

철골 커플링 보의 내진거동

Seismic Behavior of Steel Coupling Beams

○ 박 완 신* 윤 현 도** 황 선 경*** 한 병 찬*** 한 민 기***** 이 중 성*****
Park, Wan-Shin Yun, Hyun-Do Hwang, Sun-Kyung, Han, Byung-Chan Han, Min-Ki Lee, Jong-Sung

Abstract

Since a ductile coupled shear wall system is the primary seismic load resisting systems of many structures, a coupling beams of these system must exhibit excellent ductility and energy absorption capacity. In this paper, the seismic response of coupled shear wall system is discussed. The cyclic response of steel coupling beams embedded into reinforced concrete boundary elements was studied. Three half-scale subassemblies representing a portion of a prototype structure were designed, constructed, and tested. The main test variables were the connection details of hybrid coupled shear wall. These efforts have resulted in details for increasing the seismic capacity of steel coupling beam in the seismic behavior of buildings.

1. 서론

일반적으로 건축물의 코어부분을 구성하는 개구부에 의해 분리된 전단벽(Shear walls)은 슬래브나 인방보에 의해 연결되어 병렬 전단벽(Coupled shear walls)으로 거동하며 이러한 병렬 전단벽은 바람이나 지진 등의 횡하중으로부터 유발된 전도모멘트의 상당 부분을 커플링 보의 커플링 효과에 의한 골조 작용(Frame action)을 통하여 효율적으로 저항하게 된다. 복합 병렬 전단벽시스템(Hybrid coupled shear wall system, 이하 HCWS)은 구조성능이 탁월하고, 평면의 자유로운 배치가 가능하며 경제적, 시공적 장점이 많을 뿐만 아니라 공장제작 등을 통한 숙련된 노동력의 수요를 줄일 수 있는 효율적인 구조시스템으로 인식되면서 재래식 독립전단벽 시스템이나 철골-코아구조 등을 대체할 것으로 기대되며 이에 따라 국내외에서도 HCWS에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 복합 병렬 전단벽 시스템에서 철골 커플링 보가 철근콘크리트 벽체와 접합될 경우 응력 전달기구가 다소 복잡하므로 아직까지 커플링 보와 철근콘크리트 벽체 접합부 및 커플링 보의 거동에 대하여 규명되지 않아 이에 대한 설계기준이 정립되지 못한 실정이다.¹⁾⁻⁵⁾

그러므로 본 연구에서는 병렬 전단벽 접합부에 대한 실험적 연구를 수행함으로써 접합부 거동특성 규명하고 병렬전단벽의 접합부 설계강도식을 제정하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험

본 연구대상 건물은 그림 1과 같이 5개의 철근콘크리트 전단벽으로 구성된 내부 중심코어와 외부 철골조로 구성된 이중골조 방식의 50층 규모 사무실 용도의 건물이다. 연구 대상건물의 층고는 3m로 전 층에서 일정하다고 가정한다. 실험 대상부위는 응력해석결과 전단벽과 커플링보 접합부에 임계 응력이 작용된 37층 부위를 1/3 축소 모델링하여 실험체를 계획 및 제작하였다.

2.1 실험체 계획

실험체 설계시 고려된 변수는 접합부 보강상세이다. 변수는 3가지 항목으로 분류되며, 첫 번째는 매립영역에서 스티드볼트에 의한 지압강도의 기여도 평가이고, 두 번째는 스티트 볼트 및 수평타이의 기여도를 평가하기 위한 것

- * 충남대학교 건축공학과 대학원, 박사과정
- ** 충남대학교 건축공학과 교수, 공박
- *** 우송대학교 강의전담교수, 공박
- **** 충남대학교 건축공학과 강사, 공박
- ***** 충남대학교 건축공학과 대학원, 석사과정
- ***** 한밭대학교 시설과장

로 실험체 계획은 표 1과 같다. 그림 2는 실험체 상세를 나타낸 것으로 스티드볼트와 수평타이에 의한 접합부 지압강도의 기여도를 평가하기 위해서 표준 시험체인 HCWS-ST, 스티드 볼트에 의한 영향을 평가하기 위하여 벽체에 매립되는 철골 커플링 보 플랜지 상·하부에 $\psi 19$ 스티드볼트 12개(상·하부 각 6개)를 용접하여 보강한 시험체 HCWS-SB 및 스티드볼트와 매립된 철골 커플링보 상·하부에 추가한 타이(Tie)를 보강한 시험체 HCWS-SBVRT를 제작하였다.

2.2 재료실험

본 실험에 사용된 콘크리트, 철근 및 강재의 재료 시험은 KS F 2404 및 KS B 0801의 라호 규정에 따라 시험편을 제작하여 KS F 2404 및 KS B 0802 규정에 따라 실험을 실시하였으며 시험결과는 표 2 및 3과 같다.

2.3 실험방법

실험체 설치상황은 그림 3과 같고, 실험진행은 철근콘크리트 벽체에 매립된 철골 커플링보의 하중-회전각 관계를 파악하기 위하여 표준 시험체인 HCWS-ST를 기준으로 예상 파괴하중의 1/2까지는 하중제어로 가력하였고, 그 이후에는 변위제어로 가력하였으며 각 사이클별 하중이력은 그림 4와 같다. 또한, 철골 커플링보 매립부의 수직철근, 철골보 및 스티드 볼트의 도입된 하중에 따른 변형상태를 파악하기 위하여 해당부위에 스트레인 게이지를 미리 부착하여 변형률을 측정하였으며 측정된 자료는 TDS-601A를 이용하여 일정한 간격으로 자동 저장하였다.

3. 실험결과

3.1 파괴양상

그림 5는 시험체의 최종파괴양상을 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 나타난 바와 같이 HCWS-ST 시험체의 파괴양

표1. 시험체 계획

시험체명 ¹⁾	스티드볼트			수평타이 철골보 상·하부	벽체 철근		시험체 HCWS 계열	표2. 콘크리트 압축강도					
	개수 (n)	직경 (mm)	길이 (mm)		중앙부	매립부		구분	28일 압축강도 (MPa)	높이 (mm)	단면적 (mm ²)	탄성계수 (GPa)	슬럼프 (mm)
HCWS-ST	-	-	-	-				구분	28일 압축강도 (MPa)	높이 (mm)	단면적 (mm ²)	탄성계수 (GPa)	슬럼프 (mm)
								HCWS 계열	30.0	202	7,860	25.3	145
									표3. 철근 및 강재의 인장강도				
								시험체	구분	항복강도 (MPa)	항복변형률 ($\times 10^{-3}$)	인장강도 (MPa)	
HCWS 계열	HCWS-ST	-	-	-				구분	항복강도 (MPa)	항복변형률 ($\times 10^{-3}$)	인장강도 (MPa)		
	HCWS-SB	12	19	125		HD13 @230	HD13 @230	HD13	398	2,325	566		
	HCWS-SBVRT	12	19	125	HD13@230			HD19	400	2,533	555		
								Flange	225	1,682	295		
								Web	220	1,827	274		

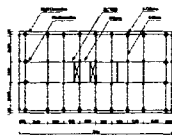


그림 1. 대상평면

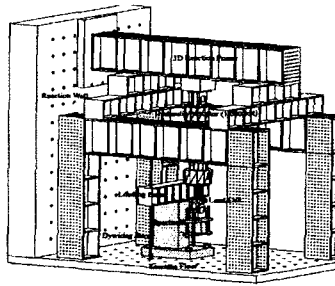


그림 3. 시험체 세팅상황

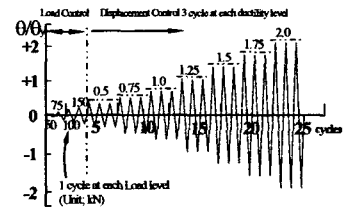
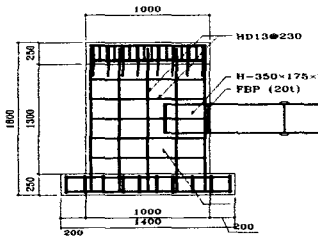
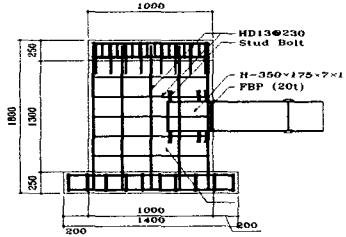


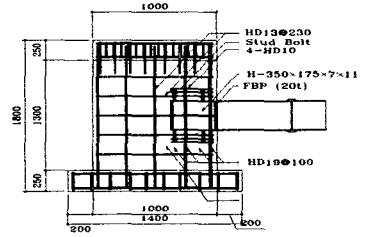
그림 4. 하중 이력



(a) HCWS-ST 시험체



(b) HCWS-SB 시험체



(c) HCWS-SBVRT 시험체

그림 2. 시험체 상세

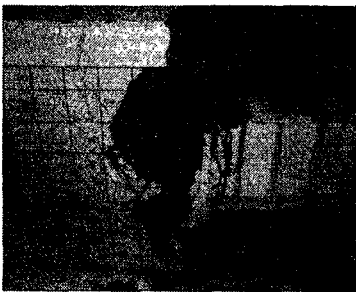
상은 최종파괴시 벽체의 외면에서 25cm 깊이까지 콘크리트가 탈락되며 파괴되는 피해를 보였으며 철골보 플랜지 상·하부 콘크리트 벽체에 피복박리가 집중적으로 발생되었다. HCWS-SB 시험체의 파괴양상은 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 최종파괴시 철골보 매립영역 하부의 콘크리트에 파괴가 집중되는 경향을 보였으며, 하중이 증가됨에 따라 매립영역의 철골보 플랜지 하부에서 웨브영역으로 콘크리트 파괴가 전이되는 양상을 보였다. HCWS-SB 시험체의 파괴양상은 HCWS-ST 시험체에 비해 접합부 부위의 손상이 작게 나타났으며 이는 철골보 상·하부에 보강된 스티브 볼트에 기인한 것으로 판단된다. HCWS-SBVRT 시험체의 파괴양상은 그림 5(c)에 나타난 바와 같이 HCWS-SB 시험체와 유사한 경향을 보이고 있으나, 매립영역의 철골보 플랜지 상·하부에서 스티브 볼트 및 수평타이의 구속효과로 인해 최종파괴시 HCWS-ST 및 HCWS-SB 시험체에 비해 손상정도가 현저하게 작게 나타났다.

3.2 하중-회전각 관계 곡선

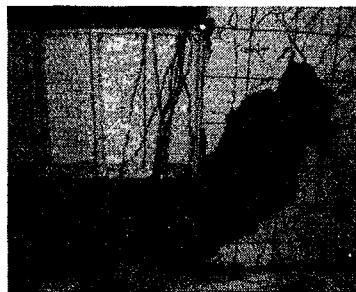
그림 6은 각 시험체의 시험체의 하중-회전각 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 모든 시험체의 경우 전반적으로 불안정한 이력곡선을 보이고 있다. 또한, 정가력 및 부가력시 각 사이클별 강도 및 강성이 상이한 값을 보이고 있으며 이는 정가력시 철골보 하부에서 인장균열이 발생하여 접합부의 강성을 감소시켰기 때문으로 사료된다. 이와 같은 경향은 매립된 철골보 상·하부가 보강되지 않은 HCWS-ST 시험체의 경우가 스티브 볼트 및 수평타이에 의해 보강된 HCWS-SB 및 HCWS-SBVRT 시험체에 비해 다소 현저하게 나타났다. HCWS-ST, HCWS-SB 및 HCWS-SBVRT 시험체의 최대강도는 정(+) 가력시 각각 268.2, 361.2 및 390.3kN으로 나타났으며 HCWS-SBVRT 시험체의 최대강도는 HCWS-ST 및 HCWS-SB에 비해 각각 1.46 및 1.08배 크게 나타났다.

3.3 포락선

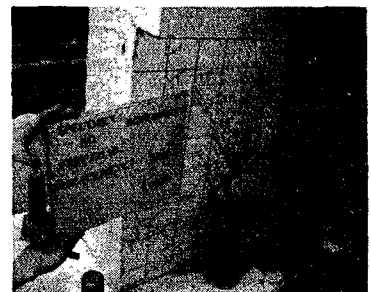
그림 7은 각 시험체의 포락선을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 HCWS-ST 시험체의 경우 최대강도 이후 급격한 강도 감소를 보여주어 회전이 증가됨에 따라 다소 완만하게 강도가 감소하는 경향을 보이고 있었다. HCWS-SB 및 HCWS-SBVRT 시험체의 경우 HCWS-ST에 비해 최대강도 이후 완만한 강도 감소를 보이고 있었다. 이는 매립된 철골보 상·하부에 스티브 볼트 및 수평타이에 의해 균열의 진전을 감소시켰기 때문으로 사료된다. 그러나 회전이 0.0343 이후에는 HCWS-ST와 거의 대등한 감소감소율을 보이고 있었다. 이는 매립영역의 콘크리트가 손상이 크게 발생하여 스티브 볼트와 수평타이가 철골보 상·하부 콘크리트를 효율적으로 구속하지 못하였기 때문으로 사료된다.



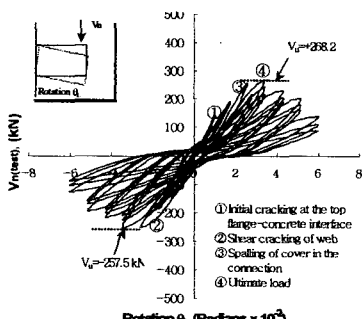
(a) HCWS-ST 시험체



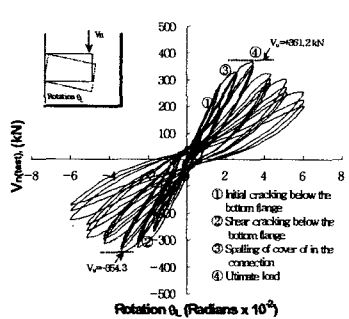
(b) HCWS-SCF 시험체
그림 5. 파괴양상



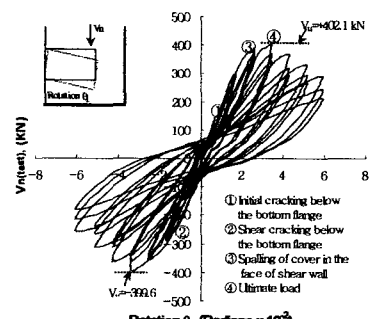
(c) HCWS-SBVRT 시험체



(a) HCWS-ST 시험체



(b) HCWS-SCF 시험체
그림 6. 하중-회전각 이력곡선



(c) HCWS-SBVRT 시험체

3.4 할선강성

그림 8은 정가력시 각 시험체의 회전각에 대한 할선강성 값을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 모든 시험체의 초기강성값은 60.12~63.75의 범위로 거의 대등한 값을 보이고 있으나, 회전각이 증가됨에 따라 각 시험체의 강성값이 상이하게 나타나고 있다. 특히, 회전각 0.052라디안에서는 HCWS-ST, HCWS-SB 및 HCWS-SBVRT 시험체의 할선강성값은 각각 초기강성값의 62.7, 51.8 및 49.6%로 스티드 볼트 및 수평타이의 접합부 보강 여부에 따라 할선강성의 감소율이 상이하게 나타났다.

3.5 에너지 소산면적

그림 9는 사이클 별 시험체의 누적 에너지 소산면적을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 첫 번째 사이클에서 모든 시험체의 경우 에너지 소산면적은 2.03~2.96kN-rad의 범위로 대등한 값을 보이고 있으나 하중이 증가됨에 따라 각 시험체의 에너지 소산면적은 접합부 상세에 따라 상이한 값을 보이고 있었다. 특히, HCWS-SB 시험체의 에너지 소산면적은 매립된 철골보 상하부에 초기 수평균열이 발생하기 전에는 HCWS-ST 시험체와 대등한 값을 보이고 있으나, 균열 발생 이후 회전각이 증가됨에 따라 HCWS-ST 시험체에 비해 현저하게 크게 나타났다. 균열 발생 이후, 이와 같은 경향은 매립된 철골보 플랜지 상하부에 스티드 볼트 및 수평타이로 보강한 HCWS-SBVRT 시험체의 경우가 HCWS-ST 및 HCWS-SB 시험체에 비해 더욱 현저하게 나타났다. 또한, 최종파괴시 HCWS-ST, HCWS-SB 및 HCWS-SBVRT 시험체의 에너지 소산면적은 각각 38.4, 43.2 및 58.1kN-rad로 나타났다.

4. 결론

1. 모든 실험체의 최종 파괴양상은 커플링 보에서 소성형지가 발생하기 전에 접합부 매립영역에서 피복 바리가 집중적으로 발생하며 파괴되는 양상을 띄고 있으며 접합부 보강 정도에 따라 피해 정도가 다르게 나타났다.
2. 접합부 매립영역에 스티드 볼트 및 수평타이로 보강된 HCWS-SB 및 HCWS-SBVRT 시험체의 접합부 지압강도는 각각 361.2 및 390.3kN으로 보강되지 않은 HCWS-ST 시험체에 비해 각각 1.35 및 1.45배 내력이 크게 나타났다.
3. 모든 시험체의 초기강성값은 60.12~63.75의 범위로 거의 대등한 값을 보이고 있으나 회전각이 증가됨에 따라 각 시험체의 강성값이 상이하게 나타나고 있다.
4. HCWS-SB 및 HCWS-SBVRT 시험체의 누적 에너지 소산면적은 각각 43.2 및 58.1kN-rad으로 접합부가 보강되지 않은 HCWS-ST 시험체에 비해 현저하게 크게 나타났으며 본 연구에서 개발한 접합부 배근상세는 지진 작용시 접합부의 내진성능이 탁월할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 윤현도 등, "철근콘크리트 벽체에 매립된 철골 커플링 보 접합부의 전단강도" 대한건축학회 논문집(구조계), 제 20권 5호, 2004, pp. 43-50.
2. 윤현도 등, "철골 커플링보의 파괴 및 변형특성" 대한건축학회 구조계 논문집, 제 19권 3호, 2003, pp.75-81.
3. Gong B., Shahrooz B. M., Gillum A. J., "Cyclic Response of Composite Coupling Beams," ACI Committee 335 Special Publication, 1997.
4. Harries, K. A., 1995, Seismic Design and Retrofit of Coupled Walls Using Structural Steel, Ph.d. Thesis, McGill University, 229pp.
5. Aktan, A. E., Bertero, V. V., and Piazza, M., 1982, Prediction of the seismic responses of R/C frame-coupled wall structures, Report No. UCB/EERC-82/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

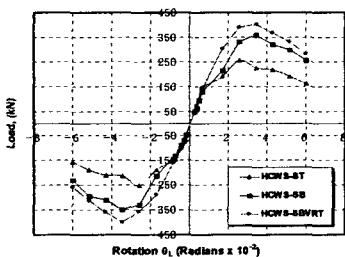


그림7. 회전각에 따른 포락선

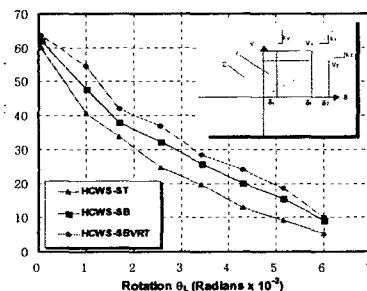


그림8. 회전각에 따른 할선강성

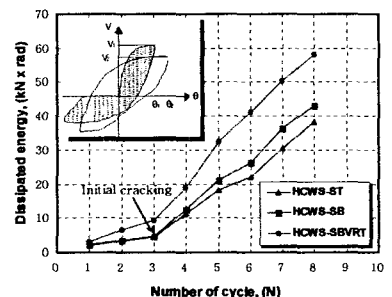


그림9. 누적에너지 소산면적