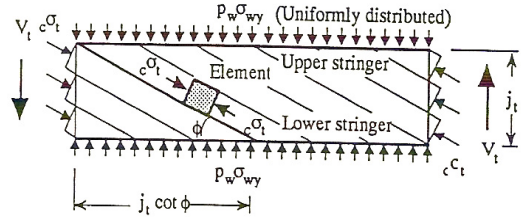


Fig. 1 트러스 메커니즘

또한 개구부를 갖는 전단벽의 강도식의 경우 탄성 판이론 및 응력 분포상태를 대략적으로 가정하여 개구부의 면적에 따른 전단벽의 강도 저감을 추정하기 위하여 강도저감율( $\gamma$ )을 산정하여 식(5)와의 곱으로 제안하고 있다. 여기서 강도저감율( $\gamma$ )은 식(6)과 같이 산정하고 있다.

$$\gamma = \min[\gamma_1 = 1 - l_0/l, \gamma_2 = 1 - \sqrt{h_0 l_0/hl}]$$

$$\gamma = \min[\gamma_1 = 1 - 2l_0/l, \gamma_2 = 1 - \sqrt{2h_0 l_0/hl}] \quad (6)$$

그러나 이러한 내력 평가 방법은 탄성 판이론 및 응력분포상태를 대략적으로 가정하여 도입된 방법으로 써, 균열발생이후 최대내력하에서 적용 가능성에 대한 확신은 없다.

## 2.3 Arakawa's<sup>(7)</sup>

Arakawa는 실험결과를 토대로 전단벽의 전단강도에 대하여 식(7)과 같이 제안하였으며, 개구부가 있는 경우 산정된 벽체의 전단 강도에 강도저감율( $\gamma$ )을 곱해 개구부의 영향을 평가하도록 제안하였다.

$$c_{cr} Q_{min} = \left\{ \frac{0.0538 P_{cr}^{0.23} (180 + f_{ck})}{M/(QD) + 0.12} + 2.7 \sqrt{\sigma_{wh} P_{wh}} + 0.1 \sigma_0 \right\} b \quad (7)$$

여기서,

$P_{et} = 100 \times a_{el} / (b_e L)$  : 등가인장철근비(%)

$b_e = \Sigma A / L$  : 전단벽 등가폭

$L$  : 벽의 전 길이

$a_{el}$  : 인장측 기둥의 주근 전단면적

$\sigma_{wh}$  : 수평철근의 항복강도

$P_{hw} = a_w / b_e s$  : 등가수평철근비

$a_w$  : 1조의 횡철근 단면적

$s$  : 횡철근 간격

$\sigma_0 = \Sigma N / (b_e L)$  이며,  $\Sigma N$  : 전 축방향력

$j = 0.8L$

이외 NZS 및 EC 기준에서는 장방향 전단벽체에 개구부가 설치된 경우 독립된 벽체로 가정하거나 병렬 전단벽으로 고려하여 설계하도록 권장하고 있다. 또한 휨에 의해 지배되는 벽체에 대해서는 벽체 개구부 주변의 응력 흐름은 스트럿-타이 모델을 이용하여 평가하도록 권장하나 전단이 지배적인 벽체에 대해서는 특별한 규정을 제시하고 있지 않다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험체 계획

실험대상 건물은 Fig. 2와 같은 1980년도 초반 대한주택공사에서 임대주택으로 설계 및 시공한 18평 벽식 아파트이며, 본 연구에서는 이 소형 임대주택을 대상건물로 선정하여 Fig. 2의 점선 부위의 세대간 벽에 세대병합을 위하여 개구부를 설치함으로써 중형아파트로 리모델링할 경우를 가정하였다.

본 연구에서 계획된 실험체는 개구부 설치전을 대상으로 한 개구부가 없는 기준실험체와 개구부의 크기 폭 1,800mm, 높이 2,100mm로써 개구부 면적비가 23%인 2개의 실험체를 계획하였다.

개구부 면적비는 선행 연구결과를 반영하였다. 선행 연구결과와 Table 1과 같으며, 결국 노후주택의 리모델링시 개구부 면적비 30%이상인 경우는 구조적으로 많은 문제를 야기시키며, 목표강도까지 보장하는 것도 비현실적인 것으로 판단되었다.

Table 1 선행연구 결과<sup>(1)</sup>

구분	개구부 면적비	내력감소율	공통 사항
Prototype Wall	0%	-	수직철근 : D6@225 수평철근 : D6@225
Wall I-0.23	23%	30%	
Wall I-0.30	30%	50%	
Wall I-0.39	39%	70%	

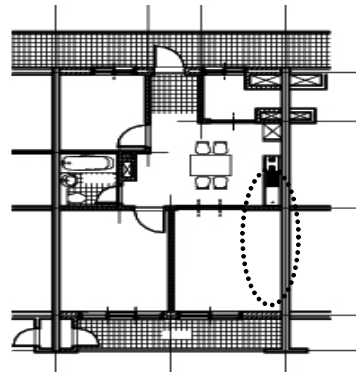


Fig. 2 실험대상 건물 평면

실험체는 선행연구의 실험체와 동일조건(축력, 철근비, 콘크리트 강도, 개구부 형상 및 위치등)에서 스케일을 1/2로 제작하였다.

벽체에 배근된 철근비는 실제연구 대상 부위에 대한 철근비 및 간격을 반영하여 계획하였다.

#### 3.2 실험체 제작

지진하중과 같은 반복 수평하중에 대한 전단벽의 구조거동 평가를 위하여 1/2크기로 축소하여 제작한 2개의 실험체에 대하여 실제 적용시 시공성을 고려하여 모든 실험체는 수직타설 및 분리타설 하였다. 기존 벽체를 부분적으로 절단하여 설치되는 개구부는 실험체가 1/2 규모로 축소 제작됨에 따라 벽체의 두께가 100mm로 절단장비를 이용하여 벽체의 부분적인 절단시 예상되는 충격 및 진동에 의하여 벽체가 손상을 받을 것으로 예상되어 실험체 제작시 미리 소요의 개구부가 확보될 수 있도록 거푸집을 조립하였다. 개구부가 설치되는 부위의 철근은 별도로 정착하지 않았으며 개구부 주변은 특별히 보강하지 않았다. 실험체의 일람은 Table 2와 같으며 실험체 상세 및 제원은 Fig. 3에 나타내었다.

Table 2 실험체 일람

실험체	개구부 유무	개구부 크기(mm)	개구부 면적비(%)	$f_{ck}(MPa)$	철근		$l_w \times h_w \times t(mm)$		
					수직	수평			
Prototype	x	-	-	21.23	D6@225	D6@225	3000	1300	100
WB-0.23	o	900x1050	23%		D6@225	D6@225	3000	1300	100

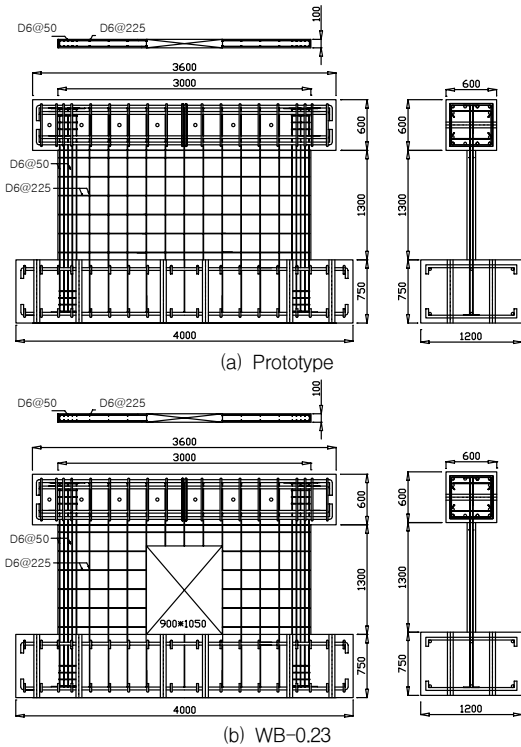


Fig. 3 실험체의 배근 및 상세

### 3.3 재료 시험

실험체 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도와 철근의 인장강도에 관한 재료시험 결과를 Table 3와 Table 4에 정리하여 나타내었다.

### 3.4 실험 방법

수평하중은 실험체의 가력보와 동일한 높이의 반력벽에 설치된 200ton 용량의 Actuator에 의하여 가력하였다. 또한, 축력은 실험체 상부 프레임에 연결되어 있는 2대의 100ton 용량의 Actuator를 사용하여 실

Table 3 철근의 기계적 특성

철근 종류	항복강도, $f_y(MPa)$	항복변형률, $\epsilon_y$	인장강도, $f_u(MPa)$	포아송비	연신율
D6	291.19	0.0019	375.01	0.28	13.1

Table 4 콘크리트의 강도 특성

콘크리트	28일 압축강도, $f_{cu}(MPa)$	탄성계수, $E_c(GPa)$	최대 변형률 ( $\times 10^{-6}$ ), $\epsilon_u$	포아송비
	21.23	21.92	1,956	0.15

험체 단면적의 10%( $0.1 f_{ck} A_g$ )로 실험 종료시까지 일정하게 가력하였다. 이때 벽판의 내외 좌굴을 방지하고, 실제 건물에서 각종 슬래브의 격막작용(Diaphragm) 효과를 고려하기 위하여 실험체 상부 횡가력보에 좌굴 방지용 볼 지그(Guide beam and ball jig)를 설치하였다. 반력벽에 설치된 수평하중 가력용 200ton Actuator와 실험체 상부 가력보를 일체화하기 위하여 실험체 상부 보에 이미 설치된 볼트 구멍을 이용하여 가력형강과 플레이트를 볼트 집합하여 가력형강과 실험체 상부 콘크리트 보의 상대 미끄러짐 변위를 최소화하였다.

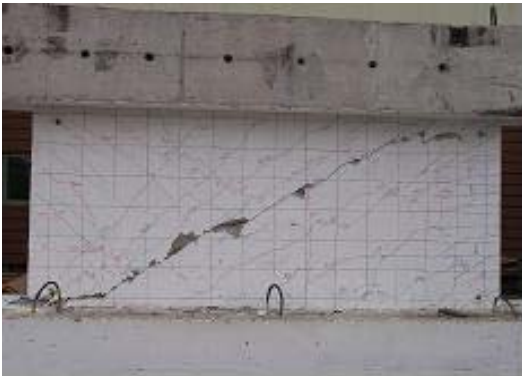


Fig. 4 실험체 설치 상황

## 4. 실험

### 4.1 균열 및 파괴양상

각 실험체에서 벽체는 휨 파괴 보다는 전단 파괴가 주요 파괴모드로 나타났으며, 각 실험체의 파괴형상은 Fig. 5와 같다. 파괴형태를 살펴보면 초기 균열의 발생위치는 벽체와 기초 저면에서 초기 균열이 발생하였으며, 항복하중에 도달하기 전까지 벽체의 중앙 부분으로 전단균열이 확산되는 양상을 보였다. 항복하중 이후 전단균열의 확산범위는 크게 증가하지 않았으나, 기존에 발생된 균열과 균열사이에서 새로운 균열이 다수 발생되어, 벽체 중앙부의 사인장 균열의 폭이 증대되어 콘크리트의 박리와 벽체의 부분적인 압괴로 최종 파괴 되었다.



(a) Prototype

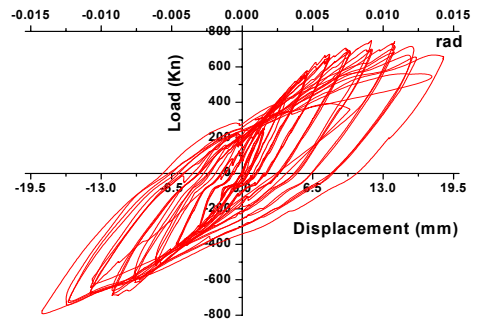


(b) WB-0.23

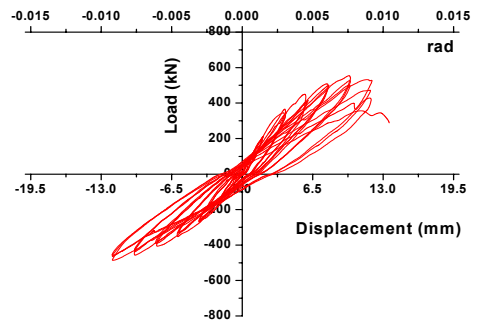
Fig. 5 최종파괴 상황

### 4.2 내력평가

본 연구에서 실험된 실험체에 대한 점증반복 가력의 하중-변위 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 변위는 벽체의 가력 지점에서 측정된 값이다. 그림에서와 같이 개구부가 설치되지 않은 Prototype의 경우 740kN에서 최대 내력을 보였으며, 이후 급격한 강도 및 강성 저하는 보이지 않았다. 이에 비해 벽체 면적의 23%의 개구부를 갖는 WB-0.23 실험체의 경우 최대내력은 540kN로 나타났으며, 이후 하중이 급격히 감소하는 취성적 거동을 나타내었다. 이는 기준 실험체에 비해 약 35%의 내력저하를 나타낸 것으로서 개구부에 따른 벽체의 유효단면 감소에 의한 내력 저하로 판단된다. 따라서 개구부 유·무에 따른 전단벽체에서 내력의 크기는 면적비에 따라 비례하는 것으로 나타났다.



(a) Prototype



(b) WB-0.23

Fig. 6 하중-변위 관계 곡선

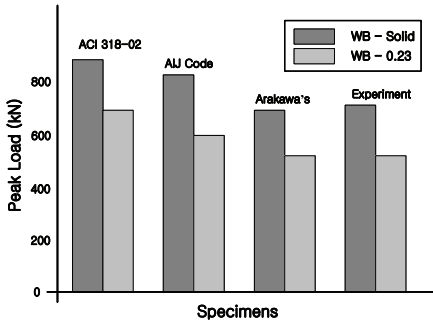


Fig. 7 기준식과의 비교

Fig. 7는 현행 기준(ACI, AIJ) 및 제안식에 의해 계산된 공칭 전단강도에 AIJ 철근콘크리트 구조계산 기준에서 제안하는 강도 저감율을 곱하여 산정한 Arakawa식을 이용하여 개구부를 갖는 전단벽의 전단강도에 대한 계산값과 본 연구에서 실시한 실험결과로부터 산정된 전단강도를 비교하여 나타난 것이다.

그림에서와 같이 개구부가 없는 경우 ACI 기준에 의한 계산 결과는 실험결과에 비해 약 20%정도 높게 나타나고 있으나 계산결과에 전단에 대한 강도감소계수 0.85를 적용하면 실험값을 다소 과소평가 하고 있으나 3%내외의 매우 안전측인 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 AIJ 기준에서는 실험값에 비해 약 15%정도 높게 평가하고 있으며 실험결과를 토대로 제안된 Arakawa식의 경우 실험값과 거의 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 개구부의 면적비가 23%인 WB-0.23의 경우 강도저감율을 고려하지 않고 콘크리트의 기여분을 개구부의 결손부분을 제외한 벽체의 면적을 이용하여 산정한 ACI기준에서는 실험값에 비해 약 18%정도 높게 나타나고 있으나 마찬가지로 강도감소계수를 고려한다면 실험값과 일치함을 알 수 있다. 또한 AIJ 기준에서는 실험값에 비해 약 10%정

도 높게 평가하고 있으며, Arakawa식의 경우 실험값과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 각 기준식과 본 연구의 실험값을 비교한 결과 다수의 실험결과를 토대로 제안한 Arakawa식이 상당히 안전측에 있음을 알 수 있으며, 특히 ACI 기준식에서 유효단면적의 산정시 벽체의 전체 면적에서 개구부의 결손면적을 제외한 유효면적을 이용하여 산정한 전단강도에 강도감소계수 0.85를 고려한다면 개구부를 갖는 전단벽의 전단강도 산정시 적용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

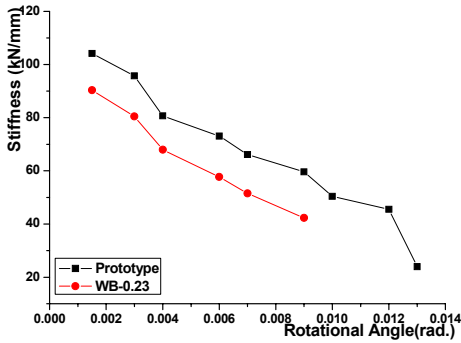
### 4.3 강성 및 연성평가

Fig. 8(a)는 정·부가력의 최대변위점을 연결하는 기울기로 평가되는 각 부재각에 대한 강성변화를 나타낸 것이다. 기준 실험체인 Prototype의 경우 초기 강성값은 104kN/mm이며, 극한 강성은 62kN/mm로 극한내력시 강성은 초기강성에 비해 약 42% 감소하는 것으로 나타났다. 개구부로 인해 손상을 입은 실험체인 WB-0.23의 초기 강성값은 90kN/mm이며, 극한 강성은 51kN/mm으로 초기강성에 대한 극한 강성의 감소율은 비슷하게 나타났다. 그러나 초기강성은 기준 실험체에 비해 약 13% 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 손상을 입은 철근의 강성 감소 및 개구부로 인한 콘크리트의 단면손실에 기인한 것으로 사료되며, 이러한 강성의 초기 손실을 보정하는 적절한 보강방법의 도입이 필요하다고 판단된다. Table 5의 변위연성비는 최대하중에서의 변위에 대한 항복변위로 정의하였다. 이때 항복변위는 벽체 주근의 항복시점과 유사하게 평가되는 최대하중의 75%점을 지나는 secant stiffness line의 교점이 하중-변위 곡선과 만났을때의 변위로 정의하였다.

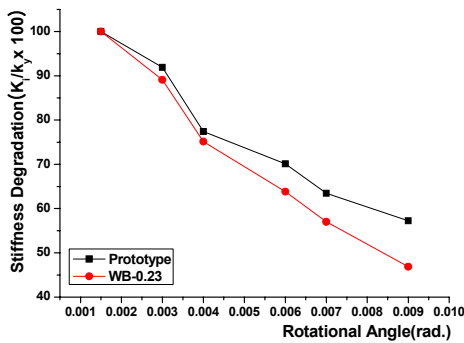
Table 5 실험결과

실험체	이론값과의 비교(kN)				$V_y$ (kN)	$V_{max}$ (kN)	$\Delta_y$ (mm)	$\Delta_u$ (mm)	$\mu$	$R_y$ (rad.)
	A차	AIJ	Arakaw's	Experiment						
Prototype	732	850	700	740	560	740	8	12	1.5	0.009
WB-0.23	640	600	530	540	405	560	7	10	1.4	0.007

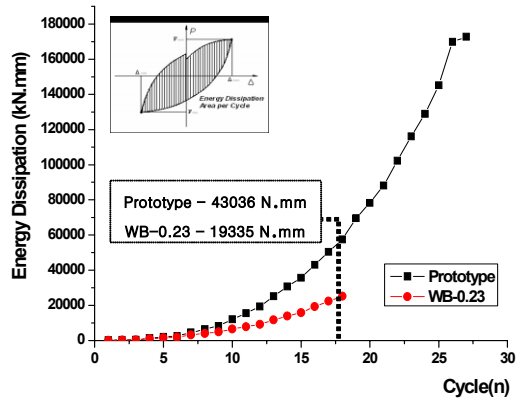
$V_y$ : 항복하중,  $V_{max}$ : 최대하중,  $\Delta_y$ : 항복변위,  $\Delta_u$ : 최대변위,  $\mu = \Delta_u / \Delta_y$ : 변위연성비,  $R_y$ : 항복부재각.



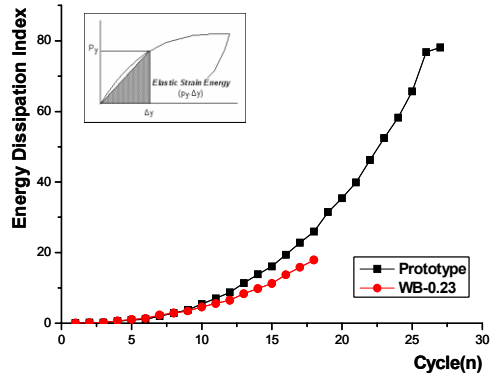
(a) 실험체별 강성비교



(b) 초기 강성대비 강성 저하율  
Fig. 8 강성저하 특성



(a) 누적에너지 소산능력



(b) 에너지 소산지표  
Fig. 9 에너지 소산특성

표에서 알 수 있듯이 각 실험체에서 나타난 변위연성비는 기준실험체인 Prototype은 1.5, WB-0.23은 1.4로 두 실험체 모두 비슷한 변위 연성비를 나타냈다.

#### 4.4 에너지 소산능력

Fig. 9(a)는 철근콘크리트 부재의 중요한 주기거동 특성 중의 하나인 에너지 소산능력을 확인하고자 하중-변위의 주기곡선으로 둘러싸인 부분의 면적을 산정하였다. 13사이클(부재회전각 0.007rad)까지는 거의 동일한 소산 능력을 발휘하고 있으며 이후 Prototype의 경우 선형적으로 증가하고 있는 반면 WB-0.23의 경우 증가율이 매우 둔화되었다. 각 실험체의 누적에너지 소산면적은 동일 사이클에서(n=16) Prototype의 경우 43,036N·mm이며 손상을 입은 시험체인

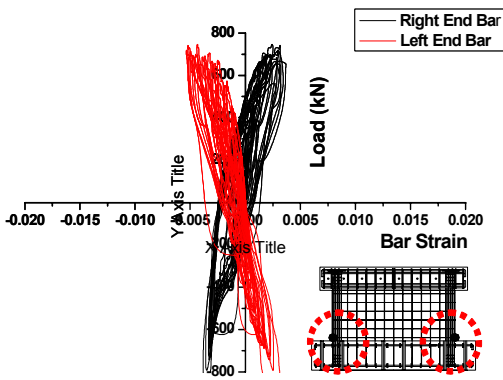
WB-0.23의 경우는 19,335N·mm로 개구부로 인해 손상을 입은 실험체가 약 55%작게 나타났다.

Fig. 9(b)는 Darwin과 Nmai<sup>(6)</sup> 등이 제안한 에너지 소산지표를 비교하여 나타낸 것으로, 초기 균열이 발생되기 전에는 모든 실험체의 누적에너지 소산 지수의 범위는 10사이클까지 0.09 ~5.4 내외로 대등한 수치를 보이고 있다. 그러나 WB-0.23 실험체의 경우 최종 파괴직전의 소산지수는 기준 실험체에 비해 약 31%작게 나타났다.

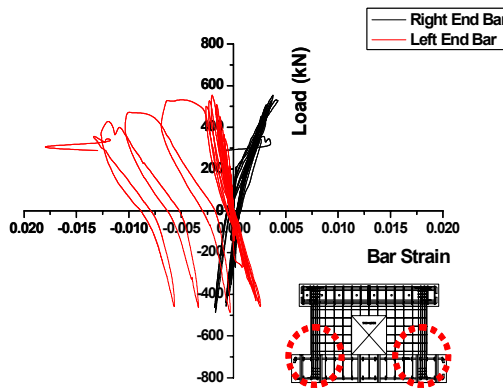
#### 4.5 철근변형률 분포

Fig. 10은 각 실험체의 벽체 양단에서 철근의 변형률 분포를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 10(a)에 나타난 바와 같이 Prototype 실험체는 정가력시 우측단





(a) Prototype

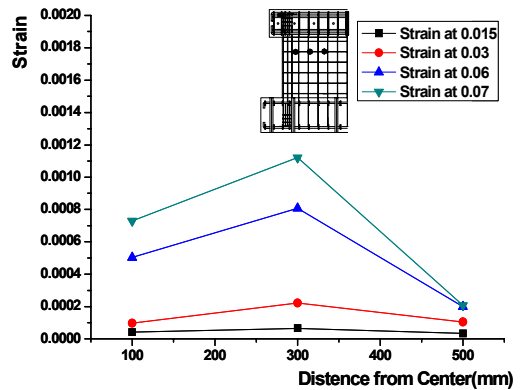


(b) WB-0.23

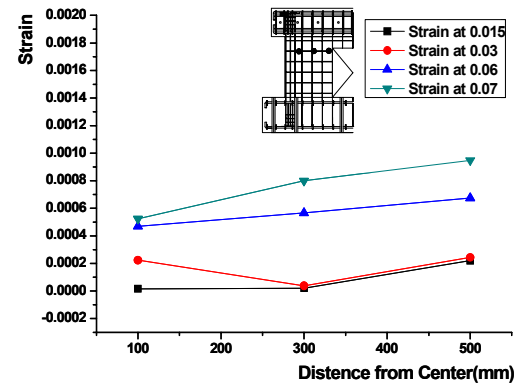
Fig. 10 벽체 양단의 철근 변형률

의 최대 변형률과 좌측단의 최대 변형률은 거의 유사한 값을 나타냈다. 이에 비해 WB-0.23인 실험체의 경우는 우측단의 최대 변형률은 0.0048로 좌측단의 최대 주근 변형률 0.00125에 비해 73%정도 작게 나타났다. 이는 개구부로 인해 손상을 입은 상태에서 응력 분포의 변함에 기인한 것으로 인장상태에서는 초기 휨 균열이 발생하게 되면, 하중은 철근에 의해서만 전달 되는 반면 압축응력 상태에 놓이게 되면 하중은 철근 및 콘크리트에 의해 전달되었기 때문으로 사료된다.

Fig. 11은 개구부 설치로 인해 손상을 입은 철근의 변형률 분석을 나타낸 것이다. X축은 개구부의 중심으로부터 게이지가 부착된 위치를 나타낸 것이다. 개구부가 설치되는 임계의 위치에서 철근의 변형률을 관찰한 결과 기준 시험체인 Prototype의 경우 철근의 변



(a) Prototype



(b) WB-0.23

Fig. 11 개구부로 인해 손상을 입은 철근의 변형률

형률은 위치에 따라 비슷한 경향의 증가율을 보였다. 그러나 개구부 설치로 인해 절단된 철근의 경우 동일 부재각 0.007rad에서 철근의 변형률은 기준 실험체보다 28% 낮은 변형률을 보였다. 이는 절단된 철근의 경우 정착길이 감소에 의한 부착능력 감소에 따라 철근의 인장 부담능력의 상실로 사료된다. 그러나 개구부에서 일정거리 떨어진 위치에서(WB-600mm)는 개구부로 인해 절단된 철근의 변형률과 기준 실험체의 철근 변형률력은 대등한 것으로 나타났다.

## 5. 결론

개구부 설치로 인해 인위적으로 손상을 가한 전단벽 실험체를 개구부의 유무와 현행 기준의 적용성 여부를

주 변수로 실험을 실시하여 벽체의 거동 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 개구부 설치를 위해 인위적으로 손상을 가한 시험체 WB-0.23의 경우 최대 내력은 손상전에 비해 35%의 강도 저하 특성을 보였다. 이는 개구부 설치로 인해 절단되는 철근의 능력 상실과 개구부로 인한 콘크리트의 유효 단면적의 감소로 인해 벽체에 개구부를 설치할 경우에는 개구부가 벽체의 거동에 영향을 주는 것으로 확인되었다.
- 2) 개구부를 갖는 전단벽의 전단강도를 평가하기 위하여 AIJ 기준식에 의한 개구부가 설치되지 않은 전단벽의 전단강도 계산결과에 전단벽의 개구부 효과를 반영한 강도저감율을 곱하여 구하는 평가방법은 실험값을 10%이상 과소평가하는 경향이 있다.
- 3) 여러 실험결과를 토대로 제안하고 있는 Arakawa's 식에 AIJ 철근콘크리트 구조계산 기준에서 제안하고 있는 강도저감율을 곱하여 산정한 식은 상당히 안전측에 있음을 알 수 있다. 특히 현행 ACI 기준식에서 유효단면적의 산정시 벽의 전체 면적에서 개구부의 결손면적을 제외한 유효면적을 이용하여 산정한 전단강도에 강도감소계수 0.85를 고려한다면 개구부를 갖는 전단벽의 전단강도 산정시 적용 가능성이 있는 것으로 판단된다.
- 4) 개구부를 갖는 WB-0.23 실험체의 경우 기준실험체에 비해 강성 및 에너지소산 능력이 기준 실험체에 비해 현저히 작게 나타나고 있는데 이는 손상을 입은 철근의 강성 감소와 개구부로 인한 콘크리트의 단면손실에 따른 것으로 판단된다. 따라서 강성의 초기 손실을 보정하는 적절한 보강기법에 대한 연구가 필요하다.
- 5) 개구부 설치를 위해 인위적으로 절단된 벽체 철근의 변형률은 개구부 영역에서 철근의 절단으로 인한 소정의 정착길이가 소실되어 부착성능의 감소로 철근의 변형 능력을 충분히 발휘할 수 없었으며, 이에 따른 적절한 보강방법이 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부에서 시행한 2003 건설핵심기

술연구개발사업 「철근콘크리트 벽식 구조 아파트의 환경친화적 리모델링 기술개발」(과제번호 : 03산학연 A07-09)와 2005 건설핵심기술연구개발 사업 「노후공동주택 구조 및 설비성능개선 기술개발」(과제번호 : C105A1050001-05A0505-00210) 연구과제의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 윤현도, 최창식, "개구부를 갖는 철근콘크리트 바벨형 전단벽의 전단강도와 변형능력", 대한건축학회논문집, 제21권 3호, 2005. 3. pp.11-18.
2. 윤현도, 최창식, "고강도 콘크리트 전단벽의 전단강도", 대한건축학회논문집, 제19권 5호, 2003. 05. pp.53-60.
3. Taylor. C. P., and Wallace. J. W., "Design of Slender Reinforced Concrete Walls with Openings" Report No. CU/CEE-95/13, Dept. of Civil and Environmental Eng'g, Clarkson Uni., Posdam, New York, 1995.
4. By J. I. Daniel., K. N. Shiu., and W. G. Corle., "Openings in Earthquake-Resistant Structure Walls" Journal of Structural Engineering, Vol. 112, No. 7, July, 1986, pp.1660-1676.
5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318 R-02) and Commentary (ACI 318 R-02)", American Concrete Institute, Michigan, 2002.
6. Darwin, D, and Nmai, C.K, "Energy Dissipation in RC Beams under Cyclic Load", Journal of Structural Div, ASCE, Vol. 112, No. 8, Aug 1986, pp.1829-1846.
7. (財)日本建築總合試験所 構造部, "有開口RC増設壁の實驗報告", 鐵筋콘크리트増設壁耐震補強設計及び施工指針 付屬資料, PP.付.2-1~12, September 2001.
8. 青山博之, "鐵筋ン콘크리트造開口耐震壁の補強設計法に關する研究", 東京大學青山研究室, 1991.
9. (財)日本建築學會, "鐵筋콘크리트構造計算基準同解説", 1998.
10. (財)日本建築總合試験所構造部, "鐵筋콘크리트増設壁耐震補強設計及び施工指針", 2001.
11. 小野正行, "鐵筋콘크리트造有開口耐震壁の彈塑性性狀に關する研究", 近畿大學 博士學位論文, 2000.

(접수일자 : 2006년 2월 10일)