

PC 기둥-H형강보의 볼트접합부에 관한 실험적 연구Ⅲ

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

여인석* 박순규**

Yeo, In Seok Park, Soon Kyu

ABSTRACT

The PCS system, which consists of precast concrete column and steel beam, has been under development. Experimental test has been carried out to investigate the structural performance of the system under earthquake. Two types of test specimens of beam-column joints are designed in order to compare the performances. One is the system with reinforced concrete slab and the other is without slab. It is found that the system with slab could satisfy all of the requirements from ACI Criteria such as strength, stiffness degradation and energy dissipation capacity except initial stiffness. It is also investigated that the stiffness of the joint is belong to rigid joint type according to Bjorhovde criterion. And it is observed that the partial-composite system between beam and slab is more effective than full-composite system in the respect of the energy dissipation capacity of the system.

1. 서론

PCS구조시스템은 PC기둥과 철골보로 이루어지는 합성구조 시스템의 일종이다. 이 시스템은 건식공법이며 조립식이어서 여러 장점을 가지고 있다. PCS구조시스템의 실용화를 위해서 핵심 기술인 우수한 시공성과 역학적 성능을 가진 접합부를 개발 및 연구 중에 있다.

선행 연구결과에 의하면 현재까지 개발된 PCS구조시스템은 초기강성을 제외한 ACI 내진성능 요구조건을 훨씬 상회하고 있으며, H형강보의 RBS단면에 의한 파괴모드 조절이 매우 효과적인 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 단조가력에 의한 접합부강성을 분석하고 보-기둥과 슬라브 간의 접합부 성능분석과 그에 따른 슬라브 설계의 기준을 제시하기 위하여 실험적 연구를 수행하였다. 그 결과, 보-기둥 접합부의 강성이 Rigid 접합부로 분석되었다. 그리고 슬라브로 인해 에너지소산능력은 감소하였지만 여전히 ACI기준을 상회하고 있으며, 보-슬라브 접합부를 Partial-composite 으로 설계하는 것이

*정회원, 울산대학교 건축대학 대학원

**정회원, 울산대학교 건축대학 교수, 공학박사

에너지소산에 더 효과적인 것으로 분석되었다.

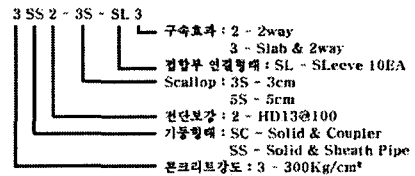
2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

반복가력을 통해 접합부 강성을 파악하기 위한 3SS2-3S-SL2 및 슬라브의 영향을 고려하기 위한 시험체 2개를 접합부의 구조적 성능에 중요한 영향을 미치는 기둥형태, H형강보 단부의 Scallop의 크기 및 Slab와 보의 합성정도 등을 실험변수로 하여 표 1과 같이 총 3개의 시험체를 제작하였다.

표 1 시험체명

N0.	시험체명	Stud 개수	Stud 용접두께	Scallop 크기	Slab 유무	가력형태
1	3SS2-3S-SL2	-	-	3cm	×	단조
2	3SS2-5S-SL3	10EA	2mm	5cm	○	반복
3	3SC2-3S-SL3	16EA	7mm	3cm	○	단조/반복



2.2 가력 및 계측

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

Actuator 가력 프로그램은 단조가력시험의 경우 정하중가력을 기준으로 변위제어를 하였으며, 반복하중 가력시험의 경우 ACI 내진성능 평가기준에 의해 중간 Drift Ratio를 기준으로 변위제어를 하였다.

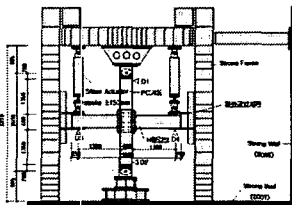


그림 1 시험체 set-up (2way)

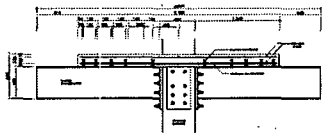


그림 2 Slab set-up(3SS2-5S-SL3)

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
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)
M24 볼트	39.60
φ32 PC강봉	86.64

표 4 콘크리트 압축강도 실험결과

시험체	최대하중 (ton)	압축강도 (kgf/cm ²)	시험방법
강도 300	27.14	346	KS F 2405
강도 240	13.16	161	KS F 2405

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험 관측 및 계측결과

(1) 3SS2-3S-SL2

강성분석을 위하여 단조가력시험을 한 시험체는 PC 기둥 패널존 측면 상·하 부분에서 휨압축에 의한 균열이 발생하였으며 변위 90mm에서 철골보의 Scallop부위의 플랜지 및 웨브가 좌굴을 일으켰다.

PC기둥 패널존에서는 별다른 손상이 발생하지 않았으며, 강성은 비대칭가력과 비교하여 높아진 것으로 계측되었다.

(2) 3SS2-5S-SL3

내진성능분석을 위하여 반복하중 가력시험을 한 시험체는 PC기둥 패널존 측면 상·하 부분에서 휨압축에 의한 균열이 발생하였으며 양쪽 철골보의 RBS 단면에서 횡좌굴이 일어났다. Drift 5.0%에서 Stud Bolt가 파단되어 슬라브와 철골보가 분리되었으며, Drift 6.0%에서 양쪽 철골보의 하단 플랜지 Scallop부위에서 좌굴이 일어났다. PC기둥은 패널존 하단부 피복에 약간의 손상이 발생하였다. 슬라브는 중앙부에 균열이 발생하였으며, 기둥과의 상부 접합면 손상이 크게 발생하였다.

시험체는 슬라브의 영향으로 인하여 비대칭의 이력거동을 보였으며 정모멘트가 작용하는 경우 이전 시험체에 비하여 강도성능증가가 계측되었다. Drift 5.0%까지 계속적인 강도증가를 보이다가 Stud Bolt파단 이후부터는 강도저하가 나타났다.

(3) 3SC2-3S-SL3

강성분석을 위해 단조가력 후 손상이 없는 상태에서 반복하중 가력시험을 한 시험체는 PC기둥 패널존 측면의 상·하 부분에서 휨압축에 의한 균열 및 파괴가 발생했다. Drift 3.5%부터 PC기둥 패널존의 하부 부분의 콘크리트 피복이 떨어져 나가기 시작했으며, Drift 5.0%에서는 PC기둥 패널존 측면의 상·하 부분의 콘크리트 피복부분이 심하게 떨어져 나갔다. 슬라브는 기둥과의 상부 접합면 손상이 크게 발생하였으며, H형강보에는 손상이 관측되지 않았다.

대칭으로 가력시 접합부 강성은 3SS2-3S-SL2와 유사하게 계측되었다.

반복하중 가력시 비대칭의 이력거동을 보였으며 Drift 1.75%이후에 항복하여 Drift 5.0%에서 최대하중이 나타나는 것으로 계측되었다. Drift 3.5%에서 휨압축파괴에 따른 PC기둥 패널존의 상·하부 단면손실로 인한 강도저하가 일어나기 시작했으나, Drift 7.0%까지 강도저하는 미비하였다.

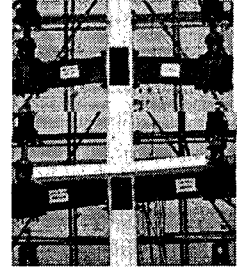


그림 4 비대칭가력시험

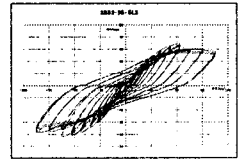


그림 5 이력곡선



그림 6 기둥접합부파괴

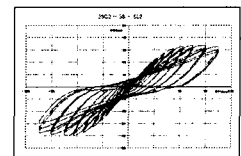


그림 7 이력곡선

3.2 실험결과 분석

(1) 강도 성능 분석

Slab에 의한 철골보의 강도성능증가가 큰 경우 파괴모드가 기둥강도에 의하여 결정되어 PC기둥의 접합부 손상이 증가되는 문제를 보였다. 슬라브에 의한 기둥 파괴를 방지하기 위하여 접합부를 분리하거나 추가의 접합부재를 사용해야 할 것으로 분석된다.

(2) 강성 성능 분석

접합부 강성구분은 Bjorhovde 분류기준에 따르면 초기 가력시 M_p 의 0.05%(2.4t

표 5 실험결과 분석

항목	3SS2-NS-SL2	3SC2-5S-SL2	3SS2-5S-SL3	3SC2-3S-SL3	ACI기준
초기강성	0.0058	0.0060	0.0059	0.0076	0.003이하
강도	38.1t	32.2t	34.65t 41.81t	31.67t 41.86t	
에너지소산 (3.5%)	0.333	0.421	0.290	0.320	0.125이상
(7.0%)	0.408	0.692	0.511	0.343	
파괴부위	철골보	철골보	철골보	기둥	
비교	이전실험	이전실험			

f·m)까지의 강성은 Semi-Rigid의 형태를 보였으나 이후 Rigid 접합부 형태를 보였다. 그러나 Eurocode3의 Rigid 접합부 영역에는 미치지 못하였다. 초기의 강성변화는 네오펜드에 의한 영향으로 판단된다. 반복하중가력의 경우 슬라브에 의하여 정모멘트 가력시 강성의 증가를 보였다. 3SC2-3S-SL3의 경우 PC기둥의 회전변형증가로 인해 3SS2-5S-SL3보다 강성이 오히려 작은 것으로 계속되었다. 초기강성의 경우 여전히 ACI기준에 못미쳐 방한강구가 요구된다.

표 6 접합부 강성분석

분류기준	대칭가력	비대칭가력
Bjorhovde	Rigid	Semi
Eurocode3	Semi	Semi

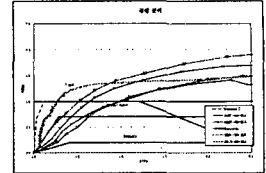


그림 8 강성분석

(3) 에너지 소산 능력 분석

에너지소산율은 ACI기준을 훨씬 상회하고 있으나 슬라브에 의하여 소산율이 3~31%감소하였다. 3SC2-3S-SL3는 3SS2-5S-SL3와 비교하면 Drift3.5%에서는 Pinching이 적어 소산능력이 조금 높았지만 기둥파괴 이후에는 에너지소산능력이 떨어졌다. 슬라브가 Full-Composite인 경우 기둥파괴로 인해 파괴모드 및 에너지소산에 불리하므로 Partial-Composite으로 설계하는 것이 유리하다고 분석된다.

4. 결론

- (1) 개발된 접합부는 Rigid로 분석되었고, 초기강성은 ACI기준에 미치지 못하여 방한강구가 요구된다.
- (2) 슬라브로 보강된 보의 강도가 증가하여 기둥강도가 이에 미치지 못한 경우 기둥파괴가 일어났다.
- (3) 슬라브로 인해 에너지소산능력은 감소하였지만 여전히 ACI기준을 상회하고 있으며, 보-슬라브 접합부를 Partial-composite 으로 설계하는 것이 에너지소산에 더 효과적인 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 한동훈(2004), PC기둥-H형강보의 볼트 접합부에 관한 실험적 연구Ⅱ, 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".