

고성능 배근상세 및 HDFRM을 활용한 고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부 내진성능 평가 및 개선

Improvement and Evaluation of Seismic Performance of Reinforced High-Strength Concrete Beam-Column Joints with Advanced Reinforcing Detailings and High Ductile Fiber-Reinforced Mortar.

하 기 주^{*} 신 종 학^{*} 이 동 렬^{**} 홍 건 호^{***}
Ha, Gee Joo Sin, Jong Hak Yi, Dong Ryul Hong, Kun Ho

ABSTRACT

In this dissertation, experimental research was carried out to study the hysteretic behavior of reinforced high-strength concrete beam-column joints designed by high performance techniques, such as application of high-strength concrete, reducing of joint regions damage, moving of beam plastic hinge, advanced reinforcing detailings and High Ductile Fiber-Reinforced Mortar.(HDFRM)

Specimens(HJCI), designed by the development of earthquake-resistant performance, moving of beam plastic hinge, and new design approach, were attained the moving of beam plastic hinge and developed significantly earthquake-resistant performance of such joints.

Specimens(HJRP), designed with HDFRM, were indicated more stable hysteresis behavior, high load carrying capacity, and distributed crack pattern of specimens HJRP when compared to the control specimen.

요 약

본 연구에서는 고강도철근콘크리트 보-기둥 접합부의 고성능화 기술 즉 콘크리트의 고강도화, 접합부 영역의 손상을 최소화하고 보의 소성힌지를 보의 내측으로 완전히 이동함과 동시에 내진성능을 향상시키는 고성능 설계상세 기술 및 고인성섬유 복합모르타르를 도입한 시험체를 제작하고 실험을 수행하여 이력거동을 평가하였다.

■ 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능을 향상시키고, 보-기둥 접합면에 인접하여 발생하는 소성힌지를 보의 내측으로 이동시킬 목적으로 새로운 접합부 설계상세를 도입한 정착형 중간철근(1.5d)과 이중페쇄스터럽 보강 시험체(HJCI)는 소성힌지의 이동은 물론 내진성능이 현저히 개선 되었다.

■ 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 철근배근 및 콘크리트 밀실타설의 문제점을 해소하고 기둥의 띠철근 및 보의 스테럽을 고인성섬유 복합모르타르(HDFRM)로 대체한 시험체 (HJRP)의 경우 안정적인 이력거동, 충분한 내력확보 및 만족스런 파괴형태를 나타내었다.

* 정회원, 경일대학교, 건축학부, 교수, 공학박사
** 정회원, (사)건설기술정책연구원, 대외협력팀장
*** 정회원, 경일대학교, 건축공학대학원, 박사과정

1. 서 론

최근 건설분야에서 구조물의 대형화 및 고층화 추세에 따라 우수한 성능을 지닌 고강도의 건설재료가 요구되고 있다. 이에 따라 콘크리트의 고강도화가 시도되어 현재 각국에서 사용되고 있으며, 보다 나은 성능확보 및 정확한 재료특성을 파악하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그리고 초고층 철근콘크리트 건축물이 지진하중과 같은 심각한 비탄성 변형을 일으키는 반복 주기하중을 받을 때 보나 기둥의 부재요소보다는 접합부가 더욱 취약한 영역인 것으로 밝혀지고 있다.

본 연구에서는 초고층철근콘크리트 건축물에서 지진하중과 같은 횡력이 작용할 때 가장 취약적이고 응력부담이 높은 보-기둥 접합부 영역에 대하여 내력과 연성능력을 향상시키고, 철근콘크리트 구조물의 안전성을 증대시키기 위하여 초고층철근콘크리트 건물에 활용 가능한 콘크리트 압축강도 50MPa를 사용하여 보-기둥 접합부에 인접하여 생기는 보의 소성힌지를 보의 내측으로 이동시키는 새로운 설계 개념을 도입한, 고성능 배근상세 및 고인성섬유 복합모르타르를 활용한 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능을 평가하여, 실제 구조물의 설계시 기초자료로 활용하는 데 그 목적이 있다.

2. 초고층 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부 구조성능 평가

2.1 실험계획

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 콘크리트의 고강도화, 접합부 영역의 내진설계 상세기법의 도입을 통한 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 평가 및 개선을 위하여, 본 연구에서는 정착형 중간철근 길이(1.5d), 폐쇄 스테럽의 이중구속, 접합부의 PVA섬유보강(혼입율1.5%)등을 주요 실험변수로 한 고성능 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능을 평가하여 내진설계의 기초자료로 제시하고자 한다.

2.2 시험체의 제작

지진하중과 같은 반복 주기하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능을 평가하기 위하여 실제 구조물의 1/3정도의 크기로 축소 한 외부 보-기둥 접합부 형태의 3개의 시험체를 제작하였다. 접합부의 설계는 ACI Building code(318-95) 및 ACI-ASCE 352위원회의 권장안에 따라 설계되었고 표준적인 보-기둥 접합부의 상세 및 내진성능개선 배근상세는 그림 2에 나타나 있으며, 각 시험체의 변수 및 내용은 표 1과 같다.

표 1. 시험체의 설계변수

시험체명	콘크리트 강도	하중재하 형태	보강섬유 종류	설계방법 및 설계변수
HJC	49.5 MPa	반복주기 하중	무	-기본시험체의 구조성능 평가
HJCI				-소성힌지이동 및 내력,연성증대 · 정착형 중간철근(1.5d) · 폐쇄스테럽의 이중구속
HJRP			RP	-고인성섬유(PVA) 1.5%를 보강한 접합부의 구조성능 개선

Remark : H - High-Strength Concrete J - Beam-Column Joint
C - Confinement I - Intermediate Reinforcement (2 : 1.5d)
RP - Reinforced Poly Vinyl Alcohol Fiber

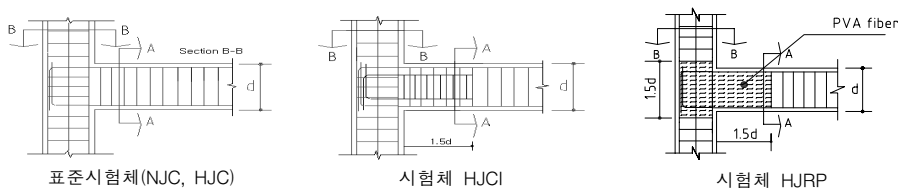


그림 2. 내진성능개선을 위한 접합부 배근상세

6 구조실험

2.3 사용재료 및 배합설계

본 연구에 사용한 콘크리트는 국내에서는 시멘트의 용도별로 시멘트의 종류를 정하고 KSL 5201에 따라 5종의 보통포틀랜드 시멘트와 최대 골재크기가 16mm인 쇄석골재를 사용하였으며, 콘크리트의 배합은 요구강도와 시공성 및 선정된 재료의 최적설계에 따라 설계되었으며 콘크리트의 배합표는 표 2와 같다. 공시체는 제작후 즉시 비닐을 덮어 수분을 방지하였으며, 재령 28일까지 수중양생을 실시하였다. 표 2에 나타난 콘크리트 압축강도는 각각 3개의 공시체의 시험 결과에 대한 평균 값이다.

(1) 철근

본 시험체에 사용된 철근은 국내에서 생산된 SD40의 고강도철근이 사용되었으며, 보 및 기둥의 주철근은 D10, D13등이 배근되었고 횡보강철근 및 정착형 중간철근에도 D10 및 D13이 배근되었다.

(2) 혼화제

본 실험에서는 변성나프탈렌 축합물의 혼화제를 시멘트중량비 1.2% 사용하였으며, 그 성분 및 특성은 표 4와 같다.

표 2. 콘크리트의 배합표

압축강도 (MPa)	W/C (%)	S/A (%)	콘크리트 배합량(kg/m ³)					슬럼프 (cm)
			시멘트	물	모래	쇄석	혼화제	
49.5	30	30.7	635	190	410	925	7.62	25

표 3. 철근의 재료특성

구분 종류	탄성계수 (MPa)	항복강도 (MPa)	항복변형도 (*10 ⁻⁶)	인장강도 (MPa)	신율 (%)
D10	1.95×10 ⁵	455	2,333	636	29
D13	2.04×10 ⁵	402.5	1973	690	28

표 4. 혼화제의 성분 특성

품명	형태	색조	주성분	비중	표준사용량
P.H.L.K #2	액상	암갈색	변성나프탈렌축합물	1.19	시멘트중량 ×0.3~1%

표3. PVA 섬유 재료특성

Diameter (μm)	Length (mm)	Nominal strength (MPa)	Elongation (%)	Oiling agent content(%)	Young's modulus (GPa)
39	12	1620	6	0.8	38.9

2.4 실험장치 및 실험방법

본 실험의 시험체의 설치상황과 각종 시험기기 및 장치는 그림 3과 같다. 보-기둥 접합부의 거동을 파악하기 위하여 3개의 전 시험체에 기둥의 평형축하중(balanced axial load)의 20%를 기둥에 일정하게 가력하였다. 그리고 그림 3에서와 같이 보의 변곡점에 로드셀을 부착한 유압 서보 액츄에이터를 사용하여 변위제어에 의해 하중(반복주기하중)을 작용시켰으며, 반복주기하중의 형태는 그림 4와 같다.

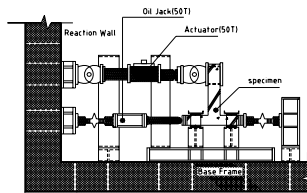


그림 3. 시험체의 설치상태 및 가력장치

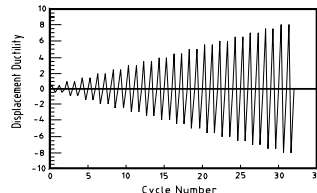


그림 4. 작용하중의 이력형태

3. 소성힌지 이동설계법과 고인성섬유 복합모르타르를 도입한 고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 평가 및 개선

3.1 이력거동 특성

본 연구에서는 각 시험체의 이력거동곡선을 구하기 위하여 반복주기하중을 가력하여 각 시험체의 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 그림 5(a)~(c)에서와 같이 구하였다.

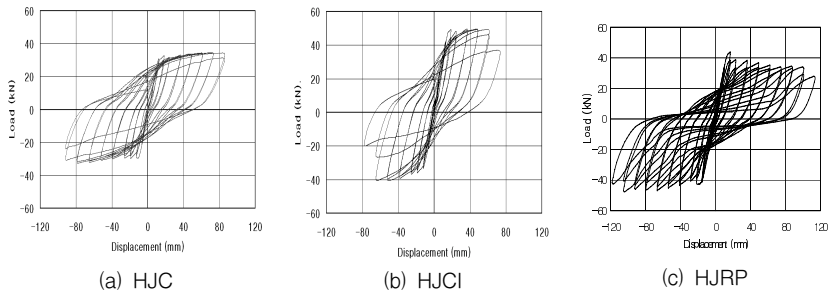


그림 5. 각 시험체의 하중-변위 관계

4. 결 론

본 연구에서는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 고성능화 기술 즉 콘크리트의 고강도화, 접합부 영역의 손상을 최소화하고 보의 소성힌지를 보의 내측으로 완전히 이동함과 동시에 내진성을 향상시키는 내진설계 상세 설계기술 및 고인성섬유 복합모르타르를 도입한 시험체를 제작하고 실험을 수행하여 구조성능을 평가하였으며, 본 연구의 실험결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성을 향상시키고, 보-기둥 접합면에 인접하여 발생하는 소성힌지를 보의 내측으로 이동시킬 목적으로 새로운 접합부 설계상세를 도입한 정착형 중간철근(1.5d)과 이중페쇄스터립 보강 시험체(HJCI)와 철근배근 및 콘크리트 밀실타설의 문제점을 해소하고 기둥의 띠철근 및 보의 스테리프를 고인성섬유 복합모르타르(HDFRM)로 대체한 시험체 (HJRP)의 경우 소성힌지의 이동은 물론 내진성능이 현저히 개선 되었다.
- 2) 정착형 중간철근 및 보의 코아 콘크리트의 구축을 위한 페쇄스터립을 사용한 시험체 HJCI의 경우 기준시험체 HJC에 비하여 변위연성 1~5에서는 최대내력이 40% 증대되었으며, 변위연성 5정도까지는 안정적인 이력거동을 나타내었으며 소성힌지의 이동에 따라 접합면에서 보의 내측으로 20cm~30cm범위에서 균열이 집중되는 안정적인 파괴형태를 나타내었다.
- 3) 시험체 HJRP는 기본실험체(HJC)에 비하여 최대내력은 26% 증가, 뚜렷한 균열분산 능력을 나타내며 조기에 피복이 탈락하는 현상이 방지되었다. 또한 기본 실험체 HJC에 비하여 강도의 증진은 물론이고 변위연성 5정도까지는 안정적인 이력거동특성을 나타내었다.

참고문헌

1. 하기주 외 2인, “수평하중을 받는 철근콘크리트 고층건물의 설계 상세”, 한국콘크리트 학회지 제8권 6호 PP39~51 1996. 12.
2. 하기주, “고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 이력거동 및 내진성능 개선”, 한국과학기술원, 박사학위논문, 1992. 8.
3. ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures,” ACI Journal, Proceedings vol. 82, No. 3, May-June 1985, pp. 266~283.
4. Ha, G. J., Kim, J. K., and Chung, L., “Response of Reinforced High-Strength Concrete Beam-Column Joints Under Load Reversals,” Magazine of Concrete Research, No. 160. September 1992, pp. 175~184.