

2층 RC 전단벽식 구조물의 내진성능에 대한 정적 실험

Static Experiment for the Seismic Performance of a 2 Story RC Shear Wall System

이상호¹⁾ · 오상훈²⁾ · 황원태³⁾ · 이경보⁴⁾ · 이한선⁵⁾

Lee, Sang Ho · Oh, Sang Hoon · Hwang, Won Tae · Lee, Kyung Bo · Lee, Han Seon

국문 요약 >> 본 실험 연구의 목적은 횡방향 정적가력을 통하여 2층 RC 전단벽식 구조의 내진성능을 평가하는 것이다. 본 연구의 실험체는 대상 건물의 개구부를 가지는 T자형 벽체 1층과 2층의 일부분을 대상으로 실험크기의 3/5 크기정도로 축소하였고, 인방보의 유·무를 실험변수로한 2개의 실험체를 제작하여 횡방향의 정적가력 실험을 수행하였다. 인방보 유무에 따른 벽체의 구조적 성능 및 거동의 차이를 비교한 결과, 인방보가 있는 실험체가 인방보가 없는 실험체보다 최대내력과 연성능력 등의 내진성능이 우수한 것으로 판단되었다.

주요어 RC 전단벽식 구조, 인방보, 정적가력 실험, 내진성능

ABSTRACT >> The purpose of this experimental study is to evaluate the seismic performance of a 2 story RC shear wall system by the static reversal loading test. The lower 2 stories of the prototype structure were selected, and the specimens of this study were comprised of a T-type wall with an opening. The specimens were reduced to about 60% of the full scale size and were constructed to measure the result of the experimental variable regarding the existence of a lintel beam. To perform this study, the static repeated loading test was performed. According to the existence or absence of a lintel beam, the structural capacities and behavioral differences of the shear wall system were compared. The test results of this study showed that the specimen with a lintel beam underwent the seismic performance with an ultimate strength and ductility capacity better than the specimen without a lintel beam.

Key words RC shear wall system, Lintel beam, Reversal loading test, Seismic performance

1. 서론

전 세계적으로 지진의 발생 횟수가 증가하고 지진피해의 규모도 커지고 있는 추세이며, 2010년에 아이티, 칠레, 터키에서 규모(Magnitude) 7.0, 8.8, 6.0의 지진이 각각 발생하여 많은 인명피해와 경제적 손실이 발생하였다. 한반도는 1978년부터 2006년까지 600회가 넘는 지진이 관측되어 우리나라에서도 대형 지진의 발생가능성이 있을 것으로 예상된다.^{(1),(2)}

한편, 우리나라의 전체 주택에서 RC 공동주택이 차지하는 비율이 52%를 초과하고 있으며⁽³⁾, 고층 공동주택은 대부분 철근콘크리트 전단벽과 슬래브만으로 이루어진 전단벽식 구조이다. 전단벽식 구조는 공동주택 평면계획의 용이성과 내부 공간의 활용측면에서 뛰어난 구조형식이나 전단벽 사이에 개구부가 필연적으로 형성되고, 벽체와 슬래브에는 응력이 균일하게 분포하지 않고 개구부 주위에서 집중된다. 또한 개구부 주위의 연결부재(연결보, 슬래브)가 양측 전단벽간의 병렬작용을 할 수 있도록 충분한 강도와 강성을 갖지 못할 경우 수평력에 저항하는 벽식구조 시스템의 구조성능에 많은 문제점을 초래할 수 있다.⁽⁴⁾

이러한 전단벽식 구조는 우리나라에서 보편적으로 사용되는 방식이지만 지진발생 시 지진하중에 대한 내진성능 확보에 대한 연구가 부족하고 건축물의 손상과 인명피해를 유발할 것으로 예상되며, 지진 발생·피해 시 구조물에 대한 안전 및 재사용에 관한 기준 성립이 미비한 수준이라 할 수 있다.

¹⁾ 정회원·부산대학교 건축공학과, 교수

²⁾ 정회원·부산대학교 건축공학과, 조교수

³⁾ 부산대학교 건축공학과, 석사과정

(교신저자: rjscnr00@hanmail.net)

⁴⁾ 고려대학교 건축사회환경공학부, 석·박통합과정

⁵⁾ 정회원·고려대학교 건축사회환경공학부, 교수

본 논문에 대한 토의를 2011년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2010. 9. 28 / 수정일 1차: 2010. 11. 5, 2차: 2010. 11. 15 /

게재확정일 : 2010. 11. 15)

본 연구에서는 대상건물의 아파트 평면에서 개구부를 가지는 1층과 2층의 일부분인 T자형 벽체를 실험물의 3/5 크기로 축소한 모델을 대상으로 횡방향 정적가력을 통하여 전단벽식구조의 정적거동 특성을 파악하고 인방보의 유·무에 따른 벽체의 구조적성능 및 거동의 차이에 대해서 평가하여 전단벽식 구조에서 인방보가 내진성능에 미치는 영향과 이에 대한 기초자료를 얻는 것을 주된 목적으로 한다.

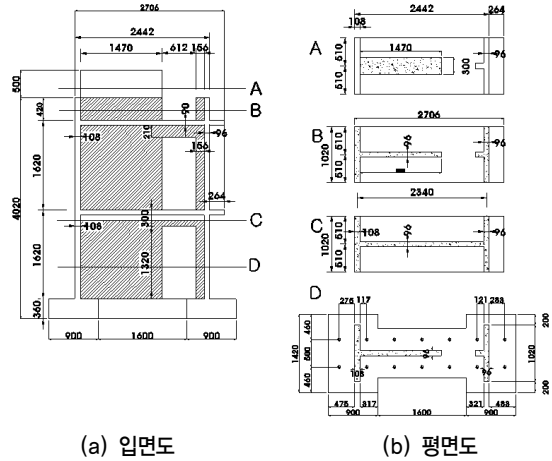
2. 실험계획

2.1 실험체 계획

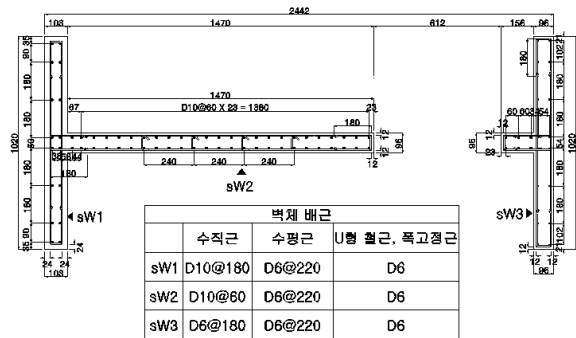
실험을 위한 대상건물은 그림 1과 같이 아파트 주거 환경 통계⁽⁵⁾를 이용하여 국내의 전형적인 아파트 주거형태의 모델을 선정하였으며, 한 세대의 규모가 89m²이고 2세대가 한 층을 이루는 15층 판상형의 철근콘크리트 고층 공동주택이다.

실험체의 상세와 배근 상세도를 그림 2와 그림 3에 나타낸다. 본 연구에서는 RC 전단벽식 구조물의 내진성능을 평가하기 위하여, 그림 2와 같이 15층 철근콘크리트 공동주택에서 개구부를 포함하는 저층(1층, 2층) 부분의 일부분을 대상으로, 실험체의 규모를 고려하여 실험물 크기의 3/5 축소 모델을 제작하였다. 대상건물은 15층 건물로서 1층과 2층에는 큰 축력이 발생하나 본 연구에서는 실험조건 등으로 축력의 영향을 고려하지 못하는 한계를 가지고 있다. 실험체는 슬래브와 내부 문형태의 개구부를 가지는 R.C 내력벽으로 구성되며, 개구부 상부에 인방보가 없는 경우(실험체 RCSW)와 인방보를 두는 경우(실험체 RCSW-B)를 실험변수로 설정하여 2개의 실험체를 제작하였다. 실험 대상건물의 벽체와 인방보는 D16, D10 철근으로 이루어져 있으나, 실험에 사용된 3/5크기의 실험체는 대상건물에 배근된 철근비를 고려하여 주요벽체와 인방보를 D10, D6 철근을 각각 사용하여 배근하였으며, 실험체의 기초는 큰 강성을 가지도록 D16 철근을 사용하여 배근하였다. 한편, 2개의 실험체는 실제의

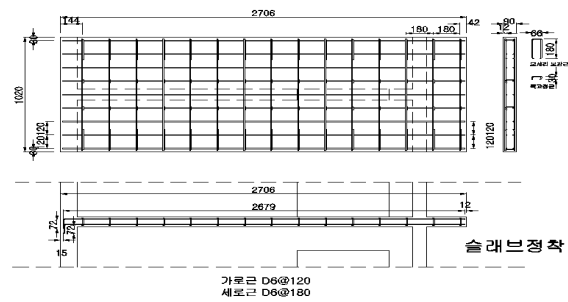
시공성을 고려하여 기초·1층·2층·3층 및 가력부로 4번에 걸쳐 콘크리트를 타설하였다.



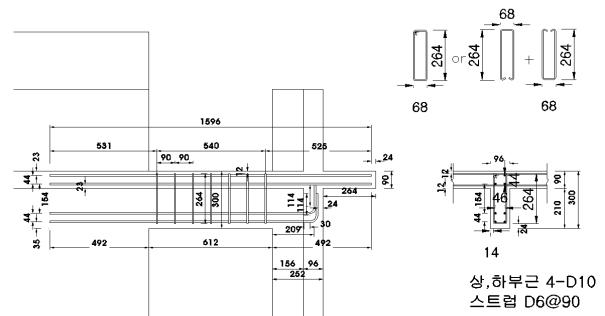
(a) 입면도 (b) 평면도
〈그림 2〉 실험체 입면도 및 평면도 (unit:mm)



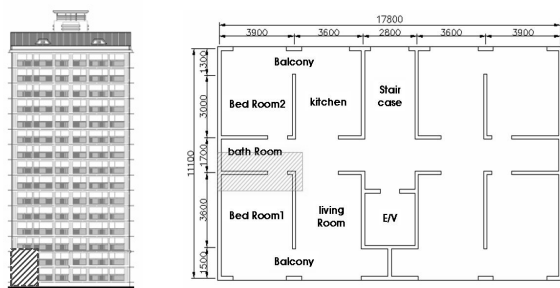
(a) 1층 및 2층 평면



(b) 2층 및 3층 슬래브



(c) 인방보



(a) 입면도 (b) 평면도 (unit:mm)

〈그림 1〉 표준대상건물의 입면도 및 기준층 평면도

〈그림 3〉 실험체의 배근상세도 (unit:mm)

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 콘크리트의 재료시험은 KS F 2405와 KS F 2423에 명시된 재료시험 방법에 따라 24개의 공시체를 제작하여, 실험체와 동일한 조건으로 양생 후 재료시험을 시행하였다. 철근은 KS D 3504에 따라 실험체 제작에 사용된 HD6(벽체 sW3의 수직근, 벽체 수평근, 인방보 스트럽)·HD10(벽체 sW2·sW3의 수직근, 인방보의 주근)·HD19(기초의 수평·수직근) 철근의 재료시험을 시행하였다. 모든 재료시험은 각 사용재료별로 3개 시험체의 결과를 평균으로 나타내며, 실험체 제작에 사용된 콘크리트와 철근의 재료시험 결과를 표 1과 표 2에 나타낸다.

2.3 가력방법

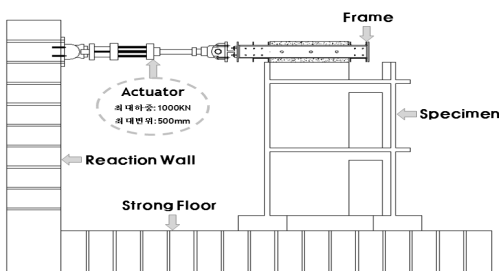
가력장치 및 실험체 설치현황은 그림 4와 같으며, 실험체의 최상부에 철근콘크리트 가력보를 설치하여 철골 프레임과 볼트 접합을 통하여 가력장치(Actuator)와 연결하였다. 수평하중은 가력보와 동일한 높이의 반력벽에 설치된 총용량 1000kN의 Actuator를 사용하여 가력하였고, 실험체 순높이(h=3910mm)에 대하여 부재각을 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0%로 높여가며 변위제어 방식으로 가력 하였다.

〈표 1〉 콘크리트의 시험결과

	설계강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
기초	21.00	28.93	3.00
1층		23.31	2.13
2층		23.53	2.31
3층		21.70	2.04

〈표 2〉 철근의 시험결과

종류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
HD 6	339.4	560.5	204.7
HD10	552.6	672.9	189.3
HD19	483.6	683.0	202.3

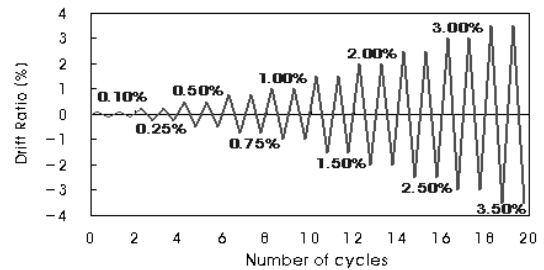


〈그림 4〉 가력장치 및 실험체 설치현황

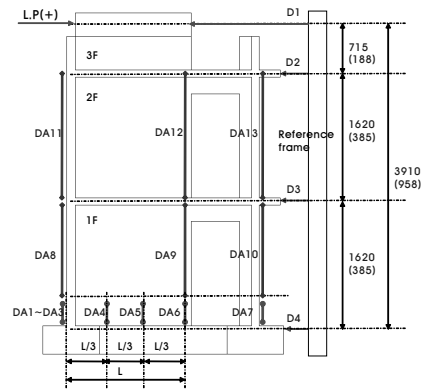
각각의 부재각별로 2회 반복 Cycle이 진행되도록 제어하였으며 실험체의 가력 Cycle은 그림 5에 나타낸다.

2.4 측정방법

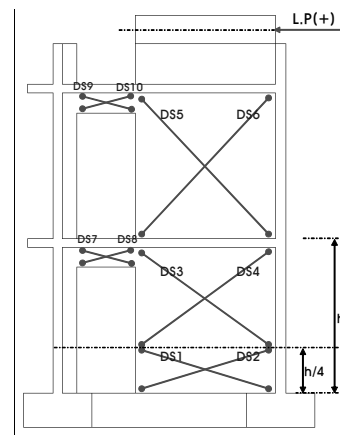
그림 6은 변위(LVDT)계측 위치를, 그림 7은 콘크리트와 철근의 변형율(Strain Gauge: S.G)계측 위치를 나타낸다. 실험체 계측은 인방보가 있는 실험체 RCSW-B를 기준으로 Actuator의 로드셀(1개), 층변위(D1~D4: 그림 6-a), 축변위(DA1~DA13: 그림 6-a), 전단변위(DS1~DS10: 그림 6-b), 들뜸변위(9개), 콘크리트 S.G(SWC1~SWC5: 그림 7-a), 벽체 수직철근 S.G(SWS1~SWS7: 그림 7-b), 슬래브 철근 S.G



〈그림 5〉 실험체의 가력 Cycle

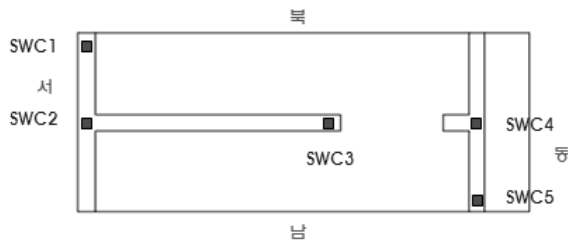


(a) 층변위 및 축변위

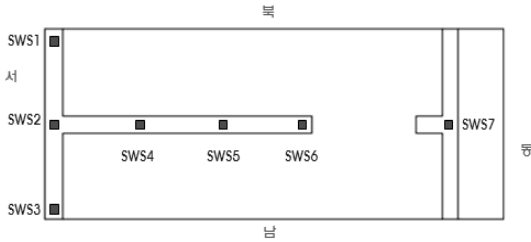


(b) 전단변위

〈그림 6〉 변위 계측위치



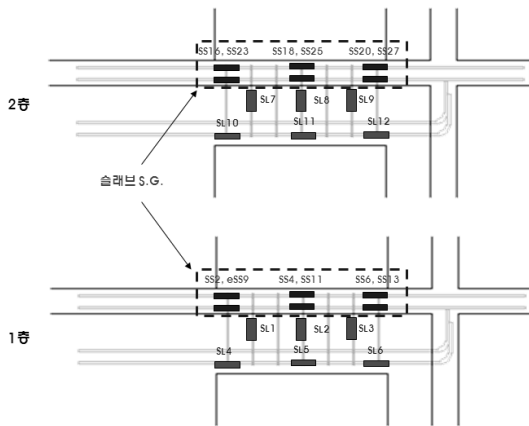
(a) 콘크리트 S.G.(1층 벽체하부)



(b) 수직철근 S.G.(1층 벽체하부)



(c) 슬래브 철근 S.G



(d) 인방보 S.G

〈그림 7〉 콘크리트 및 철근의 Strain 계측위치

(SS1~SS28개: 그림 7-c), 인방보 S.G.(SL1~12: 그림 7-d)를 포함하여 총 93개의 데이터를 취득하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴 형상

실험체 RCSW의 주요 손상은 벽체의 휨·전단·수직균열, 개구부 주변 슬래브의 휨균열이며, 최종파괴는 날개벽(sW1)과 기초보의 접합부 파괴, 1층 내부벽체(sW2)의 수직

철근의 좌굴에 동반되는 콘크리트의 압축파괴이었다. 실험체 RCSW-B의 주요 손상은 인방보의 전단균열, 벽체의 휨·전단·수직균열, 개구부 주변 슬래브의 휨균열이며, 최종파괴는 인방보의 전단파괴, 날개벽(sW1)과 기초보의 접합부 파괴, 1층 내부벽체(sW2)의 수직철근의 좌굴에 동반되는 콘크리트의 압축파괴이었다.

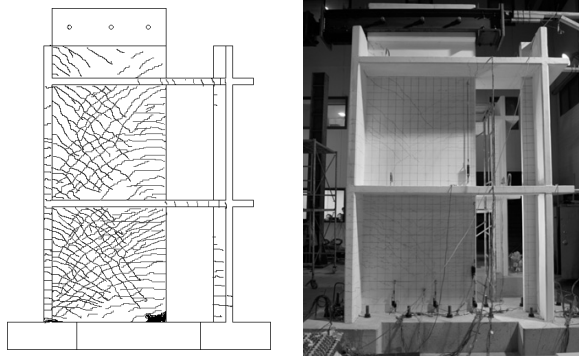
실험체 RCSW는 부재각 0.10%에서 1층 벽체에 휨균열이 최초로 발생하였고, 부재각 0.25%에서 전단균열이 발생하였다. 이후 벽체 전체에 휨균열과 전단균열이 확산되었고, 부재각 0.75%에서 벽체에 수직균열과 1층 벽체 sW2의 개구부주변 하부에서 콘크리트의 압축파괴 징후가 발생하였다. 부재각 1.50%에서 1층 벽체 sW2의 개구부주변 하부에서 콘크리트의 압축파괴로 인한 콘크리트의 탈락현상이 발생하면서 내부 철근이 노출되었으며, 슬래브의 휘어짐을 육안으로 관찰할 수 있을 만큼 현저히 발생하였다. 부재각 2.00%에서 날개벽과 기초보의 접합부 파괴가 발생하였다.

실험체 RCSW-B는 부재각 0.10%에 1층 벽체와 슬래브에서 휨균열, 인방보에서 초기균열이 발생하였다. 부재각 0.25%에서 벽체와 인방보에 전단균열이 발생하였으며, 하중이 증가함에 따라 벽체 전체에 휨균열과 전단균열이 확산되었다. 부재각 0.50%에서 벽체의 수직균열과 1층 벽체 sW2의 개구부주변 하부에서 콘크리트의 압축파괴 징후가 발생하였고, 0.75%에서 1층 벽체 sW2의 개구부주변 하부에서 콘크리트의 압축파괴와 날개벽과 기초보의 접합부 파괴가 발생하였다. 부재각 1.00%에서 1층 벽체 sW2의 개구부주변 하부에서 콘크리트의 압축파괴로 인한 콘크리트의 탈락현상이 발생하여 내부 철근이 노출되었고, 인방보에 균열 분포와 폭이 증가함과 동시에 콘크리트의 압축파괴가 발생하였다. 부재각 1.50%에서 1층 벽체 sW2의 개구부주변 하부에 노출된 철근의 압축좌굴이 발생하였고, 인방보에 콘크리트의 압축파괴로 인한 콘크리트의 탈락현상과 철근의 노출현상이 발생하였다. 부재각 2.00%에서 1층 벽체 sW2의 개구부주변 하부에서 수직철근의 끊어짐 현상이 발생하였다.

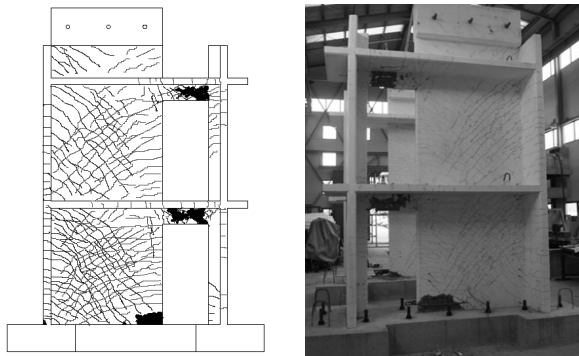
3.2 강성 및 연성 평가

강성의 평가방법은 하중-변위 곡선상에서 정·부방향의 같은 크기의 변위를 정점을 연결한 직선의 기울기로 평가하는 강성(Peak-to-Peak Stiffness)으로 평가하였으며, 강성은 실험체의 기초와 3층 슬래브에서 취득된 변위(D4, D2:그림 6-a)로 산출하여 표 3에 나타내었다.

실험체의 변형각이 0.1%까지의 초기 강성을 비교하면 인



(a) 실험체 RCSW



(b) 실험체 RCSW-B

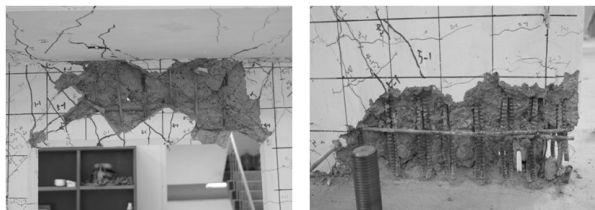
〈그림 8〉 실험체 균열 및 파괴형상



슬래브

벽체 sW2

(a) 실험체 RCSW



인방보

벽체 sW2

(b) 실험체 RCSW-B

〈그림 9〉 실험체 주요부 파괴형상

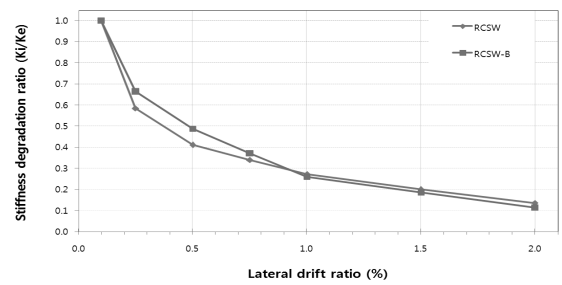
방보가 있는 경우와 없는 경우는 68.64kN/mm와 53.21kN/mm로 인방보가 있는 경우가 약 29% 크게 나타났다.

실험체 RCSW, RCSW-B의 초기강성(K_e)을 1.00로 나타내어 각 부재각별로 평가한 강성의 저하율(K_i/K_e)을 강성의 저하곡선으로 그림 10에 나타낸다. 두 실험체의 강성은 부재각 0.5%까지 급격히 감소하였으며, 부재각 1% 이후로는 완만한 강성저감이 나타났다. 두 실험체의 부재각

〈표 3〉 강성

Drift Ratio(%)	실험체 RCSW		실험체 RCSW-B	
	K_i (kN/mm)	K_i/K_e	K_i (kN/mm)	K_i/K_e
0.10	53.21	1.00	68.64	1.00
0.25	31.13	0.58	45.67	0.67
0.50	21.94	0.41	33.56	0.49
0.75	18.07	0.33	25.49	0.37
1.00	14.51	0.27	17.92	0.26
1.50	10.72	0.20	12.77	0.18
2.00	7.25	0.13	7.86	0.11

K_e : 초기강성, K_i : 각 부재각의 강성



〈그림 10〉 강성의 저하곡선

〈표 4〉 연성능력

		실험체 RCSW	실험체 RCSW-B	RCSW-B / RCSW
μ_p (D_p/D_y)	정방향	2.31	2.98	1.26
	부방향	2.38	2.91	1.22
μ_u (D_u/D_y)	정방향	2.59	3.09	1.19
	부방향	2.30	3.34	1.44

μ_p : 항복변위(D_y)와 최대하중시의 변위(D_p)까지의 변형능력

μ_u : 항복변위(D_y)와 최대하중 이후 최대하중의 80%(D_u)에서의 변형 능력

0.5%까지의 강성저감을 비교하면 인방보가 없는 경우가 강성저감이 크게 나타났으며, 이는 인방보가 실험 초기인 부재각 0.5%까지는 인방보가 두 벽체를 연결하여 일정하게 응력을 분배함으로써 다소 완만한 강성 저하율이 나타난 것으로 판단된다.

구조물의 연성은 지진의 반복 횡하중을 받는 구조물의 비탄성 능력을 파악할 수 있는 지표로서 부재의 항복변위(D_y)와 최대하중시의 변위(D_p)까지의 변형능력(Peak Ductility: $\mu_p = D_p/D_y$)과 최대하중 이후 최대하중의 80%에서의 변형능력(Ultimate Ductility: $\mu_u = D_u/D_y$)으로 정의⁶⁾하였으며, 두 실험체의 정·부방향의 연성지수를 표 4에 나타낸다. 두 실험체의 연성지수를 비교하면 실험체 RCSW 보다 실험체 RCSW-B의 경우 μ_p 는 정방향시 26%, 부방향시 22%가 증

가하였고, μ_u 는 정방향시 19%, 부방향시 44%가 증가하였다. 그리고 두 실험체의 정방향과 부방향의 연성지수를 비교하면 약 10% 내외로 큰 차이를 보이지 않았다.

3.3 하중-변위 관계

3.3.1 하중과 전체수평변위 관계

각 실험체의 하중-3층 슬래브 지점에서의 변위 관계 곡선을 그림 11에 나타낸다. 두 실험체 RCSW, RCSW-B의 벽체 sW1, sW2 수직철근은 D10이 사용되었으며 재료시험 결과 D10 철근의 항복 시 변형률은 0.31%이었다. 이를 기준으로 정·부 방향 가력 시 수직철근에 위치한 스트레인게이지(S.G) SWS1, 2, 3, 6번의 변형률과 비교하여 휨 철근의 변형률이 항복변형에 도달한 시점으로 항복내력을 평가하였으며, 최대내력의 약 75% 지점에서 발생하였다.

실험체 RCSW는 정방향 가력시 부재각 1.39%에서 최대내력 450.08kN과 부방향 가력시 부재각 1.49%에서 최대내력 436.9kN을 보였으며, 최대내력 이후에 날개벽과 기초보 접합부의 파괴와 개구부 주변의 콘크리트 압축파괴로 콘크리트의 박리현상이 발생하여 더 이상의 하중 지지능력을 발휘하지 못한 것으로 판단된다.

실험체 RCSW-B는 정방향 가력시 부재각 1.43%에서 최대내력 538.22kN과 부방향 가력시 부재각 1.44%에서 최대내력 497.34kN을 보였으며, 최대내력 이후에 날개벽과 기초보 접합부의 파괴와 개구부 주변의 콘크리트 압축파괴와

인방보의 전단파괴로 콘크리트의 박리현상이 발생하여 더 이상의 하중 지지능력을 발휘하지 못한 것으로 판단된다.

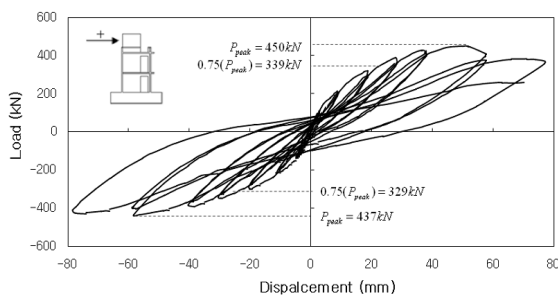
실험체 RCSW-B가 실험체 RCSW보다 강도면에서 약 19.6% 우수한 것으로 나타났으며, 이는 개구부가 있는 경우와 같이 연속되지 않는 내력벽을 인방보가 슬래브와 함께 연속되게 하여 sW3 벽체에 힘을 전달하여 강도면에서 우수한 것으로 사료되며 인방보가 전단벽에서 에너지를 적절히 분배하고 흡수하는 역할을 한 것으로 분석된다.

정·부방향 가력시 최대내력의 차이는 실험체 RCSW는 3%, 실험체 RCSW-B는 8%가량으로, 정방향 가력시에 큰 내력이 발생하였다. 정·부방향의 최대내력 차이는 정방향 가력시 최대내력 이후 1층 벽체 sW2의 개구부 주변 하부에서 콘크리트의 압축파괴로 인한 콘크리트의 탈락과 주철근의 항복으로 인하여 부방향 가력시 최대내력이 저하된 것으로 판단된다.

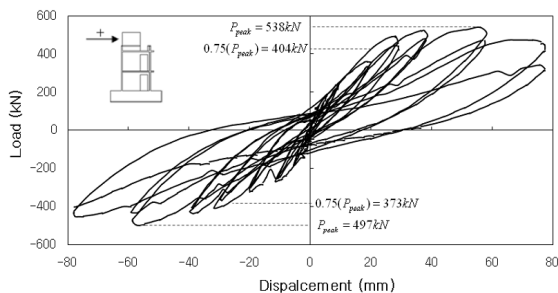
3.3.2 하중과 층간변위 관계

하중에 따른 1층과 2층의 층간변형을 비교하여 그림 12에 나타내며, 두 실험체 모두 층간변형은 1층보다 2층에서 더 큰 변형이 나타났다. 실험체의 부재각 약 1.5%에서, 실험체 RCSW는 정방향 가력시 약 44.1%, 부방향 가력시 약 31.5% 가량, 실험체 RCSW-B는 정방향 가력시 약 9.3%, 부방향 가력시 약 19.4%로, 2층에서 1층보다 큰 변형이 나타났다.

실험체 RCSW-B가 실험체 RCSW보다 1층과 2층의 층

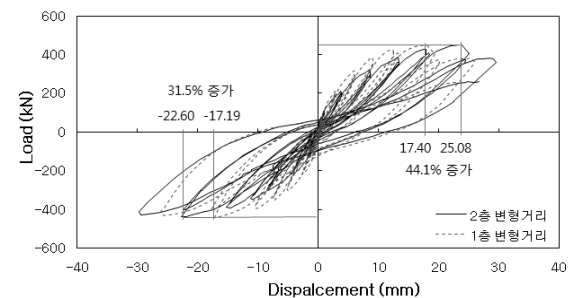


(a) 실험체 RCSW

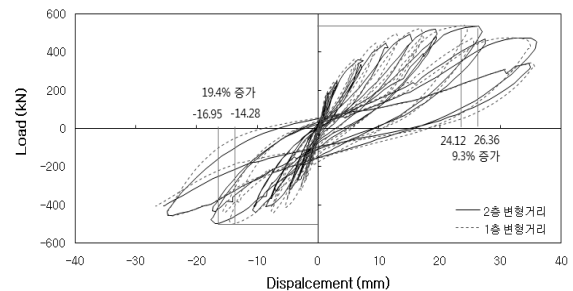


(b) 실험체 RCSW-B

<그림 11> 하중-전체수평변위 관계



(a) 실험체 RCSW



(b) 실험체 RCSW-B

<그림 12> 하중-층간변위 관계

간변형의 차이가 줄어들었으며 이는 인방보가 없는 실험체 RCSW의 벽체는 슬래브의 커플링(Coupling) 효과가 없는 켄틸레버 벽으로 볼 수 있어 1층에서 소성회전이 집중되어 휨변형에 의하여 2층의 층간변형이 1층의 층간변형보다 크게 발생하였으나, 실험체 RCSW-B의 경우에는 인방보의 설치로 인한 슬래브의 커플링 효과로 인하여 sW2의 부분벽체의 전단력이 증가하며, 실험체 RCSW에 비하여 1층에서의 전단변형이 증가하고 전단변형 증가분만큼 휨변형은 감소한다. 따라서 실험체 RCSW-B는 벽체의 휨변형이 줄어들며 2층의 층간변위는 다소 감소하고, 1층은 전단변형 증가에 따른 1층의 층간변형의 증가로 1층과 2층의 층간변형의 차이가 줄어들 것으로 판단된다.

3.3.3 하중과 전단변형각 관계

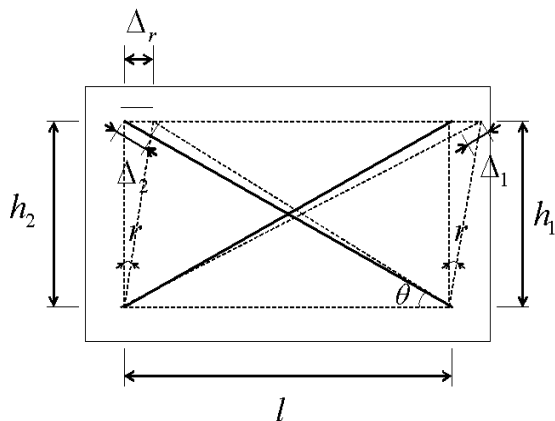
전단변형의 계측에 따른 전단변형각의 계산식은 아래와 같다.⁽⁷⁾

$$\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{h^2 + l^2}}{l} \right) \left(\frac{\Delta_1}{h_1} - \frac{\Delta_2}{h_2} \right) \quad (1)$$

여기서,

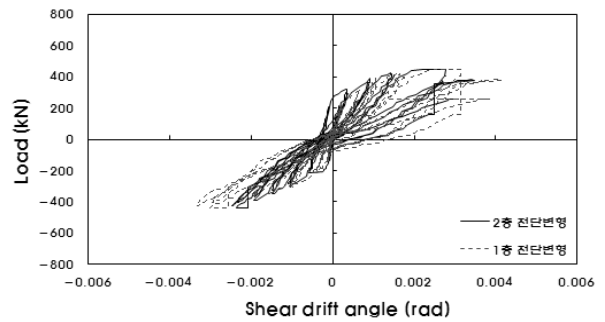
- Δ_1, Δ_2 : 전단 계측의 대각선 길이변화
- h_1, h_2, h : 전단 계측의 수직 거리
- l : 전단 계측의 수평 거리

하중에 따른 각 실험체의 1층과 2층의 전단변형각을 그림 14에, 실험체의 부재각에 따른 두 실험체의 전단변형각을 그림 15에 나타낸다. 두 실험체 모두 전단변형각은 1층에서 2층보다 큰 전단 변형이 발생하였고, 인방보 유무에 따른 전단변형각은 실험체 2층의 부재각 1.5%를 제외한 부분

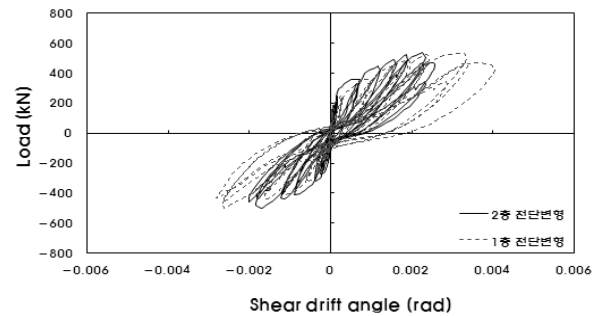


〈그림 13〉 전단 변형각 산출

에서 실험체 RCSW-B가 실험체 RCSW보다 큰 전단 변형이 발생하였다. 이는 인방보가 있는 실험체 RCSW-B의 경우 인방보의 커플링 효과에 인하여 실험체의 최대내력 및 벽체의 전단력이 증가하므로 벽체의 전단변형이 증가한 것으로 판단된다.

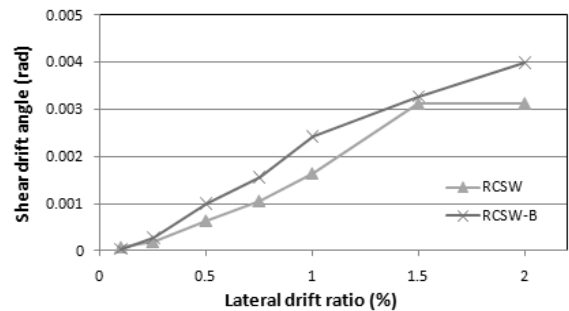


(a) 실험체 RCSW

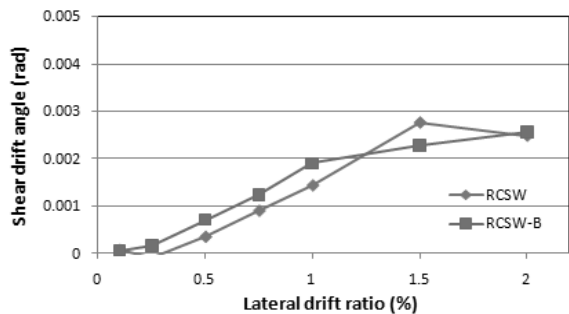


(b) 실험체 RCSW-B

〈그림 14〉 하중-전단변형각 관계

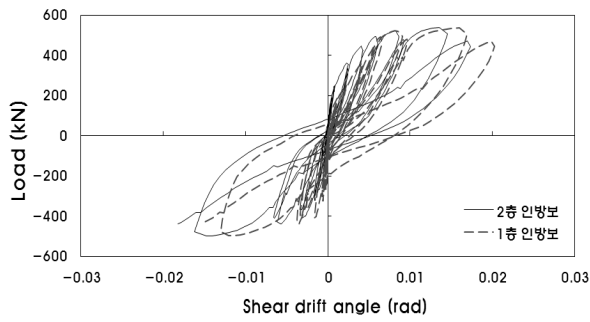


(a) 1층



(b) 2층

〈그림 15〉 부재각에 따른 전단변형각



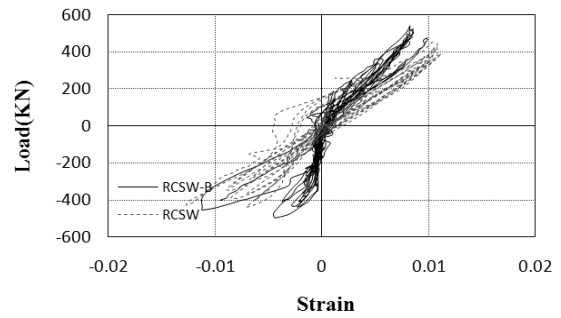
〈그림 16〉 RCSW-B 인방보의 하중-전단변형각 관계

실험체 RCSW-B 인방보의 1층과 2층의 전단변형은 그림 16과 같으며 정방향과 부방향 가력에 따라 약간의 차이는 발생하나 비교적 유사한 거동이 발생하였다.

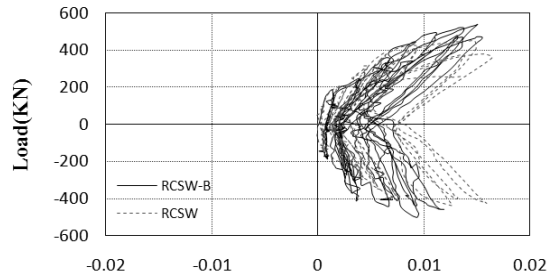
3.3.4 하중과 축변형 관계

그림 17의 (a), (b), (c)에 실험체 1층의 하부 1/4H(H: 층간높이) 높이에서 계측된 DA2, DA4, DA7번의 축변형은 높이를 기준화한 축변형률을 나타내며, 실험체 RCSW가 실험체 RCSW-B보다 큰 변형이 발생하였다. 이는 실험체 RCSW가 인방보가 존재하지 않아 슬래브를 통하여만 힘이 전달되어 sW2의 두 벽체가 개별적인 캔틸레버 벽체로 거동하여 큰 축변형이 발생한 것으로 판단된다. 하지만 실험체 RCSW-B의 경우에는 sW2의 두 벽체가 인방보로 연결된 커플링 효과로 인하여 실험체 RCSW보다 전단변형이 증가하고 휨변형이 줄어들어 축변형이 줄어든 것으로 판단된다. DA1~DA7의 거동 형태는 벽체 sW1에 위치한 DA1~DA3은 정방향 가력시 인장을, 부방향 가력시 압축을 받았고, 벽체 sW2에 위치한 DA4, DA5는 정·부방향 가력시 모두 인장을 받았으며 벽체 sW2의 개부구 옆에 위치한 DA6과 벽체 sW3에 위치한 DA7의 경우 정방향 가력시 압축을 부방향 가력시 인장을 받는 거동을 나타내었다.

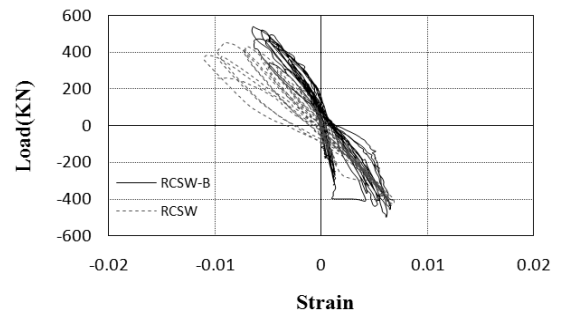
그림 17의 (d),(e)는 벽체 sW3에 위치한 1층 상부(3/4H)와 2층의 축변형 높이를 기준화한 축변형률을 나타낸다. 실험체 RCSW가 실험체 RCSW-B보다 작은 축변형률을 나타내었고, 이는 실험체 RCSW-B의 경우 슬래브와 인방보를 통하여 벽체 sW3에 큰 힘이 전달되어 더 큰 축변형이 발생한 것으로 판단된다. 실험체 RCSW의 경우 1층에 위치한 DA7·DA10번의 변형과 2층에 위치한 DA13번과는 반대 방향의 거동이 발생하였고, 실험체 RCSW-B의 DA7·DA13은 실험체 RCSW와 동일한 방향의 거동이 발생하였으나, DA10의 경우는 실험체 RCSW와 실험체 RCSW-B가 서로 반대 방향의 거동이 발생하였다.



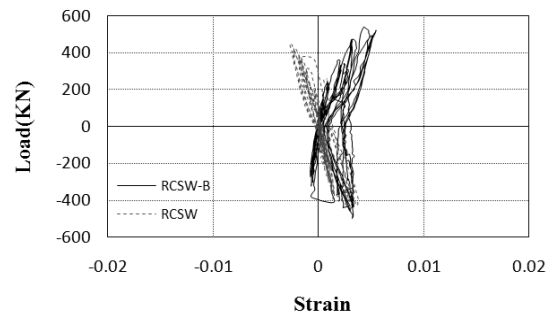
(a) DA2



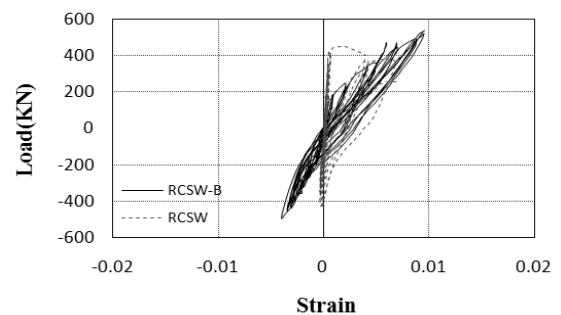
(b) DA4



(c) DA7

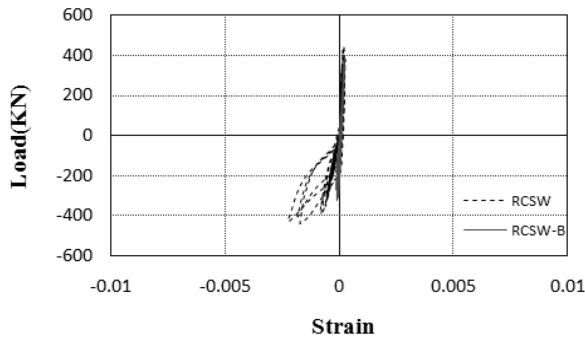


(d) DA10

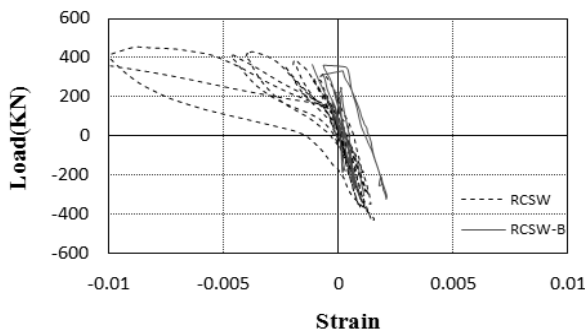


(e) DA13

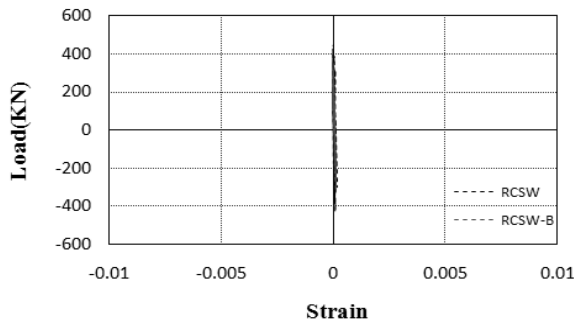
〈그림 17〉 하중-축변형률 관계



(a) SWC 2



(b) SWC 3



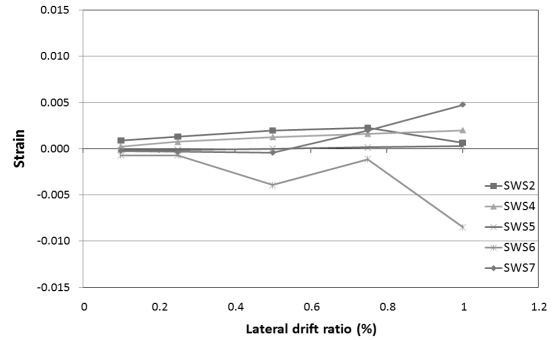
(c) SWC 4

〈그림 18〉 하중-콘크리트 변형률 관계

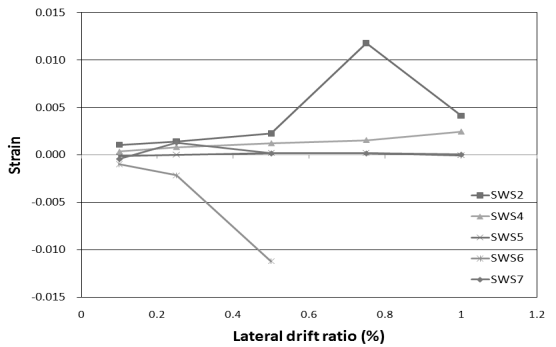
3.4 콘크리트 및 철근 변형률

3.4.1 콘크리트 변형률

1층 벽체하부 경계부분 콘크리트의 변형률과 하중 관계를 그림 18에 나타낸다. 콘크리트의 스트레인 게이지 SWC2의 경우 정방향 가력시 인장을 부방향 가력시 압축을 받았고 SWC3, SWC4의 경우는 SWC2와 서로 반대방향으로 거동하는 것을 확인할 수 있었다. 변형을 살펴보면 SWC3이 가장 큰 변형이 발생하였으며, 벽체 sW2와 sW3의 교차점에 위치하는 SWC4는 변형 발생이 가장 적었으며 탄성구간에 머물렀다. 두 실험체의 콘크리트 변형률을 비교하면 계측된 모든 곳에서 실험체 RCSW가 실험체 RCSW-B보다 콘크리트의 변형률이 크게 나타났으며, 이는 전술한 3.2.2 강성 및 연성 평가에서처럼 실험체 RCSW-B가 실험체 RCSW에 비하여 큰 강성을 가지기 때문으로 판단된다.



(a) 실험체 RCSW



(b) 실험체 RCSW-B

〈그림 19〉 부재각에 따른 수직철근의 변형률

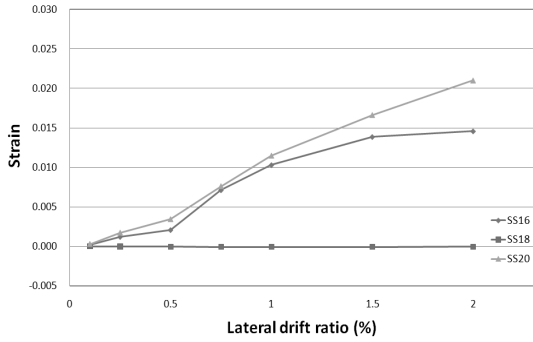
3.4.2 철근 변형률

(1) 벽체

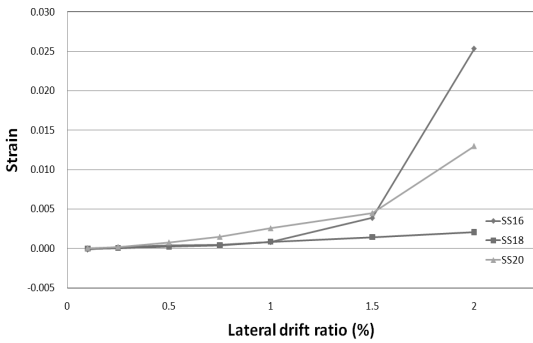
실험체의 거동에 따른 수직 철근의 거동을 파악하기 위하여 그림 7(b)와 같이 1층 벽체 수직 철근의 하부에 S.G (Strain Gauge)를 설치하였다. 그림 19에 두 실험체 RCSW, RCSW-B의 부재각에 따른 수직 철근의 변형률을 나타내며 수직철근의 변형률은 부재각이 증가함에 따라 증가하였다. SWS6번 철근이 가장 큰 변형을 보였으며, 다른 철근들과는 달리 정방향 가력시 압축상태에 놓였다. SWS7번 철근의 경우 실험체 RCSW보다 실험체 RCSW-B에서 더 큰 변형을 보였다. 이는 실험체 RCSW-B의 경우 인방보를 통하여 벽체 sW3에 실험체 RCSW보다 큰 힘이 전달된 것으로 판단된다.

(2) 슬래브

실험체의 거동에 따른 슬래브의 거동을 파악하기 위하여 그림 7(c)와 같이 슬래브의 주요 수평 철근에 S.G(Strain Gauge)를 설치하였다. 그림 20에 실험체 RCSW, RCSW-B의 부재각에 따른 슬래브 철근의 변형률을 나타내며, 실험체 RCSW가 실험체 RCSW-B보다 큰 철근의 변형률이 나타났다. 이는 슬래브만을 가지는 실험체 RCSW보다 슬래브와 인방보를 동시에 가지는 실험체 RCSW-B의 경우가 인방보의 슬래브 구속으로 인한 영향이 나타났다고 판단된다.

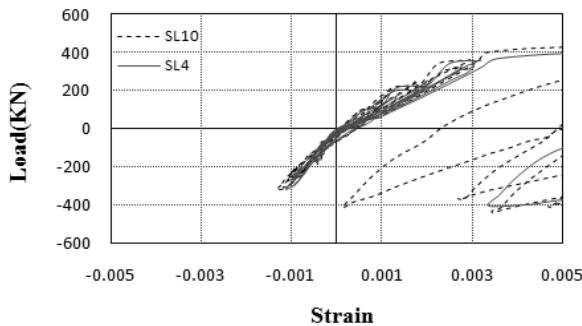


(a) 실험체 RCSW

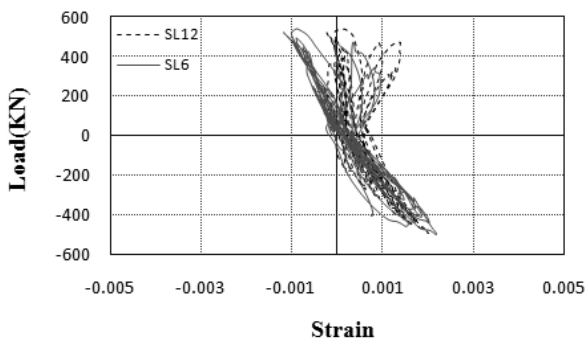


(b) 실험체 RCSW-B

〈그림 20〉 부재각에 따른 슬래브 철근의 변형률



(a) SL4 · SL10



(b) SL6 · SL12

〈그림 21〉 인방보 철근의 하중-변형률 관계

그리고 SS16, SS18, SS19번 위치에서의 철근 변형을 살펴 보면 개구부의 중앙 지점보다 개구부의 주변부에서 더욱 큰 변형이 발생하였다.

(3) 인방보

인방보의 철근 변형을 관찰하기 위하여 그림 7(d)와 같이 실험체 RCSW-B의 인방보 하부 철근과 스트립에 S.G (Strain Gage)를 설치하였으며, 그림 21에 하중에 따른 인방보 철근의 변형률을 나타낸다. 인방보는 전체 벽체의 모멘트 분담과 각 벽체의 부등 변위에 의한 대각선 인장 응력을 받게 되고 이에 따라 사인장 균열이 발생하였다. 하중이 증가함에 따라 사인장 균열의 확장과 함께 철근이 항복하면서 파괴에 이르게 되었다. 그리고 스트립의 경우는 정·부 방향 가력시 모두 인장 응력을 받았으며, 인방보의 좌·우 측면보다 가운데 위치에서 가장 큰 변형이 발생하였다. 1층과 2층 슬래브 철근의 변형률은 1층에서 2층보다 큰 변형률이 발생하였다. 인방보 하부근에 위치한 SL4·SL10과 SL6·SL12 번을 비교하면 서로 반대 방향으로 변형률이 계측되었다.

4. 결론

본 연구에서는 2층 RC 전단벽식 구조물을 대상으로 횡방향 정적가력 실험을 수행하여 전단벽식 구조의 정적거동 특성을 파악하고 인방보의 유·무에 따른 벽체의 구조적 성능에 대해서 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실험체의 최종파괴에서, 실험체 RCSW는 날개벽(sW1)과 기초보의 접합부 파괴, 1층 내부벽체(sW2)의 수직철근의 좌굴에 동반되는 콘크리트의 압축파괴이며, 실험체 RCSW-B는 인방보의 전단파괴, 1층 내부벽체(sW2)의 수직철근의 좌굴에 동반되는 콘크리트의 압축파괴로 나타났다.
2. 실험체의 초기 강성에서, 실험체 RCSW-B는 실험체 RCSW보다 약 29% 크게 나타났으며 부재각 0.5%까지는 강성이 급격히 감소하였으나, 부재각 1% 이후로는 완만한 저감이 나타났다. 연성능력에서, 실험체 RCSW-B는 실험체 RCSW보다 최대하중에서의 정·부방향 연성지수는 26~22% 크게 나타났으며, 최대하중 이후의 최대하중의 80%에 대한 정·부방향 연성지수는 19~44% 크게 나타났다.
3. 최대내력은 실험체 RCSW-B의 경우 538.22KN이고 실험체 RCSW의 경우 450.38KN이었으며, 이는 인방보를 가지는 전단벽이 인방보를 가지지 않는 전단벽보다 강도 면에서 약 19.6% 우수한 것으로 나타났다.
4. 최대하중시 1층과 2층의 층간변위비(2층 층간변위/1층 층간변위)에서, 실험체 RCSW는 정·부방향에서 약 1.44·

- 1.32, 실험체 RCSW-B는 정·부방향에서 약 1.09·1.19로, 1층보다 2층에서 큰 변형이 나타났다.
5. 벽체의 전단변형은 실험체 RCSW-B가 실험체 RCSW보다 전반적으로 큰 변형이 발생하였고, 축 변형의 경우는 실험체 RCSW-B는 실험체 RCSW보다 전반적으로 적게 발생하였다.
6. 1층 벽체 하부의 콘크리트 변형률은 전반적으로 실험체 RCSW가 실험체 RCSW-B보다 큰 변형률이 발생하였다.
7. 철근의 변형률은 수직 철근의 경우 SWS6에서 다른 수직 철근과 반대 방향으로 거동하였으며 가장 큰 변형률이 측정되었다. 슬래브 철근 SS16·SS18·SS20은 두 실험체 모두 개구부 중앙지점보다 주변에서 큰 변형율이 발생하였다. 실험체 RCSW-B의 인방보 철근은 스트럿에서는 모두 인장력을 받았으며 1층에서 2층보다 큰 변형이 발생하였다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었으며(과제번호: 2010-0000789), 이 모든 지원에 대해 감사드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부, “건축물의 내진구조 및 방제기준에 관한 연구-우리나라의 지진위험도,” 제 1권, 제 1편, 59-125, 1987.
2. 건설교통부, “건축물의 내진구조 및 방제기준에 관한 연구-우리나라의 지진위험도,” 제 1권, 제 2편, 13-341, 1987.
3. 통계청, “2005년 인구주택총조사,” 2005.
4. 최윤철, 황규창, 이문성, 최현기, 최창식, “개구부 형태 및 연결 슬래브에 따른 전단벽의 거동특성,” 대한건축학회논문집, 제 24권, 제 10호, 11-18, 2008.
5. 국토해양부, 대한주택공사, “아파트 주거환경 통계,” 2008.
6. 양원직, 오상훈, 이원호, “중공 PC기둥을 사용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 잔단보강,” 대한건축학회논문집, 제 25권, 제 4호, 125-134, 2009.
7. 정동욱, “필로티형 저층 RC 집합주택의 1/5 축소 모델 지진모의 실험 연구,” 고려대학교 대학원, 석사학위논문, 80, 2010.