

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 개선 보강 신기술

New Technique on the Improvement of Earthquake-Resistant Performance for the Retrofitting of Existing Reinforced Concrete Beam-Column Joints

하 기 주
Ha, Gee Joo

국문요약

본 연구에서는 기존 철근콘크리트 건물 보-기둥 접합부의 내진성능을 개선하기 위하여 탄소섬유를 사용하여 구조물을 보강한 후 실험을 수행하였다. 이를 위하여 6개의 철근콘크리트 보-기둥 접합부를 제작하였으며, 지진하중과 같은 반복하중이 작용할 때 보강재료 및 보강영역 등을 변수로 하여 실험을 수행하여 각 보강변수에 따른 보강효과를 평가하였다.

본 실험을 통하여 구조물의 내진성능 및 연성능력을 증진시킬 목적으로 새로운 보강재료(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트)로 설계된 보강 실험체(RPC-CP2, RPC-CR, RJC-CP, RJC-CR)들은 내력증진은 물론이고 안정적인 이력거동을 확보할 수 있었다.

주요어 : 기존 철근콘크리트 접합부, 내진성능, 연성능력, 탄소섬유, 반복주기하중

ABSTRACT

In this study, experimental research was carried out to improve earthquake-resistant performance for the retrofitting of reinforced concrete beam-column joints using carbon fiber materials in existing reinforced concrete building.

Six reinforced concrete beam-column joints were constructed and tested to evaluate the retrofitting effect of test variables, such as the retrofitting materials and retrofitting region(plastic hinge, beam-column joint) under load reversals.

Test results show that retrofitting specimen(RPC-CP2, RPC-CR, RJC-CP, RJC-CR), using new materials(carbon fiber plate, carbon fiber rod and carbon fiber sheet), designed by the improvement of earthquake-resistant performance and ductility, attained more load-carrying capacity and stable hysteretic behavior.

Key words : existing reinforced concrete beam-column joint, earthquake-resistant performance, ductility, retrofitting, carbon fiber, load reversals

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

기존 콘크리트 구조물에 발생하는 노후화 현상은 구조물의 성능을 점진적으로 저하시키게 되며, 적절한 유지관리를 실시하지 않는다면 균열의 확대 등에 의하여 장기적으로 누적된 노후화에 따른 구조물의 손상은 콘크리트 구조물의 안전성에 심각한 피해를 줄 수 있다.

특히, 최근의 지진발생 빈도 증가와 더불어, 건물의 노후화에 따른 다양한 형태의 구조결함과 내진성능 저하 및 설계 당시 설계기준의 미비등으로 인한 내진성능의 개선이 요구되는 철근콘크리트 건물은 점차 늘어나고 있는 실정이다.

따라서, 국내에서는 기존 철근콘크리트 구조물의 내구성 및 안전성에 큰 문제가 제기되어 기존 철근콘크리트 구조물의 유지관리, 안전진단 및 평가, 보수·보강공법에 대하여 대학과 관련업계에서 많은 관심과 연구가 진행되고 있는 실정이나, 국산화된 보강재료 및 공법을 도입한 철근콘크리트 구조물의 구조성능 개선기술에 대한 연구는 초기단계에 있는 실정이다. 선진외국의 경우 노후 철근콘크리트 구조물의

유지관리 차원, 보수·보강 재료 및 공법 개발과 손상된 건축물의 구성 단위 부재와 접합부의 내력 및 내진성능 개선을 위한 기술 개발에 의한 기존 철근콘크리트 구조물의 성능회복 및 내력향상을 통한 성능개선은 중요한 연구과제로 다루고 있다.

특히, 고층 철근콘크리트 건축물이 지진하중과 같은 심각한 비탄성 변형을 일으키는 반복주기하중을 받을 때 보나 기둥부재 보다는 접합부가 더욱 취약한 영역인 것으로 밝혀지고 있다.

본 연구에서는 철근콘크리트 건축물에서 지진하중과 같은 횡력이 작용시 가장 취약하고 응력부담이 높은 보-기둥 접합부에 탄소섬유(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트)를 보강하여 구조물의 내력과 연성능력을 향상시켜 내진성능을 개선함으로써, 기존 철근콘크리트 구조물의 구조성능 개선을 도모함으로써, 내진 보강기법의 기초자료로 활용하며, 이에 따른 경제성의 확보 및 건설기술의 경쟁력을 제고하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 내력, 정착, 대각균열에 의한 파괴가 일어나기 쉬운 철근콘크리트 구조물의 외측 보-기둥 접합부를 대상으로 하여 기존 철근콘크리트 구조물의 보-기둥 접합부

* 정희원·경일대 건축학부 정교수, 공학박사(대표저자 : gha@kiu.ac.kr)
본 논문에 대한 토의를 2003년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.
(논문접수일 : 2004. 2. 20 / 심사종료일 : 2004. 2. 27)

영역 및 소성힌지영역을 탄소섬유판과 탄소섬유봉으로 보강하여 구조성능을 개선하고자 한다. 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력 및 내진성능의 개선을 위하여 실제 구조물을 1/3크기로 모델화한 실험체를 제작하고 실험을 실시하여 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능을 분석·평가 하고자 한다.

콘크리트강도(273kgf/cm²), 하중재하형태(단조하중, 반복주기하중), 접합부 보강시스템의 주요 실험변수로는 탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트 등을 사용하였으며 실험변수에 따른 효과를 비교, 분석하여 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력증진 및 내진성능 향상을 위한 새로운 보강설계 개념을 정립하고자 한다.

2. 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능개선을 위한 탄소섬유보강에 따른 실험

2.1 개요

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력과 연성능력을 향상시키고 철근콘크리트 구조물의 안전성 증대, 사용성의 변경 및 구조물의 수명을 연장시키기 위한 새로운 보강설계개념을 도입하였다. 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 취약부위 보강을 통한 구조성능 개선 보-기둥 접합부 보강시스템 즉, 1) 소성힌지영역 보강, 2) 보-기둥 접합부영역 보강법을 도입한 새로운 보-기둥 접합부 시스템의 구조성능을 평가하고 고성능 철근콘크리트 보-기둥 접합부 보강시스템을 개발하여 실제 구조물의 설계시 기초 자료로 활용하고자 한다.

따라서, 본 연구에서는 지진하중과 같은 반복주기하중이 작용할 때 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부 영역에 대하여 내진성능을 개선하고 철근콘크리트 건물의 안전성을 증대시키기 위하여 신소재(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트)로 보강한 철근콘크리트 보-기둥 접합부 시스템의 구조성능을 평가하고자 한다.

2.2 실험계획

기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선하기 위하여 보의 소성힌지 영역과 보-기둥 접합부 영역을 신소재(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트)를 사용하여 보강한 후 구조성능 평가 및 개선을 도모하고자 한다.

본 연구에서는 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 개선을 위하여 보강함에 있어서 보강재료(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트) 보강방법(보 또는 기둥의 구속), 보강영역(소성힌지, 접합부 영역), 하중재하 형태(단조하중, 반복주기하중) 등을 주요 실험변수로 한 고성능 철근콘크리트 보-기둥 접합부 보강시스템의 구조성능을 평가하여 내진설계시 기초자료로 제시하고자 한다.

2.3 실험체의 형태 및 변수

지진하중과 같은 반복 주기하중을 받는 철근콘크리트 보-

기둥 접합부 및 신소재(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트)를 이용한 철근콘크리트 보-기둥 접합부 보강시스템의 구조성능을 평가하기 위하여 실제 구조물의 1/3정도의 크기로 축소한 외부 보-기둥 접합부 형태의 실험체 6개를 제작하였다.

접합부의 설계는 ACI Building code(318-83) 및 ACI-ASCE 352위원회의 권장안에 따라 설계되었고 표준적인 보-기둥 접합부 및 신소재로 보강한 보-기둥 접합부 시스템의 설계상세는 그림 1 및 그림 2~4에 나타나 있으며, 각 실험체의 변수 및 내용은 표 1과 같다.

그리고, 보-기둥 접합부 보강에 사용된 탄소섬유봉의 형상과 보강시 매입상태는 그림 5와 같다.

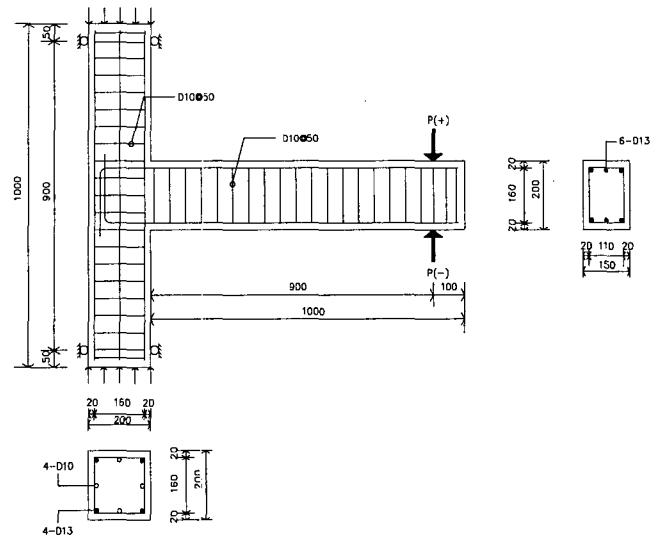


그림 1 표준 보-기둥 접합부 실험체(SCM, SCC) 설계상세

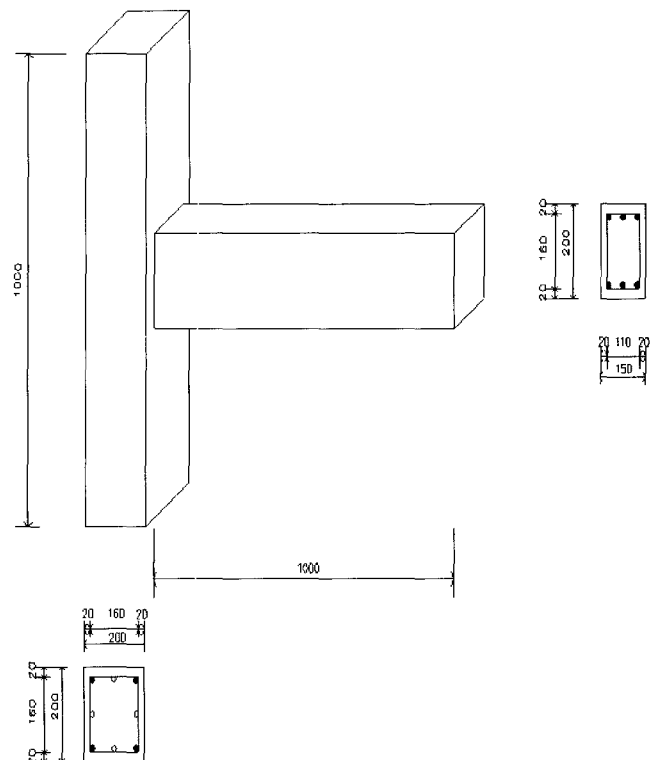
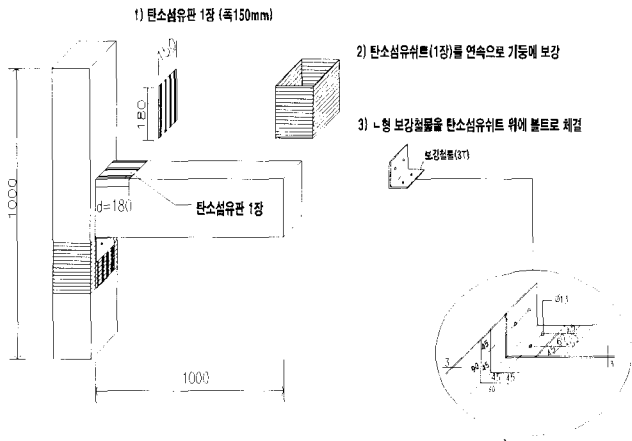
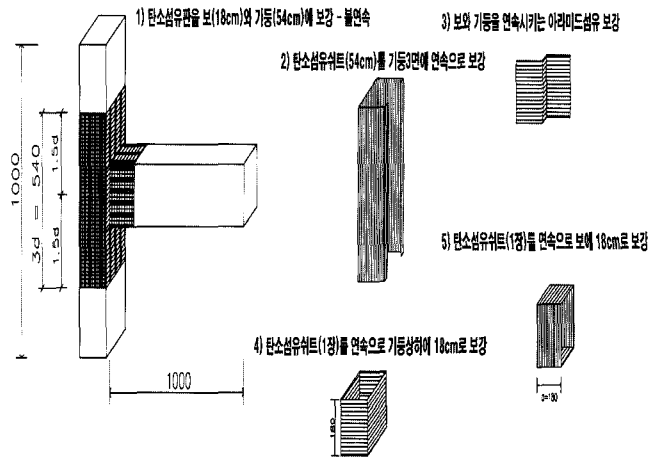


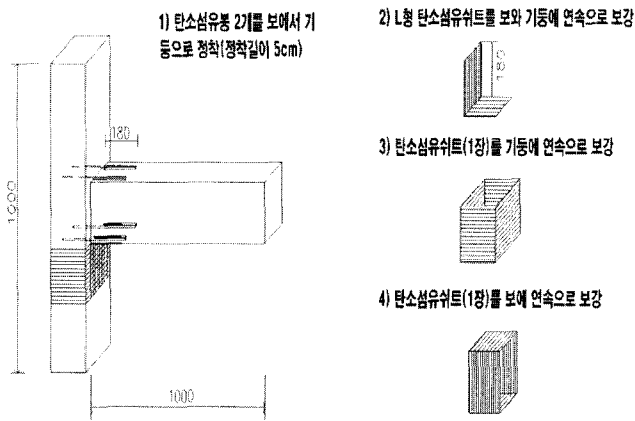
그림 2 기준 실험체(SCM, SCC)



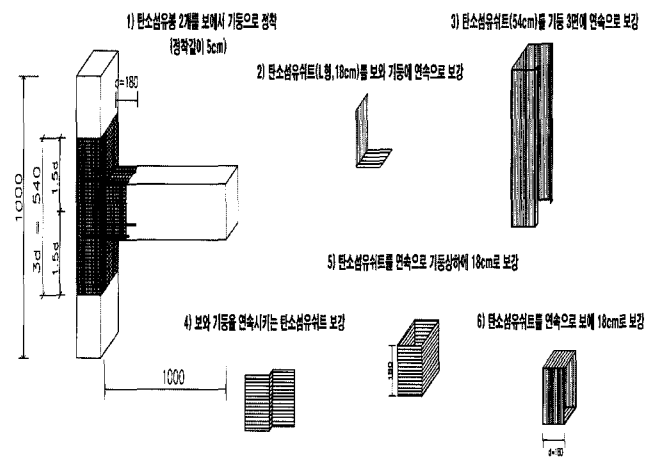
(a) 탄소섬유판(150mm)보강 실험체 RPC-CP2



(a) 탄소섬유판 보강 실험체 RJC-CP



(b) 탄소섬유봉 보강 실험체 RPC-CR



(b) 탄소섬유봉 보강 실험체 RJC-CR

그림 3 소성힌지 영역 보강 보-기둥 접합부 실험체

그림 4 보-기둥 접합부 영역을 보강한 보-기둥 접합부 실험체

표 1 보-기둥 접합부 실험체의 설계변수

실험체	하중재하 형태	보강부위	보강 재료 및 방법
SCM	단조하중	무보강	무보강
SCC	반복주기 하중 (T=70sec)	소성 힌지 영역 보강	-탄소섬유판(폭 150mm) 보-기둥접합면 앵글 보강 기둥 탄소섬유슈트 구속
RPC-CP2			-탄소섬유봉 보-기둥 탄소섬유슈트 구속
RPC-CR		보-기둥 접합부 영역 보강	-탄소섬유판 탄소섬유슈트 구속
RJC-CP			-탄소섬유봉 탄소섬유슈트 구속
RJC-CR			

2.4 사용재료의 선정 및 특성

본 연구에 사용된 콘크리트는 보통포틀랜드 시멘트와 최대 골재크기가 13mm인 쇄석골재를 사용하였으며, 철근은 국내에서 생산된 SD40의 고강도철근이 사용되었으며, 재료 특성은 표 2와 같다.

각 실험체의 콘크리트 타설과 함께 압축강도용 공시체를 제작하여 각각 9개의 공시체의 실험결과에 대한 평균값을 표 3에 나타내었다.

표 2 철근의 재료특성

Bar	E_s (kgf/cm ²)	f_y (kgf/cm ²)	ϵ_y ($\times 10^{-3}$)	σ_s (kgf/cm ²)	elongation (%)
D10	1.95×10^6	4,550	2,333	6,360	29
D13	2.04×10^6	4,025	1,973	6,900	28

표 3 콘크리트의 배합설계 및 압축강도

압축강도 (kgf/cm ²)	W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight(kg/m ³)				Slump (cm)
			cement	water	Fine aggregate	Coarse aggregate	
273	52	49.1	363	172	643	906	15

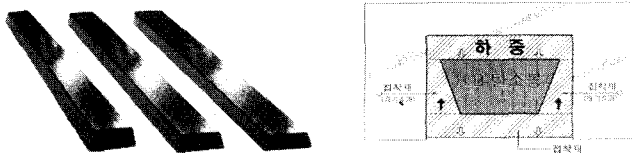


그림 5 탄소섬유봉의 형상 및 매입 상태

보-기둥 접합부의 보강을 위하여 사용된 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판, 탄소섬유봉 접착용 수지의 재료 특성 및 역학적 성질은 표 4~표 8과 같다

표 4 탄소섬유쉬트의 역학적 성질

항목	중량 (g/m ²)	비중 (g/cm ³)	두께 (mm)	인장강도 (kgf/cm ²)	인장탄성율 (kgf/cm ²)	파손 변형율(%)
평균값	200	1.82	0.11	22,863	1,988,694	1.11

표 5 탄소섬유봉의 역학적 성질

종 류	두께 (mm)	폭 (mm)	인장강도 (kgf/cm ²)	인장탄성율 (kgf/cm ²)	포아송 비	파손 변형율(%)
탄소섬유봉	6	위 : 13 아래 : 15	23,868	1.99 × 10 ⁶	0.31	1.20

표 6 탄소섬유판의 역학적 성질

종 류	두께 (mm)	폭 (mm)	인장강도 (kgf/cm ²)	인장탄성율 (kgf/cm ²)	포아송 비	파손 변형율(%)
탄소섬유판	1.5	100	16,700	1.84 × 10 ⁶	0.30	0.91

표 7 탄소섬유쉬트 접착용 수지의 재료

항목	사용 온도 (°C)	가사 시간 (분)	건조 시간 (시간)	양생 시간 (일)	주제: 경화제	배합후 점도
프라 이머	15~25	60	9	-	10:5	1200이하
함침용 수지	15~25	60	-	7	10:5	3000~5000

표 8 탄소섬유판 및 봉 접착용 수지재료

항 목	사용온도(°C)	가사시간(분)	건조시간(분)
에폭시	5~25	40(35°C)	30(35°C)

2.5 실험장치 및 실험방법

본 실험은 경일대학교 구조실험실에서 보-기둥 접합부용 프레임을 제작하여 설치하였으며, 실험체의 설치상황과 각종 시험기기 및 장치는 그림 6과 같다. 실험체에 작용하는 하중 제어를 위하여 서보시스템을 사용하였으며 실험체는 그림 6과 같이 실험을 위한 프레임에 기둥 부분을 수평으로 놓여서 설치하였다.

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 거동을 파악하기 위하여 6개의 실험체에 기둥의 허용 축하중(balanced axial load)의 30%를 기둥에 일정하게 가력하였다. 그리고, 그림 6과 같이 보의 변곡점에 로드셀을 부착한 유압 서보 액츄에이터를 사용하여 변위제어에 의해 하중(단조하중, 반복주기하중)을 작용시켰으며, 반복주기하중의 형태는 그림 7과 같다. 그림 7에 나타난 변위연성은 각 사이클의 종료시 변위에 대한 실험체의 항복변위의 비로써 정의하고 항복변위는 단조하중 작용시 기둥면의 보 주근이 항복하였을때의 하중작용점의 변위

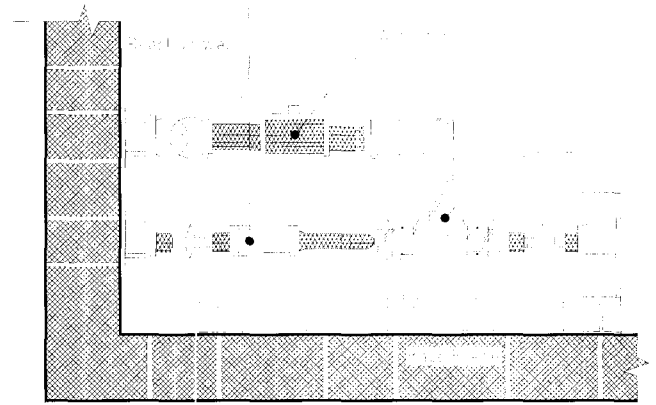


그림 6 실험체의 가력 및 설치 상태

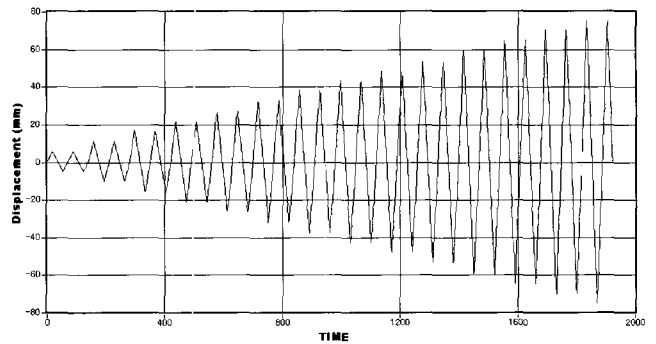


그림 7 작용 하중의 이력형태

로 정의한다.

반복 주기하중의 주기는 전실험체를 T=70sec로 하였으며 반복회수는 2사이클로 극한변위 측정시까지 가력을 계속하였다.

3. 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 개선을 위한 탄소섬유보강에 따른 내진성능 평가 및 개선

3.1 개요

기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부가 지진하중을 받을 때 구조물의 노후화 현상과 기존설계법의 변경 및 취약성으로 인하여 부재내력의 저하 및 내진성능이 떨어지므로 이에 대한 충분한 검토와 보강이 필요한 것으로 판단된다. 따라서, 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력향상 및 구조성능의 개선을 통하여 구조물의 수명을 연장시키고 지진하중 작용시 건축물의 안전성을 확보하여야 할 것으로 사료된다.

본 연구의 수행을 통해 지진하중과 같은 반복주기하중이 작용할 때 철근콘크리트 건물에 가장 취약적이고 응력부담이 높은 보-기둥 접합부 영역에 대하여 내진성능을 개선하고 철근콘크리트 건물의 안전성을 증대시키기 위하여 신소재(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유쉬트)로 보강한 철근콘크리트 보-기둥 접합부 시스템의 구조성능을 평가하고자 한다.

3.2 이력거동 특성

지진 지역에서 철근콘크리트 구조물의 설계 및 해석을 위하여 비탄성 범위에서 부재의 특성, 즉 부재의 연성, 에너지 소산능력, 강성저하 등을 파악하여야 하며, 이를 위해서 부재의 이력거동 특성을 정확히 규명하여야 한다.

본 연구에서는 표준 실험체 SCM의 기둥면의 보 주근에 부착한 스트레인 게이지의 측정치가 항복변형에 이를 때 보의

하중 작용점의 항복변위를 구하고, 변위제어로 최종파괴시 까지 가력하여 하중-변위 곡선을 그림 8(a)와 같이 규명하였다. 그리고 각 실험체의 이력거동 곡선을 구하기 위하여 반복주기하중을 가력하여 각 실험체의 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 그림 8~그림 10에서와 같이 구하였다.

실험체 SCM, SCC는 ACI Building Code 및 ACI-ASCE 352 위원회의 권장안에 따라 설계되었으며, 콘크리트 강도는 273kgf/cm²이다.

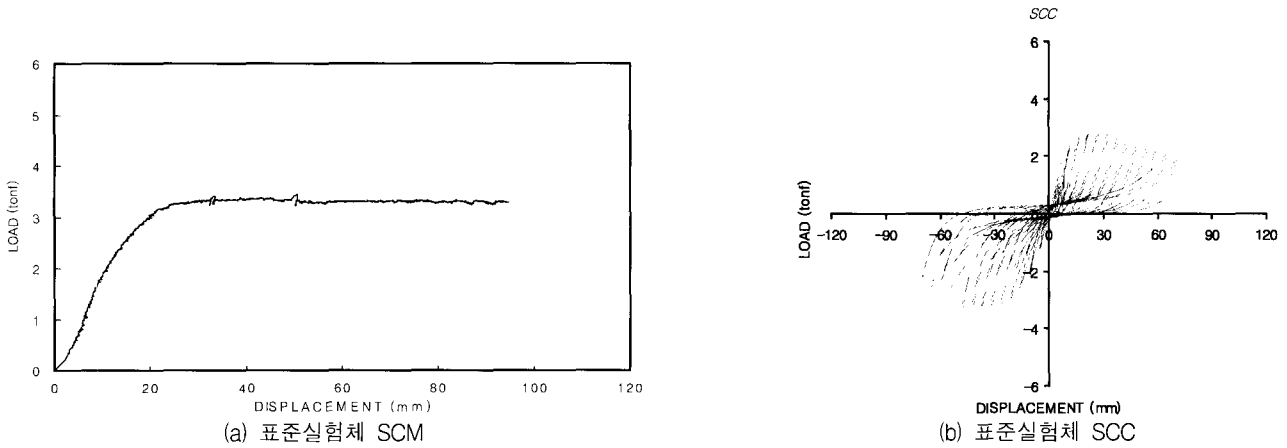


그림 8 표준 실험체(SCC) 하중-변위 곡선

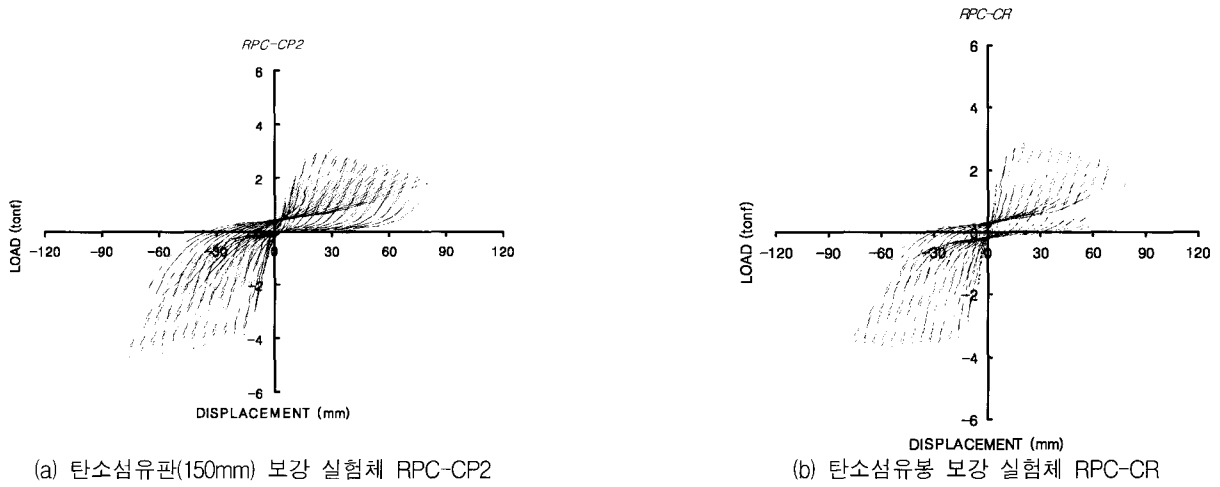


그림 9 소성힌지영역 보강 실험체 하중-변위 곡선

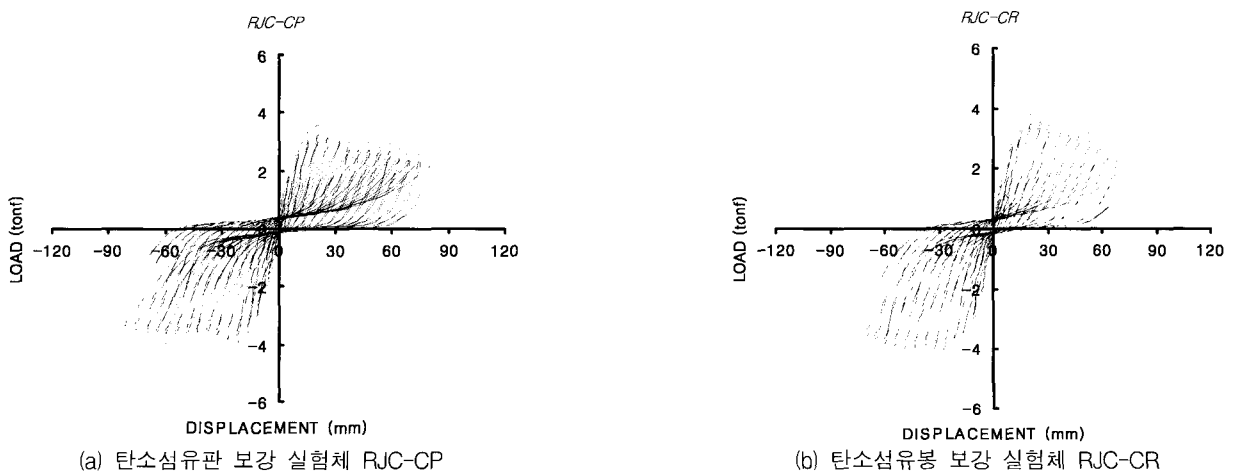


그림 10 보-기둥 접합부영역 보강 실험체 하중-변위 곡선

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 소성힌지영역 보강 시리즈(RPC 시리즈) 실험체의 경우 대부분 내력은 개선이 적고, 그림 9의 이력거동 특성을 고찰하여 보면 연성능력 즉, 내진 성능이 개선되는 연성증진형 보강 개념으로 적용할 수 있다.

그리고, 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 보-기둥 접합부영역 보강 시리즈(RJC 시리즈) 실험체의 경우 그림 10의 이력 거동 특성을 고찰하여 보면 강도 및 에너지 소산능력이 표준 실험체 SCC에 비하여 훨씬 증대하여 구조성능 및 내진 성능이 현저히 개선됨을 알 수 있다.

3.3 파괴형태

지진하중을 받는 연성 저항 철근콘크리트 구조물에는 부재에 비탄성 변형을 발생시키는 하중반전(reversals of load)이 일어날 수 있다. 강 기둥-약 보의 개념으로 설계된 철근 콘크리트 보-기둥 접합부는 반복 주기하중이 진행되는 동안 형성되는 수직 및 경사균열은 하중 반전시 보의 반대편에 유사한 형태의 균열이 발생한다.

기존 철근콘크리트 건물 보-기둥 접합부의 성능 및 파괴 메카니즘을 개선하기 위하여 크게 두 가지 개념 즉, 1) 보의 소성힌지영역의 보강, 2) 보-기둥 접합부영역의 보강을 실시 하였다.

3.3.1 표준 실험체(SCM, SCC)

표준 실험체 SCM의 경우 일방향 단조하중 실험에서 하중 2.53t, 변위 15mm에서 접합면에 초기균열이 나타났고, 그 다음 보 내측부분에 휩균열이 발생되었고, 하중 증가에 따라 접합부 부분에 균열집중 현상과 더불어 보의 압축측 단면에 압괴현상이 발생하였다. 최대하중 3.5tonf 이후 변위가 증가할수록 내력저하 현상이 나타났다.

표준 실험체 SCC의 경우 초기 재하시 보와 기둥의 접합 면에서 보의 내측으로 매우 넓은 영역까지 균열이 분포하였고, 재하 후반부에는 보-기둥 접합면과 보 축만큼 떨어진 부분 이내에서 균열과 파괴가 집중되었다. 반복 주기하중 실험의 변위연성 1에서 접합면에 초기균열이 발생하였고, 변위 연성 2에서는 보 상부에 휩균열이 발생되었고 접합부 부근에는 균열폭이 증가하였으며, 변위연성 3에서는 기둥 보-기둥 접합부 영역의 대각균열이 발생하였다. 그리고 변위연성 4에서는 접합부 균열이 집중되면서 균열폭이 더욱 증가하고 보-기둥 접합부 영역의 대각균열은 미소하게 증가되었다. 변위연성 5에서는 접합면 콘크리트피복이 박리 되기 시작했고, 변위연성 6에서는 접합부 부분 콘크리트가 완전탈락 현상이 나타나 내부철근이 노출되었다. 최대하중은 변위연성 2에서 3.14tonf으로 나타났으며 그 이후, 내력의 감소폭이 크게 나타났다.

3.3.2 소성힌지영역 보강(RPC-CP2, RPC-CR)

소성힌지영역에 신소재를 보강하여 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선할 목적으로 제작한 실험체 RPC

시리즈의 경우, 초기 재하시 소성힌지 영역의 보강의 효과로 보의 소성힌지 영역 밖에서 휩 균열이 발생하였으며, 반복주기 하중이 진행되는 동안 보-기둥 접합면에 균열이 발생하였다. 그리고 재하 후반부에는 접합부 판넬 영역에 다수의 균열이 발생하였다.

소성힌지 영역에 탄소섬유판을 보의 상단면과 하단면에 각각 2장씩 보강하고 접합면에 집중되는 균열과 콘크리트 탈락현상을 보강하기 위해 앵글과 탄소섬유 슈트를 기둥에 보강한 실험체 RPC-CP2의 경우, 변위연성 1에서 보의 보강면 상부에 휩균열이 발생하였고, 변위연성 2에서는 접합부 균열이 발생하였다. 그리고 변위연성 3에서는 보면에 부착한 탄소판이 탈락현상이 발견되었고 보-기둥 접합부 영역의 대각균열이 발생하였으며, 변위연성 4에서는 탄소판의 완전 탈락과 함께 앵글 양카볼트 주변으로 콘크리트가 박리되기 시작하였다. 변위연성 5, 6에서는 접합부 부분 콘크리트가 완전 탈락이 되었다. 최대하중은 변위연성 3에서 3.20tonf으로 나타났으며, 그 이후 내력의 감소폭이 크게 나타났다.

탄소섬유봉(Rod)을 보의 상단면과 하단면에 각각 2개씩 보강하고 보와 기둥면을 탄소섬유슈트로 감싼 실험체 RPC-CR의 경우, 변위연성 1에서 보의 보강면 상부에 휩균열이 발생하였고, 변위연성 2에서는 접합부에 초기 미세균열이 발생하였으며, 기둥 보-기둥 접합부 영역에 대각균열이 일어났다. 변위연성 3에서는 접합부에 균열이 증가하면서 접합부 부분의 탄소섬유 슈트가 찢어지기 시작하였다. 그리고 변위연성 4에서는 접합부의 콘크리트에 탈락현상이 발생하였다. 변위연성 5, 6에서는 접합부 부분에 콘크리트가 완전탈락이 일어났다. 최대하중은 변위연성 3에서 3.19tonf으로 나타났으며 최대하중 이후 내력의 감소폭이 크게 나타났다.

3.3.3 보-기둥 접합부영역 보강(RJC-CP, RJC-CR)

보-기둥 접합부영역에 신소재를 보강하여 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선할 목적으로 제작한 실험체 RJC 시리즈의 경우, 반복하중 가력시 보-기둥 접합부의 균열 억제 및 콘크리트의 탈락 현상을 막고, 소성힌지를 보의 내부로 이동시키는 강기둥-약보(strong column-weak beam)의 연성골조형식을 유도하고, 접합부 영역을 구속하게 된다. 실험체 RJC 시리즈의 경우 초기 재하시에는 보강 영역 밖에서 휩 균열이 다수 발생하였으며, 변위연성이 증가할수록 보강재와 콘크리트 면과의 접합부분의 접촉재 탈락 현상이 발생하였다.

이후 반복하중이 점점 증가할수록 보강재의 탈락과 함께 보와 기둥의 접합면 및 접합부 영역의 콘크리트에 균열이 발생하였고, 재하 후반부에는 콘크리트 파손으로 최종 파괴에 도달하였다.

보-기둥 접합부영역에 탄소섬유판을 1점으로 보강하고 구속효과를 얻기 위해 탄소섬유판 위에 탄소섬유 슈트를 감싼 실험체 RJC-CP의 경우, 변위연성 1에서 보 상부에 초기 휩 균열이 발생하였다. 변위연성 2에서는 보 상부 휩균열이 계속 진행되었고 접합면에서 탄소섬유슈트 일부분에 균열이

발생되었다. 그리고 변위연성 3에서는 접합면 주위 탄소섬유관의 탈락현상이 나타났으며 접합면에 균열이 진행되었고 변위연성 4에서는 접합부 균열이 증가되었고, 변위연성 5에서 접합면의 균열을 따라 최종 파괴현상으로 이어졌다. 최대하중은 변위연성 3에서 3.56tonf으로 나타났으며 그 이후, 내력저하 현상은 미소하게 진전되었다.

탄소섬유봉(Rod)을 보의 상단면과 하단면에 각각 2개씩 보강하고 보-기둥 접합부영역에 탄소섬유 슈트를 1점으로 감싼 실험체 RJC-CR의 경우, 변위연성 1에서 보 상부에 초기 휨균열이 발생하였다. 변위연성 2에서는 접합면에서 탄소섬유 슈트의 일부분에 균열이 발생되었다. 변위연성 3에서는 접합면을 따라 탄소섬유 슈트의 균열폭이 증가되면서 탄소섬유 슈트 내부 콘크리트가 박리되어 탈락현상이 발생하였다. 변위연성 4이후 접합면의 균열을 따라 최종 파괴현상으로 이어졌다. 최대하중은 변위연성 3에서 3.87tonf으로 나타났으며 그 이후, 내력은 점점 감소하였다.

3.4 최대내력 및 강성변화 특성

기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선하기 위하여 보-기둥 접합부의 보강 시스템 즉, 소성힌지영역 보강 및 보-기둥 접합부영역 보강 실험체를 제작하여 구조성능 평가를 실시하여 구한 그림 8~그림 10의 각 실험체의 이력거동 및 실험진행 중의 균열상태를 근거로 각 실험체의 강성변화에 따른 일반적인 특성은 다음과 같다.

우선, 각 실험체의 강성은 반복 주기하중이 작용하는 동안 반복 회수가 증가할수록 점차 감소하였다. 이러한 강성감소의 주요 원인은 접합부 영역 및 인접 콘크리트의 활열, 기둥 철근의 슬립 및 보 철근의 뺨힘 때문으로 판단된다.

그리고, 반복 주기하중이 작용하는 동안 변위가 0에 가까울 때 각 실험체의 강성은 더욱 작았다. 이러한 강성 손실의 원인은 기둥면에 발생한 균열이 완전히 닫히지 않은 때문이었다. 그리고, 반복 주기하중을 받을 때 각 실험체의 강도변화 특성을 비교하기 위하여 변위연성(displacement ductility)과 각 실험체의 강도와의 관계를 그림 11에 나타내었다. 그림 11을 고찰하면 변위연성의 수준에 따라 각 실험체의 강도변화 특성을 정확히 파악할 수 있다.

표준 실험체 SCC 및 대부분의 보강 실험체는 변위연성 2 또는 3 정도에서 최대 내력이 도달하였고, 소성힌지 영역 및 보-기둥 접합부 영역의 보강방법, 보강재료 등에 따라 변위연성별 내력 변화가 발생함을 알 수 있었다. 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선하기 위하여 보의 소성힌지 영역을 보강한 실험체RPC 시리즈는 표준 실험체 SCC와 비교하여 최대내력은 미소하게 증가하였다. 그리고, 보-기둥 접합부 영역 보강 실험체 RJC 시리즈는 표준 실험체 SCC와 비교하여 최대 내력은 9~25% 증가하였으며 특히, 탄소섬유봉을 충분히 정착하고 보, 기둥 및 접합부 영역의 구속 효과에 따라 변위연성 3에서 최대내력이 25% 증가하였다.

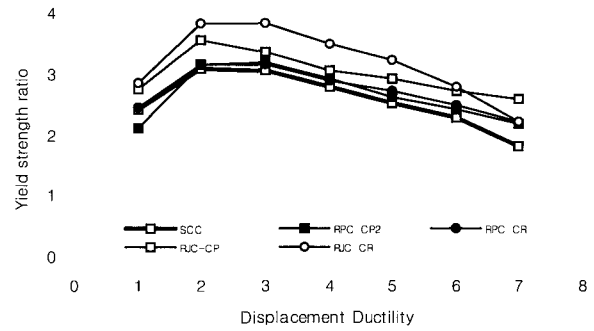


그림 11 각 실험체의 변위연성별 최대내력 비교

3.5 에너지 소산능력

반복 주기하중을 받을 때 각 실험체의 에너지 소산능력을 평가하기 위하여 그림 8~그림 10의 이력거동 곡선을 비교하였다. 본 연구에서는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 보강재료, 보강방법, 보강영역에 따라 그림 12~그림 13에서와 같이 각 실험체의 에너지 소산능력은 큰 차이를 나타내었다.

기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부를 신소재(탄소섬유관, 탄소섬유봉, 탄소섬유슈트)를 이용하여 보강한 결과 이력거동 곡선을 고찰하여 보면 소성힌지영역 보강의 경우 및 보-기둥 접합부영역 보강의 경우 재하 후반부 연성능력과 내력이 크게 증대하였고, 에너지 소산능력이 매우 향상됨을 알 수 있었다.

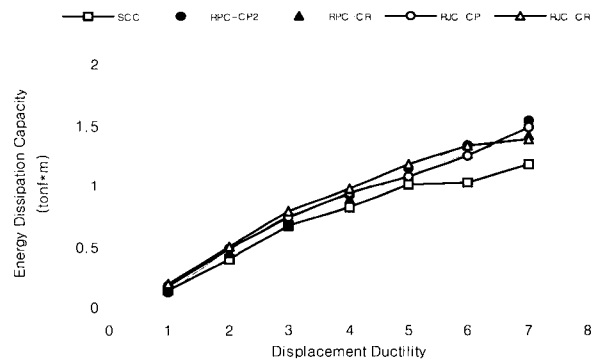


그림 12 각 실험체의 변위연성별 에너지 소산능력 비교

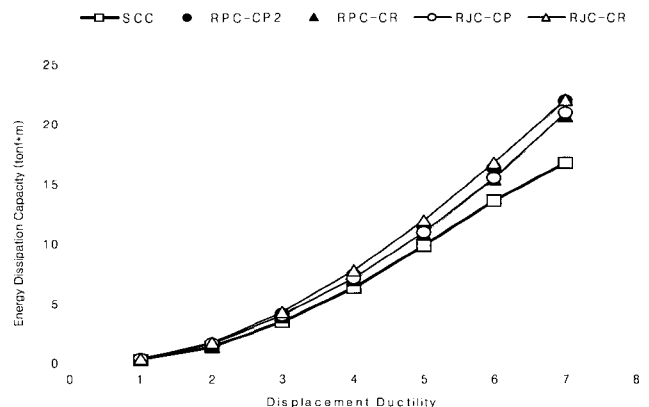


그림 13 각 실험체의 변위연성별 누적에너지 소산능력 비교

3.6 보의 신장

각 실험체의 기둥면에서 보의 유효높이의 범위에 걸친 보의 신장(elongation)을 측정하였다. 반복 주기하중이 작용하는 동안 보의 상부근 및 하부근은 교대로 인장을 받게 된다. 그림 14를 통하여 변위연성별 보의 소성힌지 영역의 신장을 파악할 수 있으며, 이는 보-기둥 접합부 및 보의 소성힌지 영역의 파괴형태와 밀접한 관계가 있으므로 각 실험체의 파괴형태를 더 잘 고찰할 수 있다.

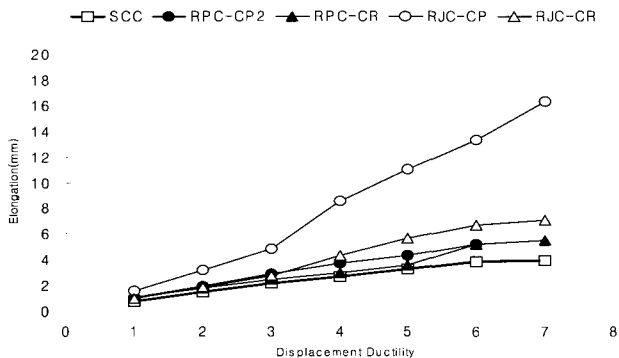


그림 14 각 실험체의 보의 소성힌지 부분의 신장비교

3.7 철근의 슬립

진하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 강성저하의 주요 원인은 접합부를 통한 기둥 철근의 슬립 및 접합부 내의 보 주근의 뿔힘이므로 보와 기둥의 철근은 부착응력을 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 접합부에 균열이 형성되면 접합부의 콘크리트와 접합부에 정착된 보 주근 사이의 부착에 대한 저항능력을 크게 상실하게 한다. 보-기둥 접합부에서 낮은 전단응력을 갖거나, 큰 휨강도비를 갖는 경우 접합부에서 떨어진 보에 소성힌지를 형성하게 되므로 보 주근의 뿔힘은 초기에는 발생하지 않는다.

본 연구에서는 사용된 보 철근의 뿔힘을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 사용하였다. 실험체가 받는 최대변위는 각 사이클마다 증가하였다. 각 실험체의 보 및 기둥의 주근의 변형도는 그림 15 및 그림 16과 같다.

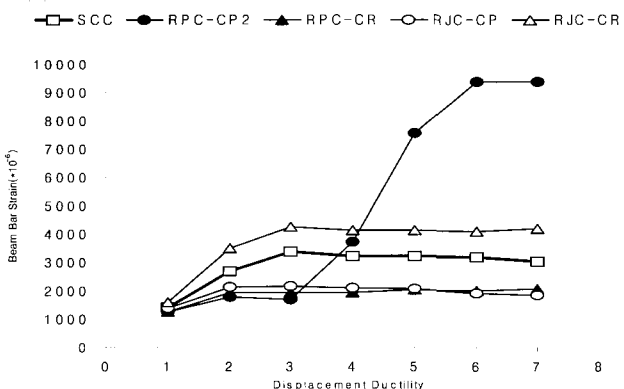


그림 15 각 실험체의 변위 연성별 보 주근의 변형도 비교

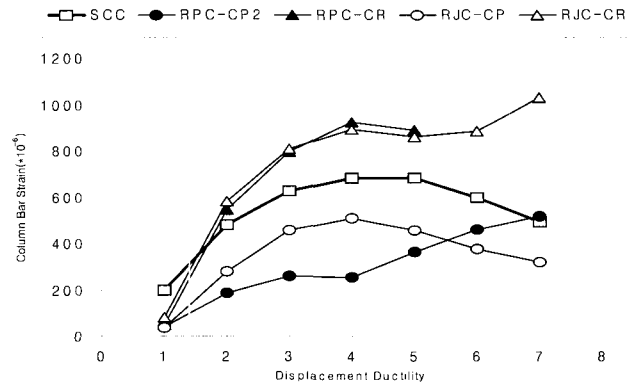


그림 16 각 실험체의 변위연성별 기둥 주근의 변형도 비교

4. 결 론

본 연구에서는 기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선하기 위하여 신소재(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유슈트)를 사용하여 보의 소성힌지 영역 및 보-기둥 접합부영역을 보강한 총 5개의 실험체를 제작하고 실험을 수행하여 구조성능을 평가하였으며, 본 연구의 실험결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (가) 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 소성힌지영역(RPC 시리즈) 및 보-기둥 접합부영역(RJC 시리즈)를 보강한 결과 소성힌지영역 보강 실험체 RPC 시리즈의 경우 초기 재하 시 소성힌지 영역의 균열 억제 효과가 있었으나, 재하 후반부에는 표준 실험체 SCC와 유사하게 접합부 판넬 영역에 다수의 균열이 발생하였다. 그러나 보-기둥 접합부영역 보강 실험체 RJC 시리즈의 경우 재하 전 과정을 통하여 보강재의 구속효과로 인하여 균열 억제 효과가 커서 안정적인 파괴 형태를 나타내었다.
- (나) 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 및 내진성능을 개선하기 위하여 보의 소성힌지영역을 보강한 실험체 RPC 시리즈는 표준 실험체 SCC와 비교하여 최대내력은 미소하게 증가하였다. 그리고, 보-기둥 접합부영역 보강 실험체 RJC 시리즈는 표준 실험체 SCC와 비교하여 최대내력은 탄소섬유판, 탄소섬유봉 순으로 9~25% 증가하였으며 특히 탄소섬유봉을 충분히 정착하고 보, 기둥 및 접합부 영역의 구속 효과에 따라 변위연성 3에서 최대내력이 25% 증가하였으며, 향후 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력 및 연성능력 개선을 위한 보강 시 타 보강방법에 비하여 훨씬 우수하므로 이를 적극 활용하는 것이 좋을 것으로 사료된다.
- (다) 기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부를 신소재(탄소섬유판, 탄소섬유봉, 탄소섬유슈트)를 이용하여 보강한 결과 이력거동 곡선을 고찰하여 보면 소성힌지영역 보강 실험체의 경우 에너지 소산능력이 증대하였으며, 보-기둥 접합부영역 보강 실험체의 경우 연성 및 내력이 크게 증대하였고, 진하중 작용시 에너지 소산능력이 향상됨을 알 수 있었다.

(라) 기존 철근콘크리트 건물의 사용성과 내력증진 및 내진 성능을 개선하기 위하여 보의 소성힌지 영역과 보-기둥 접합부 영역의 보강을 통하여 적정 보강재료 및 보강공법을 적용하면 균열 억제 및 내력, 연성능력 등을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 하기주 외 3인, “고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 이력거동 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 제8권, 제9호, 1992. 9, pp. 231-240.
2. 하기주 외 2인, “고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 개선에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 1992. 3, pp. 135-145.
3. 하기주 외 2인, “반복하중을 받는 강섬유보강 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 평가 및 개선”, 대한건축학회 연합논문집, 제 3권 4호(통권 9호), 2001. 11, pp. 133-138.
4. 하기주 외 4인 “초고층 철근콘크리트 건물에 적용 가능한 보-기둥 접합부의 내진성능 개선 기술 개발”, 한국구조물진단학회 가을학술발표대회논문집, 제5권, 제2호, 2001. 11.
5. 이리형 외 2인, “수직앵커형 중간철근으로 보강된 고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 소성힌지 확산”, 한국콘크리트학회지, 제7권, 제4호, 1995. 8, pp. 169-179.
6. ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures,” *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 82, No. 3, 1985. 5-6, pp. 266-283.
7. ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures,” *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 82, No. 3, 1985. 5-6, pp. 266-283.
8. Bertero, V. V. and Popov, E. P., *Seismic Behavior of Ductile Moment Resisting Reinforced Concrete Frames*, ACI-Publication, SP-53, Detroit, 1977, pp. 247-292.
9. Uzumeri, S. M. and Seckin, M., *Behavior of Reinforced Concrete Beam-Column Joints Subjected to Slow Load Reversals*, Publication No. 74-05, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 1974. 3, p. 84.