



전단스팬비가 다른 보수된 벽체의 성능평가

한상환^{1)*} · 오창학¹⁾ · 이리형¹⁾

¹⁾한양대학교 건축공학부

(2001년 4월 20일 원고접수, 2002년 12월 17일 심사완료)

Performance of Repaired Structural Walls with Different Shear Span Ratios

Sang-Whan Han^{1)*}, Chang-Hak Oh¹⁾, and Li-Hyung Lee¹⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-171, Korea

(Received April 20, 2001, Accepted December 17, 2002)

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the capacities of repaired structural walls with different shear span ratios(1, 2, 3). Experimental tests were carried out. In this study three isolated large-scale wall specimens were made. The original wall specimens were tested until the drift reaches more than 3%. The region of the damaged specimen with the crack larger than 0.2 mm is replaced by new concrete. Also, severely distorted reinforcements were also replaced by new reinforcements. The crack smaller than 0.2 mm was cured by epoxy resin. Because of the space limitation of the laboratory the dimensions of all walls are the same. The shear-span ratio was controlled by the combination of axial and lateral force using the special test setting. All specimens were tested using the incremental quasi static cyclic load until failure occurs. Test results show that strength of repaired walls was almost equivalent to that of original walls. However, deformation capacities of repaired wall specimens are inferior to the original wall specimens.

Keywords : structural walls, repair, shear-span ratio, ductility, drift, deformation capacity

1. 서 론

콘크리트 구조벽체는 횡력에 대해 효과적으로 저항하고 변위를 제어할 수 있는 장점을 가지고 있어 콘크리트 구조물에 널리 이용되고 있다. 지진 발생시 구조체가 붕괴하지 않는다 할지라도 구조벽체의 손상은 어느 정도 예상해야 하며 그에 따른 적절한 보수 및 보강이 이루어져야 한다.

손상된 구조 벽체의 적절한 보수를 위해서는 먼저 지진으로 인해 발생된 손상부분을 구조물의 거동 양상과 손상의 정도에 따라 분류한 다음, 다시 발생할 수 있는 지진에 대해 적절한 성능 목표를 수립하여 이에 부합되는 보수가 이루어져야 한다. 특히, 손상된 벽체의 긴급한 보수는 여진으로 인한 피해를 효과적으로 제어할 수 있다.

구조 벽체의 손상 정도는 5가지(미미한, 경미한, 중간, 심한, 극심한 손상)로 분류할 수 있으며 심한 손상 또는 극심한 손상은 부재가 소성변형을 경험한 뒤 강도가 저하될 정도의 손상을 입어 부재의 구조적 성능을 저하시키기 때문에 부재를 대체하거나 강화시키는 형태의 보수를 요하게 된다.

A.E Fiorato (1983)⁴⁾은 구조벽체의 웹부분이 손상된 3개의 바벨형 구조 벽체(전단파괴)를 대상으로 변동변위이력(MR)방식으로 실험을 수행하였다. 보수 방법은 구조벽체 웹(web)부분에서의 단면증설과 철근 보수를 변수로 하였으며 철근의 보수는 전단변형에 대한 보강을 위해 사선보강이 추가되었다. 보수한 실험체는 하중-변위곡선과 초기강성의 관점에서 보수 전 실험체와 비교되었으며 보수된 구조벽체의 강도와 변형능력은 원실험체와 거의 유사하였지만, 초기강성은 50% 정도가 감소되었다. 또한 웹부분에서 콘크리트의 단면증설과 사선보강근을 통한 보수는 구조벽체의 변형능력을 향상시킬 수 있었으며 전단 비틀림에 대해 충분히 저항할 수 있었다.

Ioannis D. Lefas (1990)³⁾은 구조벽체의 경계요소 하단부가 손상된 3개의 장방형 실험체(휨파괴)에 대해서 2가지의 보수 방법을 변수로 하여 실험을 수행하였는데 한 개의 실험체는 손상된 압축부의 콘크리트 대체를 통한 보수를 실시하였고, 나머지 두 개의 실험체에 대해서는 압축부 콘크리트 대체와 벽체의 웹부분에 발생된 균열에 대해 에폭시 충전을 통한 보수를 병행하였으며 철근에 대한 보수는 실시하지 않았다. 압축부 콘크리트 대체와 에폭시를 이용하

* Corresponding author

Tel : 02-2290-1715 Fax : 02-2291-1716

E-mail : swhan@hanyang.ac.kr

여 보수된 벽체의 경우 보수한 실험체는 보수전 실험체에 비해 강성, 연성비 및 에너지 소산능력이 모두 저하되는 것과는 달리 에너지 소산능력을 어느 정도 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

따라서, 기존의 실험을 바탕으로 하여 본 연구에서는 중·약진 지역에 해당하는 우리나라에서 주로 사용하는 장방형 형태의 벽체를 대상으로 하였으며, 유효 전단스팬비가 1, 2, 3 인 실험체를 제작하여 유효 전단스팬비에 따른 변형능력 및 강도 평가와 구조벽체를 단순 보수했을 경우, 그 회복여부에 대하여 평가하고자 실험을 계획하였다.

본 실험은 축력과 횡하중을 조합한 준정적 (Quasi-static) 반복 실험으로 하였으며, 구조벽체를 파괴시킬 때까지 하중을 증가시키면서 반복 가력을 하였다. 실험 후 모든 실험체는 경계요소 하단부의 휨철근의 좌굴과 콘크리트의 압괴로 인해 최종적으로 파괴되었다. 그 후 손상된 구조벽체의 콘크리트와 철근을 보수하여 동일한 방법으로 실험을 행하였다.

모든 원 실험벽체는 압축부분에 콘크리트가 압괴되고 인장부분에 철근이 파단될때까지, 즉 횡저항능력이 급격히 감소할때까지 가력하였다¹⁾. 이는 변위각 2%이상까지 가력한 것으로 원실험체에 심한 손상을 유도한 상태이다. 손상 정도에 따라 보수 및 보강 성능에 영향을 미칠 수 있으므로 본 연구에서는 완전하게 횡저항능력을 상실할 시점을 그 기준으로 하였다.

따라서, 본 연구에서는 심하게 손상된 유효 전단스팬비에 벽체를 단순 보수하여 그 구조적 능력이 원래의 벽체에 비하여 어느 정도 회복되는지를 평가하였다.

2. 실험체 계획 및 내력

본 연구의 구조벽체는 유효전단스팬비가 2인 실험체를 기준 실험체로 선정하였다. 그리고 구조 벽체에서의 유효 전단스팬비의 영향을 파악하기 위해 각각 1과 3인 실험체를 계획하였으며, 단순 보수를 통한 구조성능의 회복 효과를 파악하기 위해 모든 실험체를 파괴시킨 뒤 원실험체와 동일

한 방법으로 다시 실험하였다. 실험실의 여건상 전단 스팬비가 모두 다른 실험체를 제작하기 어려웠기 때문에 모든 실험체는 높이 3m, 길이 15m, 그리고 두께 0.2m의 똑같은 실험체로 제작하였다. 또한 실험 진행중 목표가 되는 전단 스팬비를 유지하기 위해 실험체의 양쪽 가력장치의 축력과 수평력을 적절하게 조합함으로써 전단스팬비를 변화시켰다.

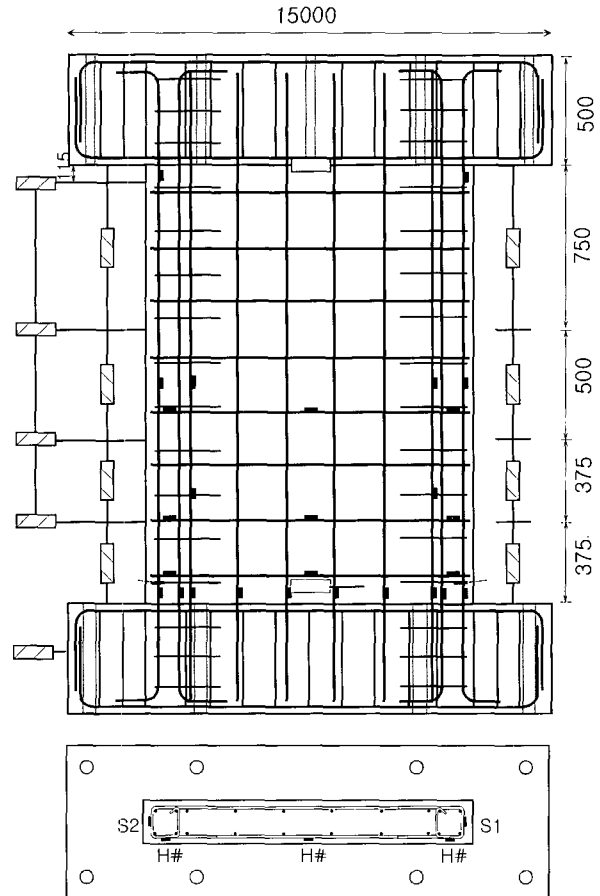


Fig. 1 Dimension and reinforcement details of specimen HRI-W2, W3, W4, W2R, W3R, W4R

Table 1 Dimension and details of specimens

Specimen	Section Shape	Length (m)	Height (m)	Thickness (m)	M/(VD)	Axial Force N/(Ag · f _{ck})	(1)	ρ_h	ρ_v	(2)
HRI-W2, HRI-W2R		1.5	3	0.2	2.0	0.1	4-HD13	0.28	0.28	HD10@200
HRI-W3, HRI-W3R		1.5	3	0.2	1.0	0.1	4-HD13	0.28	0.28	HD10@200
HRI-W4, HRI-W4R		1.5	3	0.2	3.0	0.1	4-HD13	0.28	0.28	HD10@200

HRI-W2, W3, W4 : Original specimens, HRI-W2R, W3R, W4R : Repair specimens

(1): Flexural reinforcement, (2): Transverse reinforcement, ρ_h : Horizontal reinforcement ratio, ρ_v : Vertical reinforcement ratio

Table 2 Expected strength of specimens

Specimen	M/(VD)	V_{fn} (tonf)	V_{vn} (tonf)	V_n (onft)	V_{max} (tonf)	(1)	(2)	Failure mode
HRI-W2, HRI-W2R	2.0	45.19	59.53	45.19	49.86	1.26	1.1	flexure
HRI-W3, HRI-W3R	1.0	66.01	78.17	66.01	77.27	1.96	1.96	flexure
HRI-W4, HRI-W4R	3.0	22.0	50.89	50.89	25.76	0.65	1.17	flexure

V_{fn} : Expected shear strength corresponding to the nominal flexural strength., V_{vn} : Expected nominal shear strength

$$V_n : \text{Min}(V_{fn}, V_{vn}), V_{max} : \text{Expected maximum shear strength, (1) : } \frac{V_{max}}{\sqrt{f_{ck} A_{cv}}}, (2) : \frac{V_{max}}{V_n}$$

실험 대상이 되는 구조벽체는 모두 장방향이며, 벽체의 양단부는 각 벽체 전체 길이의 10%에 해당하는 부분이다. 벽체 양단부의 수직 철근은 휨에 대해 설계 배근되었고, 횡보강근은 기둥의 횡보강근 배근 기준으로 배근하였다^{2,5)}. 횡보강근의 수직 간격 기준은 축방향 철근 지름의 16배 이하, 횡보강근 지름의 48배 이하, 기둥 단면의 최소치수 중 가장 작은 값으로 하는데, 본 실험체는 기둥 단면의 최소치수로 배근하였으며, U형 스트립과 타이 철근을 사용하였다. 사용재료 중 철근의 항복강도는 4000 kgf/cm²로, 콘크리트의 설계기준강도는 270 kgf/cm²로 가정하였다.

Fig. 1과 Table 1에 실험체의 단면치수와 배근상세를 나타내었다. 실험체의 강도는 콘크리트구조설계기준 (1999)에 의해 설계하였으며, 수평강도(V_n)는 공칭휨강도(M_n)에 상응하는 전단강도(V_{fn})와 공칭전단강도(V_{vn})를 구하여 둘 중 작은 값으로 선택하였다. 실험체의 공칭휨강도(M_n)는 콘크리트의 변형도가 선형분포한다는 가정하에 최대 압축 변형도를 0.003으로 가정하여 계산하였으며, 공칭전단강도(V_{vn})는 다음의 식 중 작은 값으로 선택하였다.

$$V_{vn} = (0.88\sqrt{f_{ck}}hd + \frac{N_u d}{4l_w}) + \frac{A_v f_y d}{s_2},$$

$$V_{vn} = \left[0.16\sqrt{f_{ck}} + \frac{l_w(0.33\sqrt{f_{ck}} + 0.2N_u/l_w h)}{M_u/V_u - l_w/2} \right] hd + \frac{A_v f_y d}{s_2}$$

여기서, h는 두께, d는 벽체의 유효춤(0.8 l_w), l_w 는 벽체의 길이, A_v 는 수평전단보강의 단면적, s_2 는 수평전단보강근의 수직간격이다. Table 2와 Fig. 2에 위의 식들로 구한 전단강도값과 횡보강근의 배근을 나타내었다.

3. 실험체 제작 및 재료 실험

원실험체의 제작에 사용된 철근은 HD25, HD16, HD 13,

HD 10이며 실험체의 보수시에는 HD10과 HD13만이 사용되었다. HD25는 실험체의 상하부 기초부의 주철근으로, HD13은 늑근으로 사용하였다. 경계부재의 타이철근은 기둥의 최소횡보강근 기준에 따라 20 d_b (d_b : 철근의 지름)이상의 정착길이를 가지는 U형 횡보강근과 20 d_b 이상의 135°와 90°의 구부림각을 가지는 띠철근을 배근하였다.

원실험체와 보수 실험체에 사용된 콘크리트와 철근의 재료 정수는 Table 3에 나타나 있다. 콘크리트의 재료 실험은 KSF 2404에 따라 콘크리트의 타설과 동시에 ϕ 100mm×200mm 몰드를 사용하여 실험체와 동일한 상태에서 양생하여 부재실험과 동시에 공시체에 대한 압축강도 시험을 실시하

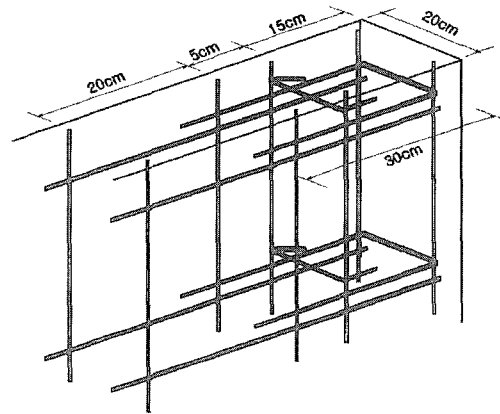


Fig. 2 Confinement detail

Table 3 Material properties

Specimen	Concrete compressive strength(kgf/cm ²)	Concrete slump(cm)	Yield stress of reinforcement(kgf/cm ²)	
			HD10	HD13
Original specimen	298.4	9	HD10	3352
			HD13	3614
			HD25	4046
Repaired specimen	271.3	18	HD10	3343
			HD13	3620

였다. 철근의 재료적 특성을 파악하기 위해서 KSB 0801 라 호 규정에 따라 철근의 인장 시험편을 제작하여 KSB 0802 의 금속재료 인장시험 방법에 따라 인장시험을 실시하였다.

4. 실험과정 및 측정

실험체의 설치 상황과 변위 이력이 Fig. 3에 나타나 있다. 모든 실험체는 축력과 수평력을 조합하여 가력하였다.

수평력은 점증 준정적 하중으로 부재각 1/600부터 1/33 까지 가력하였고, 각각의 변위 사이클은 3회가 되도록 계획하였다. 또한 실험 과정중 축력으로 인한 실험체의 면 외 좌굴을 방지하기 위해 횡보강 (Lateral Bracing)을 추가적으로 설치하였다. 본 연구 대상 벽체에 작용하는 축력을 재현하기 위해 100 tonf과 200 tonf 가력장치를 이용하여 $0.1f_{ck}A_g$ 로 일정하게 유지하며 하중을 제어하였으며, 목표로 하는 유효 전단스팬비($M/(VD)$)를 얻기위해서 실험체 양쪽에 있는 두 대의 가력장치의 축력을 변화시킴으로써 추가적인 모멘트를 발생시켰다.

실험체의 층변위, 벽체의 곡률, 휨 및 전단변형을 측정하기 위해서 총 15개의 LVDT가 설치되었다. L1에서 L8까지는 실험체의 곡률 및 휨을, L9에서 L12는 구조 벽체의 높이에 따른 횡변위를, L14는 벽체의 최상부 횡변위를 측정하기 위해서 각각 설치되었다. 또한 실험체와 바닥면의 미끄러짐 또는 가력보의 미끄러짐 변위를 측정하기 위해서 각각 L13과 L15를 따로 설치하였다. 철근의 응력과 변형상태를 측정하기 위해서 와이어 스트레인 게이지를 수직, 수평 철근의 주요부에 설치하였으며, Fig. 1에 나타내었다.

5. 실험체의 보수 과정

손상된 콘크리트 부재의 보수는 3부분으로 나눌 수 있는데, 단지 발생된 균열을 그라우팅하거나 페인팅을 하는 외형적 보수방법과 손상된 부재를 대체함으로써 구조적 성능을 원래의 성능으로 회복시키는 보수방법, 그리고 기존에 없었던 부재를 더함으로써 손상받기 전의 부재보다 구조적 성능을 향상시키는 보수 방법이 있다. 본 연구의 원실험체의 구조벽체는 경계요소 하단부의 콘크리트 파괴와 휨철근이 좌굴되어 파괴되었다. 따라서, 경계요소 하단부의 콘크리트 및 철근 보수, 그리고 벽체의 웹부분에 발생된 균열에 에폭시를 주입하는 세가지 방법으로 보수하였으며, 심하게 손상된 모든 실험체에 위의 방법들을 동일하게 적용함으로써 구조적 성능이 어느 정도 회복되는가에 초점을 두었다.

Fig. 4에 나타난 것과 같이 모든 실험체는 경계부재의 하단부가 기초보로부터 40 cm정도의 높이까지 심하게 파괴되었으며 벽체의 웹부분은 120 cm 높이까지 많은 균열들이 발생하였다. 손상된 콘크리트의 제거 여부는 균열폭을 기준으로 하였으며, 0.2 mm 이하의 균열폭에 대해서는 에폭시 주입을 통해서 보수를 하였고 균열폭이 0.2 mm 이상이 발생한 부분은 제거한 뒤 원실험체와 동일한 강도를 가진 콘크리트를 재타설하였다. 경계부재 하단부의 휨철근은 비록 파단되지는 않았지만 심하게 좌굴되어 제거한 뒤 콘크리트를 재타설하기 전에 동일한 강도의 철근으로 보수하였으며 철근의 이음길이가 충분히 되지 않는 부분에 대해서는 용접이음 (SMAW)으로써 철근을 보수하였다. 용접길이와 폭은 철근이 최대강도를 발휘할 수 있도록 계산하였다. 또한 철근간격과 배열은 본 실험체와 동일하게 유지하도록 하였다.

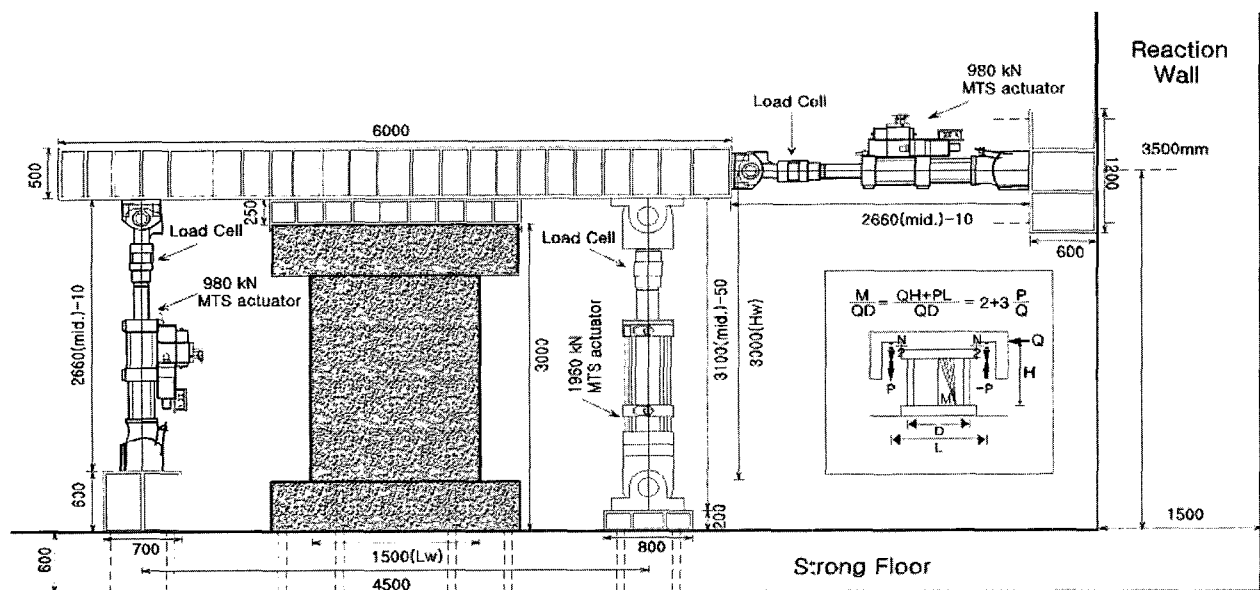


Fig. 3 Setup for testing the wall specimen

Fig. 5에는 실험체의 보수된 부분을 보여주고 있다. 실험은 콘크리트 타설후 28일이 지나서 수행하였다.

6. 실험결과 및 분석

6.1 균열 및 파괴 상황

6.1.1 원실험체 (HRI-W2, HRI-W3, HRI-W4)

원실험체의 초기 휨균열은 17.1~27.4 tonf의 하중상태에서 벽체의 단부 인장측의 아래쪽에서 발생하였다. 그 후 부재각 1/300에서 다수의 휨균열이 발생하였고 이러한 휨균열은 부재각 1/200에서 휨-전단 균열로 발전되었다. 벽체가 항복을 경험하기 이전에 이러한 휨균열들은 부재각 1/150에서 서로 교차하였다. 부재각이 증가됨에 따라 새로운 균열들이 추가적으로 발생하였으며, 전단스팬비가 1을 제외한 다른 실험체는 균열폭이 증가됨에 따라 휨거동의 양상을 보여주었다. 유효 전단스팬비가 2인 HRI-W2 실험체는 경계부재 부분의 약 1.2m 높이까지는 다수의 휨균열이 발생하는 양상을 보여주었고 벽체의 웨브부분에서는 전단균열이 발생하는 양상을 보여주었다. 중국에는 벽체의 경계부재 하단부에서 콘크리트 피복의 박리와 철근의 좌굴로 인해 파괴되었다. 전단스팬비가 1인 HRI-W3 실험체는 초기의 휨균열이 경계부재의 하단부에서 발생한 이후 계속해서 전단균열이 발생하는 양상을 보여 주었으며 완만한 휨거동을 보여주지 못하였고 최대 강도가 나타난 이후 연성적인 거동을 하지 못하고 파괴되었다. 전단스팬비가 3인 HRI-W4 실험체는 벽체가 파괴되기 전까지 다수의 휨균열과 완만한 휨거동을 보여주었으며 중국에는 HRI-W2 실험체와 같은 파괴양상을 보여주었다. 원실험체는 모두 양단부 아래쪽의 콘크리트의 압축 파괴와 철근의 좌굴로 인해 최종적으로 파괴되었다.

6.1.2 보수된 실험체(HRI-W2R, HRI-W3R, HRI-W4R)

보수 실험체는 실험이 진행됨에 따라 원실험체와 비슷한 균열의 양상을 보여주었다. HRI-W2R의 초기 휨균열은 부재각 1/400에서 벽체의 하단부에서 나타났으나 부가력시 인장측 하단부에서는 균열이 전혀 발생하지 않다가 부재각 1/300에서 발생하기 시작했다. 하중이 증가됨에 따라 초기에 발생한 휨균열들은 벽체의 웨브부분에서 서로 교차하면서 전단균열로 발전하였다. 부재각 약 1/100 (하중 42.8 tonf)에서 벽체의 양단부 아래 부분에서 압괴가 발생하기 시작하였고 벽체의 웨브부분쪽으로 피복의 박리현상이 심하게 나타났다. HRI-W2R 실험체는 부재각 1/75에서 단부의 휨철근의 용접부분이 파단되면서 최종적으로 파괴되었다.

HRI-W3R 실험체는 벽체의 초기 휨균열은 부재각 1/600에서 발생하였다. 비록 초기 휨균열의 발생 지점은 HRI-W2R 실험체와 동일하지만, 하중이 증가됨에 따라 다

수의 전단균열이 발생하여 벽체의 웹 가운데 부분까지 진전하였다. HRI-W3R 실험체는 부재각 1/100에서 벽체 단부의 압괴가 발생하기 시작하였고 압괴된 부분의 틈이 커지면서 부재각 1/75에서 단부 압괴와 철근이 심하게 좌굴되면서 최종적으로 파괴되었다.

유효 전단스팬비가 3인 HRI-W4R 실험체는 부재각1/600에서 초기 휨균열이 발생하였으며 하중이 증가하여도 전단균열의 양상은 나타나지 않았다. 부재각 1/75까지 매우 연성적인 거동을 보여주었으며 벽체 양단부의 압괴와 철근이 좌굴되면서 최종적으로 파괴되었다. Fig. 4에는 원실험체 및 보수 실험체들의 균열이 자세히 나타나 있다. 모든 실험체는 휨강도에 상응하는 전단강도(V_m)가 공칭전단강도(V_{cm})보다 작아 실험체는 휨파괴가 나타날 것이라 예상되었으며, 실험 후 모든 실험체는 벽체의 양단부 아래쪽의 콘크리트 파괴와 휨철근의 좌굴로 인해 최종적으로 파괴되었다. 용접부의 결함으로 인한 파괴는 확인되지 않았다. 보수 실험체는 원실험체 비해 균열의 수가 적게 나타났고 최대하중 이후엔 급격한 내력저하를 보이는 현상이 나타났으며, HRI-W2R 실험체의 경우는 휨철근이 파단되었다.

6.2 하중-변위 곡선

유효전단스팬비가 2이상인 HRI-W2, HRI-W4 실험체는 부재각 1/200에서 항복하였고, 부재각 1/75에서 최대내력을 보여주었다. 그 이후 부재각 1/50까지도 큰 내력저하를 보이지 않으며 매우 연성적인 거동을 보이고 있다. 전단스팬비가 가장 적은 HRI-W3 실험체는 다른 실험체와는 달리 부재각 1/100에서 부재가 항복하였고 부재각 1/75에서 최대내력을 나타냈지만 이후 연성적인 거동을 보이지 못하고 급격한 내력저하가 나타났다.

보수 실험체인 HRI-W2R, HRI-W4R 실험체는 부재각 1/300에서 항복을 경험하였고, 부재각 1/100에서 최대내력을 보인 후 HRI-W4R 실험체는 계속해서 연성적인 거동을 보인 반면 HRI-W2R 실험체는 급격한 내력 저하 현상이 나타났다. 보수한 실험체는 원실험체에 비해 항복이 빨리 발생하였고 유효전단스팬비가 가장 큰 HRI-W4R을 제외한 실험체들은 최대내력을 보인 이후에 내력저하 현상이 현저히 나타났지만 원실험체보다 최대강도는 모두 크게 나타났다. Fig. 6에는 실험체의 하중-변위 곡선이 나타나 있으며, Table 4에는 실험에 대한 결과를 정리하였다.

모든 실험체의 최대 변위는 최대 강도의 80%에 해당하는 변위로 산정하였으며 항복 변위는 경계 요소의 모든 휨철근이 항복했을 때의 변위로 산정하였다. 또한 최대 변위를 항복 변위로 나눈 값으로 변위 연성비를 산정하였으며 실험체는 변위 연성비와 변형 능력으로 평가하였다.

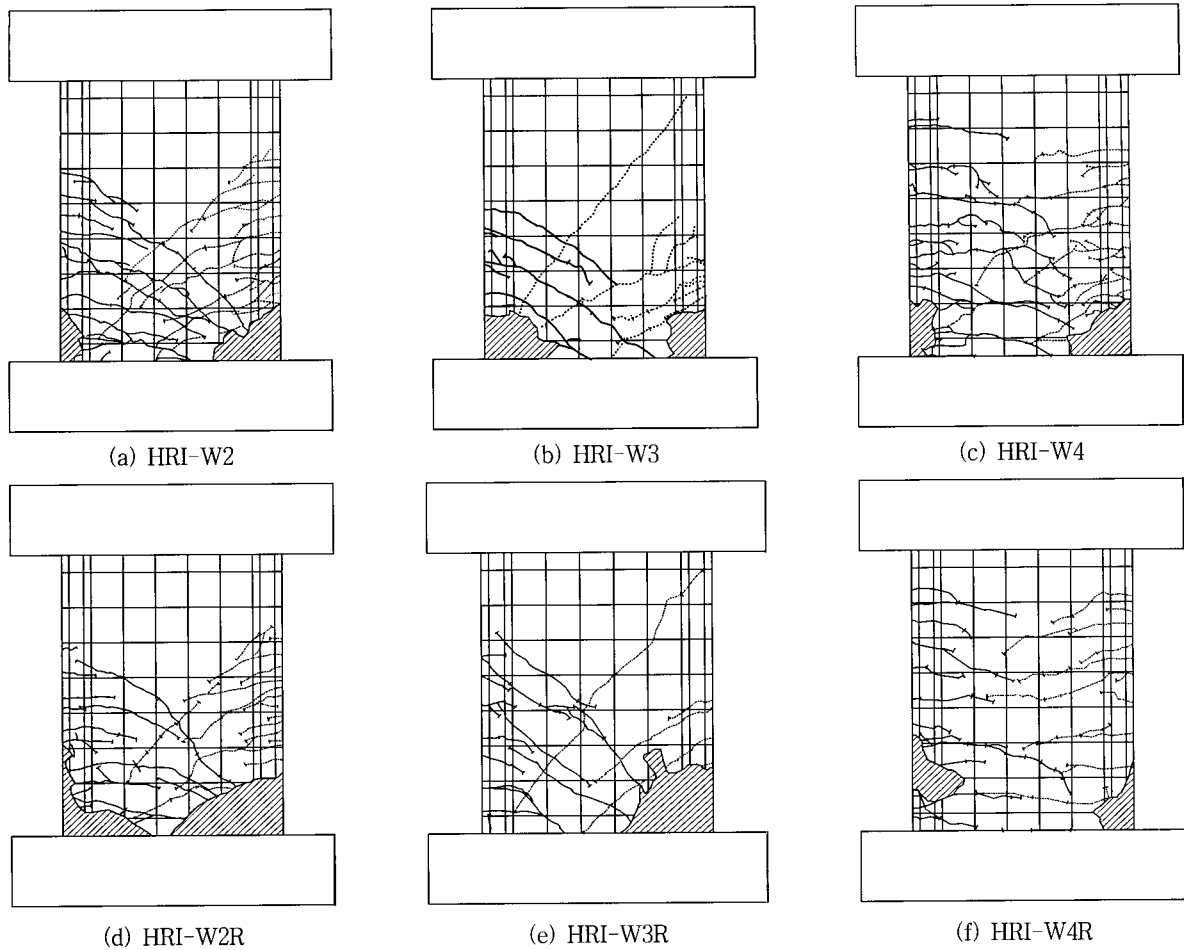


Fig. 4 Cracks of specimens

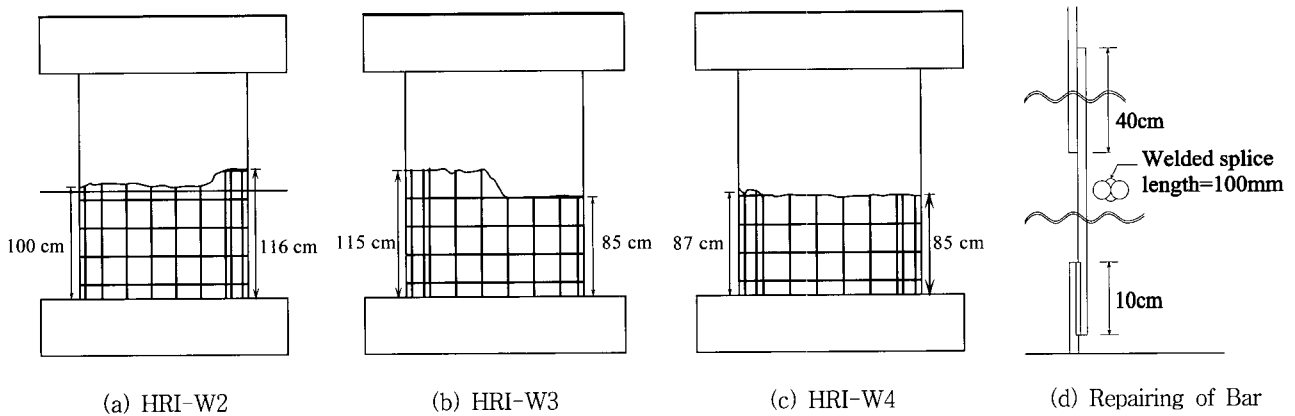
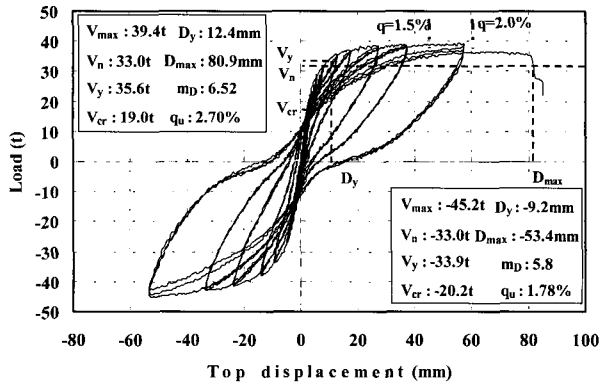


Fig. 5 Repair of specimens

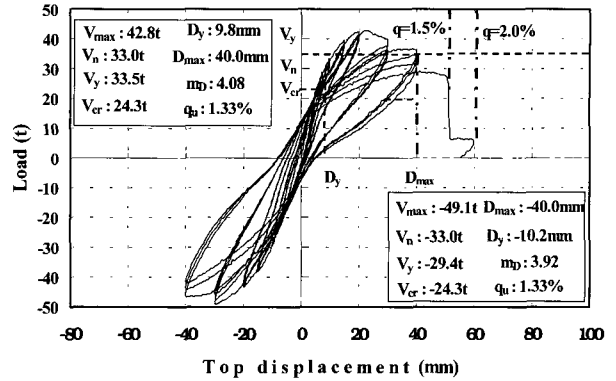
6.3 변형능력 및 에너지 소산능력의 평가

원실험체들은 부재각 1/75의 비탄성 영역까지 큰 내력저하가 나타나지 않는 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다. 유효전단스팬비가 2이상인 HRI-W2, HRI-W4 실험체는 정가력시 변위연성비 6.52~6.08, 변형능력 1.99~2.70, 부

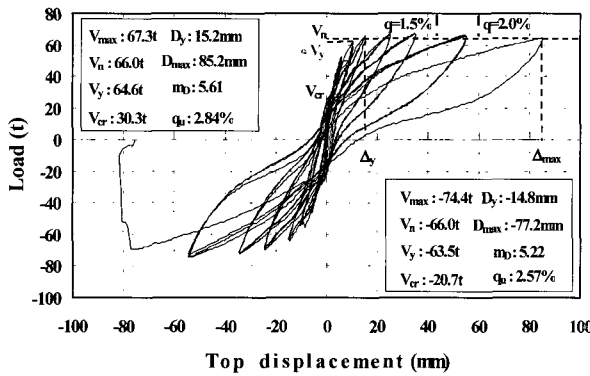
가력시 변위연성비 5.80~6.66, 변형능력 1.78~1.98의 우수한 연성능력을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 전단스팬비가 1인 HRI-W3 실험체의 경우는 유효전단스팬비가 큰 실험체보다 다소 낮은 변형능력을 확보하고 있지만 변위연성비 3이상, 변형능력 1.5%이상의 연성적인 거동을 하였다. 이는 힘이 지배적인 실험체의 경우 벽체 단부의 콘크리트와



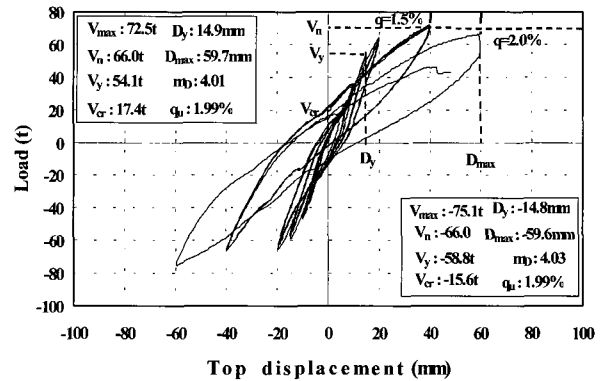
(a) HRI-W2



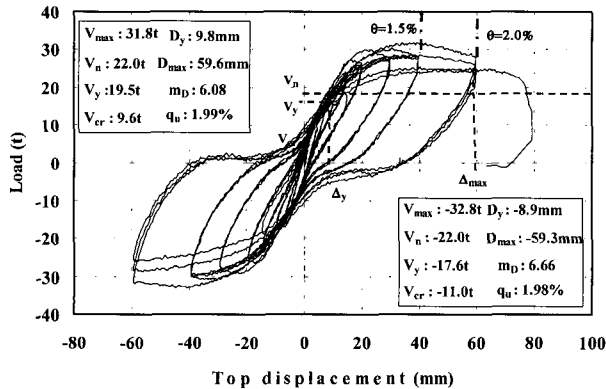
(b) HRI-W2R



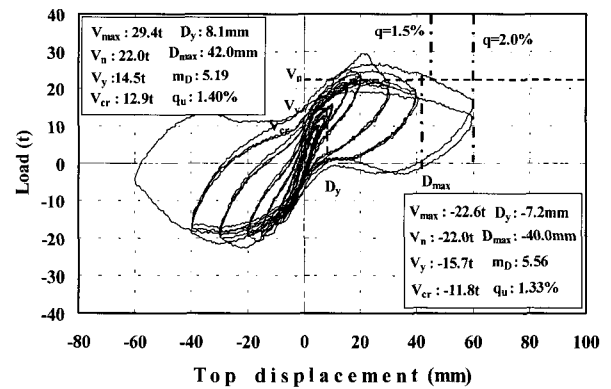
(c) HRI-W3



(d) HRI-W3R



(e) HRI-W4



(f) HRI-W4R

Fig. 6 Load-deformation curves of specimens

철근의 손상이 집중되고 전단 실험체에 비하여 더 많은 철근의 보수로 인한 결과로 판단된다.

보수실험체는 원실험체에 비해 변위연성비와 변형능력이 모두 저하되었는데 변위연성비는 약 15~30%, 변형능력은 약 30% 정도가 저하되었다. 보수한 실험체들의 변위연성비는 기준에서 정하는 3% 이상을 모두 만족하였지만, 상대적으로 HRI-W3R 실험체를 제외한 실험체는 변형능력 1.5%를 만족하지 못하였다. Fig. 7에는 실험체의 하중-변위 곡선상으로부터 산출한 무차원화된 에너지 소산능력을 각 실험체별로 나타낸 것이다.

Fig. 7에서의 각 실험체들의 에너지 소산능력은 12사이클까지는 비슷한 양상을 가지고 있지만 그 이후로는 전단스팬비가 가장 큰 HRI-W4, HRI-W4R 실험체가 에너지 소산능력이 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 유효전단스팬비가 1, 2인 실험체에 비해 약 50% 이상의 우수한 에너지 소산능력과 연성능력을 보유하고 있다.

보수실험체는 원실험체에 비해 변위연성비와 변형능력이 모두 저하되었는데 변위연성비는 약 15~30%, 변형능력은

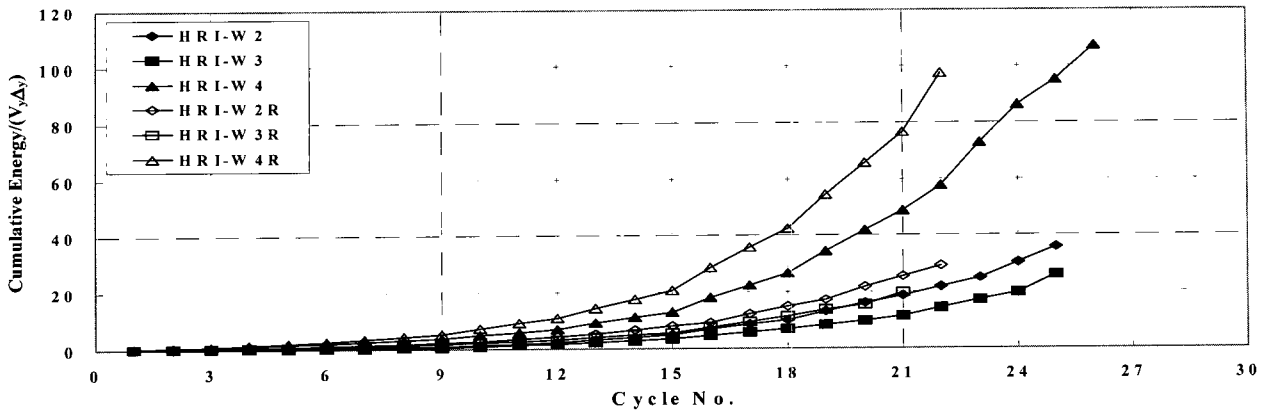


Fig. 7 Normalized energy dissipation

Table 4 Test results of specimens

Specimens		Yield load(tonf)	Maximum load(tonf)	Yield displacement (cm)	Maximum displacement(cm)	Displacement ductility ratio	Drift ratio(%)
HRI-W2	+	35.6	39.4	1.24	8.09	6.52	2.70
	-	33.9	45.2	0.92	5.34	5.80	1.78
HRI-W2R	+	33.5	42.8	0.98	3.97	4.05	1.32
	-	29.4	49.1	1.02	4.00	3.92	1.33
HRI-W3	+	64.6	67.3	1.52	8.52	5.61	2.84
	-	63.5	74.4	1.48	7.72	5.22	2.57
HRI-W3R	+	54.1	72.5	1.49	5.97	4.01	1.99
	-	58.8	75.1	1.48	5.96	4.03	1.99
HRI-W4	+	19.5	31.8	0.98	5.96	6.08	1.99
	-	17.6	32.8	0.89	5.93	6.66	1.98
HRI-W4R	+	14.5	29.4	0.81	4.20	5.19	1.40
	-	15.7	22.6	0.72	4.00	5.56	1.33

약 30% 정도가 저하되었다. 보수한 실험체들의 변위연성비는 기준에서 정하는 3% 이상을 모두 만족하였지만, 상대적으로 HRI-W3R 실험체를 제외한 실험체는 변형능력 1.5%를 만족하지 못하였다. Fig. 7에는 각 실험체의 하중-변위 곡선상으로부터 산출한 무차원화된 에너지 소산능력을 나타내고 있다.

무차원화된 에너지 소산능력은 실험체의 전체에너지 소산량을 항복상태의 전단력과 항복변위의 곱으로 나눈 값으로 정의하였다. 각 실험체들의 에너지 소산능력은 12사이클까지는 비슷한 양상을 나타내고 있지만 그 이후로는 전단스팬비가 가장 큰 HRI-W4, HRI-W4R 실험체가 에너지 소산능력이 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 유효전단스팬비가 1, 2인 실험체에 비해 약 50% 이상의 우수한 에너지 소산능력과 연성능력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

보수실험체는 원실험체에 비해 변위연성비와 변형능력이 모두 저하되었는데 변위연성비는 약 15~30%, 변형능력은 약 30% 정도가 저하되었다. 보수한 실험체들의 변위연성비는 기준에서 정하는 3% 이상을 모두 만족하였지만, 상대적

으로 HRI-W3R 실험체를 제외한 실험체는 변형능력 1.5%를 만족하지 못하였다.

6.4 유효전단스팬비에 따른 이력특성 평가

유효전단스팬비에 따른 이력 거동은 HRI-W2 실험체와 비교, 분석하였다. 유효 전단스팬비가 1인 HRI-W3 실험체 경우 초기강성과 최대내력이 가장 크게 나타났으나 하중-변위 곡선에서 완만한 휨거동을 보이지 않고 핀칭현상이 두드러지게 나타나고 있어 에너지 소산능력이 가장 적었다 (Fig. 7). 유효 전단스팬비가 가장 큰 HRI-W4 실험체는 최대내력은 초강성은 모든 실험체중 가장 적었지만 변형능력과 에너지 소산능력이 가장 크게 나타나고 있는데, 이는 전단스팬비의 증가로 인해 항복강도에 상응하는 전단강도가 작아지기 때문에 부재 항복을 경험한 후 안정적인 휨거동을 통해 에너지를 충분히 소산시켰기 때문이라 판단된다. 보수한 실험체는 원실험체 비해 최대강도가 크게 나타났는데, 이러한 것은 철근 보수시 용접이음으로 인한 파단부분에서 휨철근

의 유효 단면적이 증가했기 때문으로 판단된다.

Fig. 8에서 Fig. 11에는 유효 전단스팬비에 따른 이력 특성들이 나타나 있으며 보수 실험체의 경우 원실험체와 비슷한 이력 특성들을 보여 주고 있다. 보수 실험체의 경우 변위 연성비가 원실험체의 60~80%정도이나 모두 4 이상이었으며 3%이상의 변형능력을 가지고 있다. 그러나 변형능력에서는 보수된 실험체의 경우 HRI-W3R 실험체만이 1.5%이상의 변형능력을 가지고 있는 것으로 나타났다.

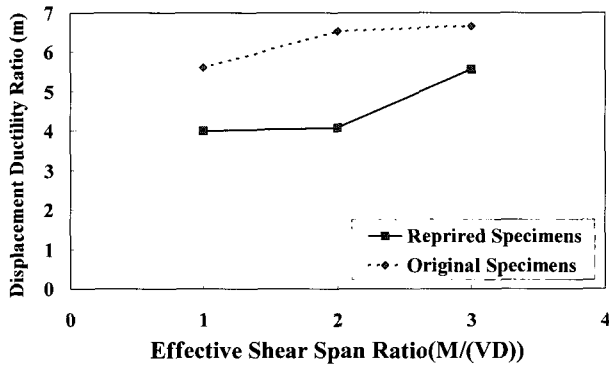


Fig. 8 Displacement ductility ratio to shear span ratio

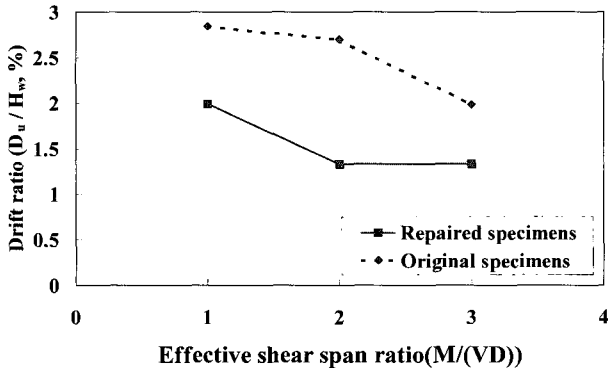


Fig. 9 Drift ratio to shear span ratio

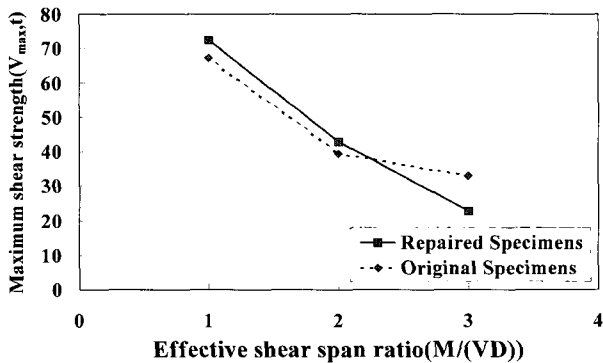


Fig. 10 Maximum shear strength to shear span ratio

전단스팬비가 다른 보수된 벽체의 성능 평가

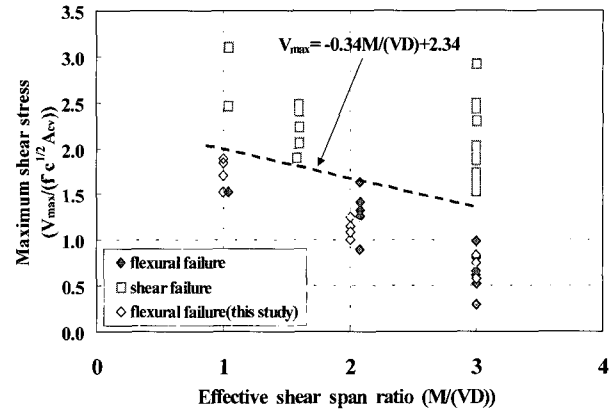


Fig. 11 Maximum shear stress to shear span ratio

7. 결 론

본 연구에서 단순보수한 벽체 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구의 원실험체 및 보수 실험체들은 모두 경계요소 하단부에서 콘크리트의 압축파괴에 의해 최종파괴되었고, 보수실험체인 HRI-W2R 실험체는 경계 요소 하단부의 압축파괴와 휨철근의 파단으로 인해 최종파괴되었다.
- 2) 원실험체는 변위연성비(3이상)와 변형능력(1.5% 이상)을 확보하고 있으며, 보수 실험체의 경우 변위연성비가 3이상을 확보하고 있으나 변형능력은 HRI-W3R 실험체를 제외하고는 1.5%를 못미치는 것으로 나타났다.
- 3) 보수된 벽체의 변위연성비는 원실험체에 비해 15~35%, 변형능력은 25~40% 정도 감소되었으나, 최대강도는 원실험체의 수준으로 회복되었다. 따라서, 휨파괴가 발생된 구조벽체는 단순 보수만을 통해서 구조벽체의 강도는 회복될 있으나, 변형능력은 원래의 수준으로 회복되지 않는다고 판단되며 적절한 보강이 필요할 것으로 인식된다.
- 4) 경계요소 하단부가 손상되어 휨 파괴된 구조벽체의 변형 능력 및 변위연성비를 회복시키기 위해서는 경계요소의 콘크리트 압축강도 증가와 횡보강근의 증가가 더욱더 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 지정 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. Oh, Young-Hun, Han, Sang Whan, and Li Hyung Lee, Effect of Shear Span Ratio ($M/V \cdot D$) on Strength and Deformability in RC Structural Walls, submitted to the Journal of Korean Concrete Institute, KCI, 1999.
2. ACI Committee 318, Building code requirements for reinforcements concrete, ACI, 1995.
3. I.D. Lefas, M.D.,Kotsovos (1990), "Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Walls with Load Reversals," *ACI Structural Journal*, Vol.87, No.1, pp.23~31.
4. A.E., Fiorato et. al. (1983), "Behavior of Eathquake Resistant Structural Walls Before and After Repair,"*ACI structural Journal*, Proceeding, Vol.80, No.5, pp.403~413.
5. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 1999.

요 약

철근 콘크리트 구조 벽체는 횡력에 대해 효과적으로 저항하고 변위를 제어할 수 있어 널리 이용되지만 지진 발생시 구조벽체가 붕괴에 이르지 않는다 하더라도 어느 정도의 손상은 예상해야 한다. 본 연구에서는 심하게 손상된 유효전단스팬비가 다른 철근 콘크리트 구조벽체의 단순 보수를 통해서 그 구조적 성능이 원래의 실험체에 비해 어느 정도 회복되는가를 평가하였다. 본 연구를 위하여 3개의 실험체 (전단스팬비 1, 2, 3)를 만들어 실험하였다. 실험은 원실험체를 점중 반복가력 재하로 심하게 손상시킨 후 실험체를 보수한 후 다시 재하하였다. 보수는 0.2mm이상의 균열부분의 콘크리트는 새 콘크리트로 교체하였고, 0.2mm이하의 균열은 단지 에폭시로 보수하였다. 또한 심하게 손상된 벽체 단부 부분의 철근은 같은 종류의 새 철근으로 교체되었다. 본 실험 연구를 통하여 단순보수를 통하여 벽체 강도는 회복 가능하나 변형능력은 회복이 되지 않는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 구조 벽체, 보수, 전단스팬비, 회복, 변형능력
