

PC 기둥-H형강보의 볼트접합부에 관한 실험적 연구 II

An Experimental Study II on the Bolted Connection between H-Beam and Precast-Concrete Column

한 동 훈 ¹⁾ 박 순 규 ²⁾

Han, Dong-hoon Park, Soon-kyu

ABSTRACT

The PCS system, which consists of precast concrete column and steel beam, has been developed. The system is expected to achieve the effectiveness in the constructability and improve the structural performance under earthquake. New types of joint system for the panel zone and column connection has been developed in order to improve the shear strength capacity and rigidity of the of the system. The cyclic seismic test recommended by ACI was conducted to verify the structural performance of the system. As a test results, it is observed that the system satisfy most of the requirements by ACI criteria.

1. 서론

PCS구조시스템은 PC기둥과 철골보로 이루어지는 합성구조 시스템의 일종이다. 이 시스템은 건식 조립 공법으로서 시공성이 양호하여 공기를 단축할 수 있으며, 동절기에도 공사가 가능하다. 또한 조립식으로 구축되어 사용 후에 연결부 해체가 용이해 부재의 재활용이 가능하다는 장점이 있다. PCS구조시스템의 실용화를 위해 핵심 기술인 보와 기둥, 기둥과 기둥 사이의 접합부를 우수한 시공성능과 더불어 역학적 성능으로 개선하고자 연구 중에 있다.

선행 연구결과에 의하면 현재까지 개발된 PCS구조시스템은 보-기둥 접합부에서 전단파괴모드가 발생하며, 초기강성이 부족한 것으로 분석되었다. 이에 본 연구에서는 PCS구조시스템 접합부의 보-기둥 접합부를 단부평판으로 양방향에서 보강하여 개선하고 아울러 시공성이 우수한 볼트 조립식 기둥-기둥 접합부를 개발하여, ACI 평가기준에 의하여 내진성능을 분석하기 위하여 실험적 연구를 수행하였다. 실험결과를 통해 강도성능 및 강성성능을 분석하고, 그 결과 새로 개발한 접합부는 ACI기준에 의거하여 성능이 우수함을 검증하였다.

2. 실험계획 및 방법

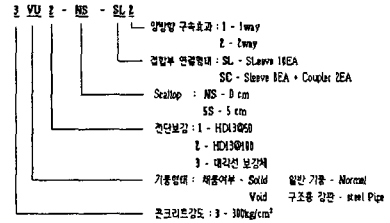
2.1 실험 계획

- 1) 정희원, 울산대학교 건축대학 석사과정
- 2) 정희원, 울산대학교 건축대학 교수, 공학박사

접합부의 구조적 성능에 중요한 영향을 미치는 콘크리트 강도, 전단보강, H형강보 단부의 Scallop의 크기, 접합부 콘크리트의 구속효과를 실험변수로 하여 표 1과 같이 총 3개의 시험체를 제작하였다.

표 1 시험체명

NO.	시험체명	기둥형태	Scallop 크기	접합부 연결형태
1	3SN3-5S-SC1	Solid	5cm	1방향
2	3VP2-5S-SL2	Void	5cm	2방향
3	3VP2-NS-SL2	Void	0cm	2방향



2.2 가력 및 계측

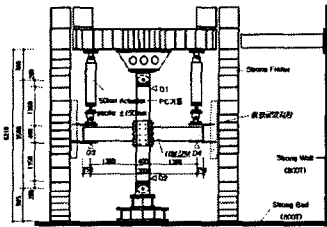


그림 1 시험체 set-up 도면

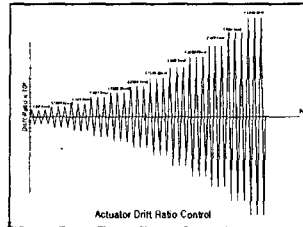


그림 2 가력 곡선 (ACI Code)

본 연구에서는 실물크기의 “+”형 보-기둥 부분구조 시험체에 대하여 내진성능을 분석하기 위하여 반복하중 가력시험을 계획하였다. 이를 위해 시험체 양쪽의 보 단부에 최대 50tonf까지 가력이 가능한 Actuator를 설치하여 상하방향으로 가력 하였다.

Actuator 가력 프로그램은 ACI 내진성능 평가기준에 의해 층간 Drift Ratio를 기준으로 변위제어를 하였고, 본 실험에서는 강구조물 내진성능과 비교·평가하기 위해 Actuator의 변위가 허용하는 범위 내에서 최대 ±7.0% (±105mm)까지 계획하였다.

시험체 제작에 사용된 각 소재 및 제품의 성능을 분석하기 위해 각각 KS 규준에 의거 제작, 시험되었다. 소재 및 제품의 성능 실험 결과는 다음과 같다.

표 2 소재의 성능 실험 결과

시험편	항복강도 (kgf/mm ²)	인장강도 (kgf/mm ²)	연신율 (%)	시험방법
Flange	33.79	47.11	24.00	KS B 0802
Web	37.29	48.27	24.67	KS B 0802
단부평판	30.66	45.55	25.33	KS B 0802
HD13 철근	53.16	64.75	20.33	KS B 0802
HD25 철근	43.64	63.87	26.67	KS B 0802
M24 볼트	100.14	109.69	17.33	KS B 0802
φ32 PC강봉	97.81	107.77	-	KS B 0802

표 3 제품 실험 결과

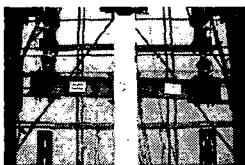
시험편	인장하중 (tonf)	시험방법
M24 볼트	39.60	KS B 0802
φ32 PC강봉	86.64	KS B 0802

표 4 콘크리트 압축강도 실험결과

시험체	최대하중 (ton)	압축강도 (kgf/cm ²)	시험방법
강도 300	27.14	346	KS F 2405

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험 결과



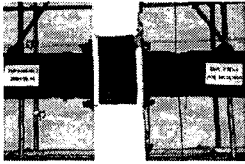
(a) 3SN3-5S-SC1

1) 실험 관측결과

(1) 3SN3-5S-SC1

PC 기둥 접합부 판넬존 전·후면에서 중심부부터 전단 균열이 발생했고, 철골보의 플랜지 Scallop 부위가 항복한 후 횡좌굴에 의한 파괴가 발생했다. 실험이 종료된 Drift 6%에서 기둥 판넬존의 콘크리트 피복에 심한 전단균열이 발생하였

으나 박피 현상은 관찰되지 않았고, 양쪽 철골보가 횡좌굴에 의한 뒤틀림으로 파괴되었다.



(b) 3VP2-5S-SL2



(c) 3VP2-NS-SL2

그림 4 시험체 파괴양상

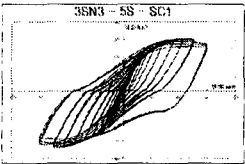
(2) 3VP2-5S-SL2

PC 기둥 판넬존 측면 상·하 부분에서 휨압축에 의한 균열이 발생했다. 또한 PC강봉으로 연결된 PC기둥의 단부에서 수직방향의 전단 균열이 발생했다. 실험이 종료된 Drift 7.0%에서 양쪽 철골보의 플랜지 Scallop 부위에서 횡좌굴이 일어났다. 특히, 우측 철골보의 Scallop부위의 플랜지 및 웨브가 좌굴에 의해 파괴되었으며, PC기둥 판넬존에서는 별다른 손상이 발생하지 않았다.

(3) 3VP2-NS-SL2

PC 기둥 판넬존 측면 상·하 부분에서 휨압축에 의한 균열이 발생했다. 또한 PC강봉으로 연결된 PC기둥의 단부에서 수직방향의 전단 균열이 발생했다. 실험이 종료된 Drift 7.0%에서 PC기둥 판넬존의 상·하 부분에서 휨압축파괴로 인해 콘크리트의 피복부분이 심하게 떨어져 나갔다. 시험체를 해체한 결과, 기둥 패넬존의 접합부에서는 역시 전단 균열이 발견되지 않았다.

2) 실험 계측결과

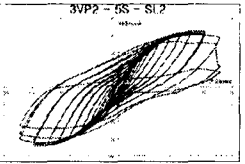


(a) 3SN3-5S-SC1

(1) 3SN3-5S-SC1

Drift 1.4%에서 항복하여 Drift 5.0%에서 최대하중이 나타났다. Drift 5.0%를 넘어서면서 처음으로 강도저하가 관측되었으나 그 크기는 실험이 종료된 Drift 6.0%에서도 강도저하가 5%에 불과한 것으로 계속되었다. 또한 초기 강성이 증가하였고, 강성저하도 미비하여 PC기둥 판넬존의 전단보강에 의한 효과로 인해 개선된 것으로 보인다.

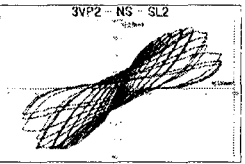
(2) 3VP2-5S-SL2



(b) 3VP2-5S-SL2

시험체는 Drift 1.75%이후에 항복하여 Drift 6.0%에서 최대하중이 나타나는 것으로 계속되었다. Drift 7.0%도중 우측 철골보의 상부 Scallop부위의 플랜지, 웨브가 파괴되면서 마지막 Cycle에서 한쪽 변위 방향으로 75%의 강도저하가 나타났다. 초기 강성이 증가하였고, 강성저하도 미비하여 에너지 소산 능력이 기존의 연구 결과에 비해 개선된 것으로 보인다. 철골보의 RBS단면과 단부평판에 의한 구속효과에 의해 파괴모드가 적절히 조절되고 있는 것으로 보인다.

(3) 3VP2-NS-SL2



(c) 3VP2-NS-SL2

그림 5 하중-변위 곡선

시험체는 Drift 1.4%에서 항복하여 Drift 5.0%에서 최대하중이 나타났다. Drift 5.0%를 넘어서면서 처음 단계별 강도저하가 계속되었고, 실험이 종료된 Drift 7.0%에서의 마지막 Cycle에서 60%의 강도저하가 발생했다. 이는 Drift 6.0%부터 발생하기 시작한 콘크리트 기둥의 휨압축파괴에 따른 시험체의 강도저하로 보인다.

3.2 실험 결과 분석

1) 강도성능 분석

접합부의 강도 특성을 분석하기 위하여 시험체의 부재별 강도성능을 분석하였다. 철골보의 강도에 비하여 PC기둥의 휨강도가 작은 것으로 나타났다. 이는 PC기둥의 고강도 강봉이 콘크리트와 비부착되어 압축 저항력이 감소한 것을 고려했기 때문이다. 반면에 PC기둥 판넬존의 전단강도는 증가한 것

으로 나타났다. 이는 PC기둥 판넬존이 단부 평에 의해 양방향으로 구속되어 콘크리트의 압축강도가 상대적으로 증가한 효과를 고려했기 때문이다.

3SN3-5S-SC1의 경우 대각 방향의 철근으로 전단을 보강하여 PC기둥 판넬존의 전단강도가 50%이상 증가되어 철골보가 기둥보다 먼저 항복하였다. 그 결과 구조물의 항복강도가 철골보의 항복강도와 유사한 것으로 분석되었다.

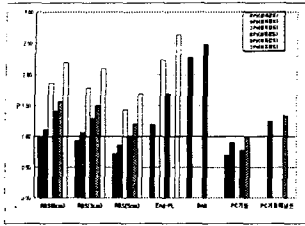


그림 6 부재별 강도비교

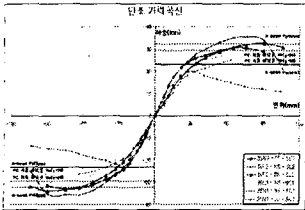


그림 7 단조 하중-변위 곡선

3VP2-5S-SL2의 경우 시험체의 강도가 기둥접합부의 전단강도나 H형강보의 항복휨강도보다 더 크게 나타나고 H형강보의 휨파괴가 발생한 것으로 보아 PC기둥 패넬존의 전단 강도성능이 매우 개선되고 파괴모드도 적절히 조절된 것으로 분석된다. H형강보 단부를 RBS(Reduced Beam Section) 단면 형식으로 개선한 것이 파괴모드 조절에 매우 효과적인 것으로 판단된다.

3VP2-NS-SL2의 경우 시험체의 강도가 기둥접합부의 전단강도나 H형강보의 항복휨강도보다 더 크게 나타나고 기둥의 휨압축파괴가 발생한 것으로 보아 PC기둥 패넬존의 전단강도성능이 매우 개선된 것으로 분석된다. 이는 3VP2-5S-SL2시험체와 더불어 단부평판을 관통볼트로 양방향으로 초기 긴장하여 패넬존 부분의 콘크리트를 구속한 효과 때문인 것으로 판단된다.

2)강성 성능 분석

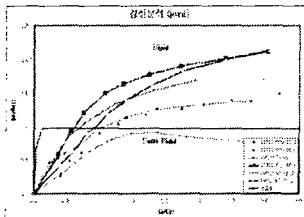


그림 8 강성 분석(joint)

PC기둥 판넬존이 단부평판에 의해 1방향에서 구속된 기존의 실험 결과인 3SN1-5S-SC1과 비교하여 초기 강성은 약 30%이상 개선된 것으로 분석되었다. 본 시험체의 강성을 높이기 위해서 전동 임팩트 렌치를 이용하여 기존 시험체에 가했던 80kgf·m의 볼트 토크치를 100kgf·m까지 증가시켜 볼트의 초기 긴장력을 조절하였다. Drift 1.0%기준으로 하였을 때 100kgf·m 토크치로 관리한 시험체가 80kgf·m토크치로 관리한 시험체보다 1.2~1.9배 정도 강성이 높은 것으로 나타났다.

5. 결론

- (1) 단부평판으로 양방향 접합된 시험체의 경우 ACI 내진성능 요구조건을 훨씬 상회하고, PC기둥 패넬존의 전단강도성능이 한방향 시험체에 비해 매우 개선되었다.
- (2) PC기둥과 함께 사용된 H형강보를 적절한 크기의 RBS단면으로 개선할 경우 파괴모드 조절에 매우 효과적인 것으로 나타났다.
- (3) 관통형 볼트의 토크치를 80kgf·m에서 100kgf·m로 조절할 경우 접합부의 강도성능이 최대 50%까지 개선되고, 강성증가의 효과가 있었다.

참고문헌

1. 조은영(2003), PC기둥-H형강보의 볼트 접합부에 관한 실험적 연구, 석사학위 논문, 울산대학교 건축학과.
2. 이상훈(1999), 콘크리트 충전된 각형강관 기둥과 H형강보의 볼트 접합부에 관한 실험적 연구Ⅱ, 석사학위 논문, 울산대학교 건축학과.
3. ACI, "Commentary on Acceptance Criteria for Moment Frames Baser on Structural Testing", American Concrete Institute.