

매입형 CFRP Rod와 CFRP시트를 활용한 RC 외부 보-기둥 접합부의 내진성능 평가 및 개선

Improvement and Evaluation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Exterior Beam-Column Joints using Embedded CFRP Rods and CFRP Sheets

하 기 주¹⁾

Gee-Joo Ha

강 현 옥^{2)*}

Hyun-Wook Kang

Abstract

In this study, experimental research was carried out to evaluate and improve the seismic performance of reinforced concrete beam-column joint regions using strengthening materials (embedded CFRP rod and CFRP sheet) in existing reinforced concrete building. Therefore it was constructed and tested six specimens retrofitting the beam-column joint regions using such retrofitting materials.

Specimens, designed by retrofitting the beam-column joint regions of existing reinforced concrete building, were showed the stable failure mode and increase of load-carrying capacity due to the effect of crack control at the times of initial loading and confinement of retrofitting materials during testing.

Specimens RBCJ-SRC2, designed by the retrofitting of CFRP Rod and CFRP Sheet in reinforced beam-column joint regions were increased its maximum load carrying capacity by 1.97 times and its energy dissipation capacity by 2.08 times in comparison with standard specimen RBCJ for a displacement ductility of 4 and 7. Also, specimens RBCJ-SRC2 were increased its maximum load carrying capacity by 1.09~1.11 times in comparison with specimen RBCJ-SR series. And Specimens RBCJ-CS, RBCJ-SR series, RBCJ-SRC2 were increased its energy dissipation capacity by 1.10~2.30 times in comparison with standard specimen RBCJ for a displacement ductility of 5, 6.

Keywords : Embedded CFRP rod, CFRP sheet, Beam-column joint, Seismic performance, Retrofitting, Improvement

1. 서 론

최근 철근콘크리트 구조물은 시간이 지남에 따라 구조물의 노후화와 환경적, 재료적, 구조적 요인으로 인하여 내력, 내구성 등이 저하되고, 설계 기준의 변경, 시공적인 원인에 따른 구조성능의 개선이 요구되고 있다. 특히, 철근콘크리트 구조물이 지진하중을 받을 때 단위 부재요소보다는 보-기둥 접합부가 더 취약하고 응력부담이 높은 것으로 보고되고 있다. 이를 보완하기 위해 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 개선을 위한 보강기술 및 설계상세에 대한 국내외의 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서, 기존 철근콘크리트 구조물의 구조안전성 확보 및 구조성능 개선을 도모하

고 구조물의 사용수명과 활용가치를 높이기 위하여 적정 보강기술 및 재료를 사용하여 기존 구조물을 보강하여야 할 것으로 판단된다 (Ha et al., 2011).

그리고 현재 국산화된 보강재료 및 공법을 도입한 철근콘크리트 구조물의 구조성능 개선기술에 대한 연구는 초기단계에 있으나, 선진국의 경우 기존의 노후화된 철근콘크리트 구조물의 유지관리, 보수·보강 재료 및 공법 개발과 손상된 구조물의 구성 단위부재 및 접합부의 내진성능 개선을 위한 기술 개발을 통한 기존 철근콘크리트 구조물의 성능회복 및 성능개선이 주를 이루고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 기존 철근콘크리트 외부 보-기둥

1) 정희원, 경일대학교 건축학부 교수, 사)건설기술정책연구원 원장, 공학박사
2) 정희원, 건축학부 박사수료, 사)건설기술정책연구원 연구원, 교신저자

* Corresponding author : hyunoopy@nate.com

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2014년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

접합부의 내진성능을 개선하기 위하여 외부 보-기둥 접합부 영역을 매입형 CFRP Rod와 CFRP시트를 이용하여 보강한 후 내진성능 평가 및 개선을 도모하고, 구조물의 안전성을 확보하고자 한다. 또한, 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조성능 개선을 위하여 보강재료 (매입형 CFRP Rod, CFRP시트), 시공성을 고려한 보강방법 등을 주요 실험변수로 한 고성능 철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부 보강시스템의 내진성능을 평가하여 실험변수에 따른 효과를 비교·분석하여 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력증진 및 내진성능 향상을 위한 새로운 보강 설계개념을 정립하고자 한다.

2. 매입형 CFRP Rod와 CFRP시트를 활용한 RC 외부 보-기둥 접합부의 구조성능 실험

2.1 매입형 CFRP Rod

매입형 FRP봉 보강공법은 Fig. 1과 같이 기존 철근콘크리트 구조물에 홈을 파서 보강재를 매입함으로써 보강재의 탈락현상을 방지하고 충분한 부착성능 확보와 구조물과 보강재의 완전 일체화되는 효과가 뛰어나므로 기존 보강공법에 비하여 구조성능의 개선은 물론이고 시공과 품질관리가 용이하고, 보강후 구조물의 고내구성을 확보할 수 있으며, 또한 보강재의 국산화로 수입산 보강재를 이용한 기존 탄소섬유 보강공법보다 경제성이 우수하므로 고성능 매입형 FRP봉 보강공법은 기존 보강공법의 문제점을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

2.2 실험체의 형태 및 변수

반복주기하중을 받는 철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부

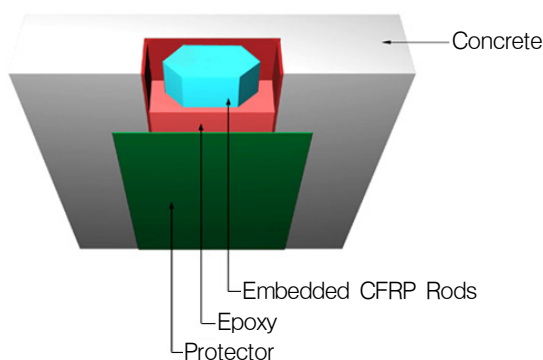


Fig. 1 Reinforcement construction method of Embedded CFRP Rod

및 신소재 (매입형 CFRP Rod, CFRP시트)를 이용한 철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부의 내진성능을 평가하기 위하여 실제 구조물의 1/2정도의 크기로 축소된 외부 보-기둥 접합부 형태의 6개 실험체를 제작하였다. 접합부의 설계는 ACI Building code (318-11) 및 ACI-ASCE 352위원회의 권장안에 따라 설계되었고, 표준적인 보-기둥 접합부 및 신소재로 보강한 보-기둥 접합부의 설계상세는 Fig. 2에 나타나 있으며, 각 실험체의 상세는 Table 1과 같다.

2.3 사용재료 특성

본 연구에 사용된 콘크리트는 보통포틀랜드 시멘트와 최대 골재크기가 25mm인 쇄석골재를 사용하였으며, 철근은 국내에서 생산된 SD400 철근이 사용되었으며, 철근의 재료 특성은 Table 2와 같다.

콘크리트의 배합표는 Table 3과 같다. 각 실험체는 콘크리트 타설과 함께 압축강도용 공시체를 제작하였다. 압축강도 실험용 원주형 공시체는 $\phi 100 \times 200$ mm 몰드를 사용하여 KS F 2405에 따라 몰드를 3개 층으로 나누어 각 층을 25회씩 붓다짐하여 제작하였고, 재령 28일까지 수중양생을 실시하였다. 그리고 100ton용량의 U.T.M으로 압축강도 시험을 하였다. Table 4에 나타난 콘크리트 압축강도는 5개의 공시체의 실험결과에 대한 평균값이다.

그리고, 사용된 CFRP시트, 매입형 CFRP Rod와 접착용 수지의 재료 특성 및 역학적 성질을 Table 5~Table 8과 같다.

2.4 실험방법 및 장치

본 연구는 보-기둥 접합부용 프레임을 제작하여 설치하였으며, 실험체의 설치상황과 각종 시험기기 및 장치는 Fig. 3과 같다. 실험체에 작용하는 하중제어를 위하여 서보시스템을 사용하였으며 실험체는 Fig. 3과 같이 실험을 위한 프레임에 기둥 부분을 수평으로 눕혀서 설치하였다. 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 거동을 파악하기 위하여 6개의 실험체에 기둥의 허용 축하중 (balanced axial load)의 30%를 기둥에 일정하게 가력하였다. 그리고 보의 변곡점에 로드셀을 부착한 유압 서보 액츄에이터를 사용하여 변위제어에 의해 반복주기하중을 작용시켰다. 반복주기하중의 형태는 Fig. 4와 같다. 반복주기하중의 주기는 전 실험체를 T=70sec로 하였으며 반복회수는 2Cycle로 최대수평하중에 도달한 이후 최대하중이 80%이하로 떨어질 때까지 변위를 증가시키며 반

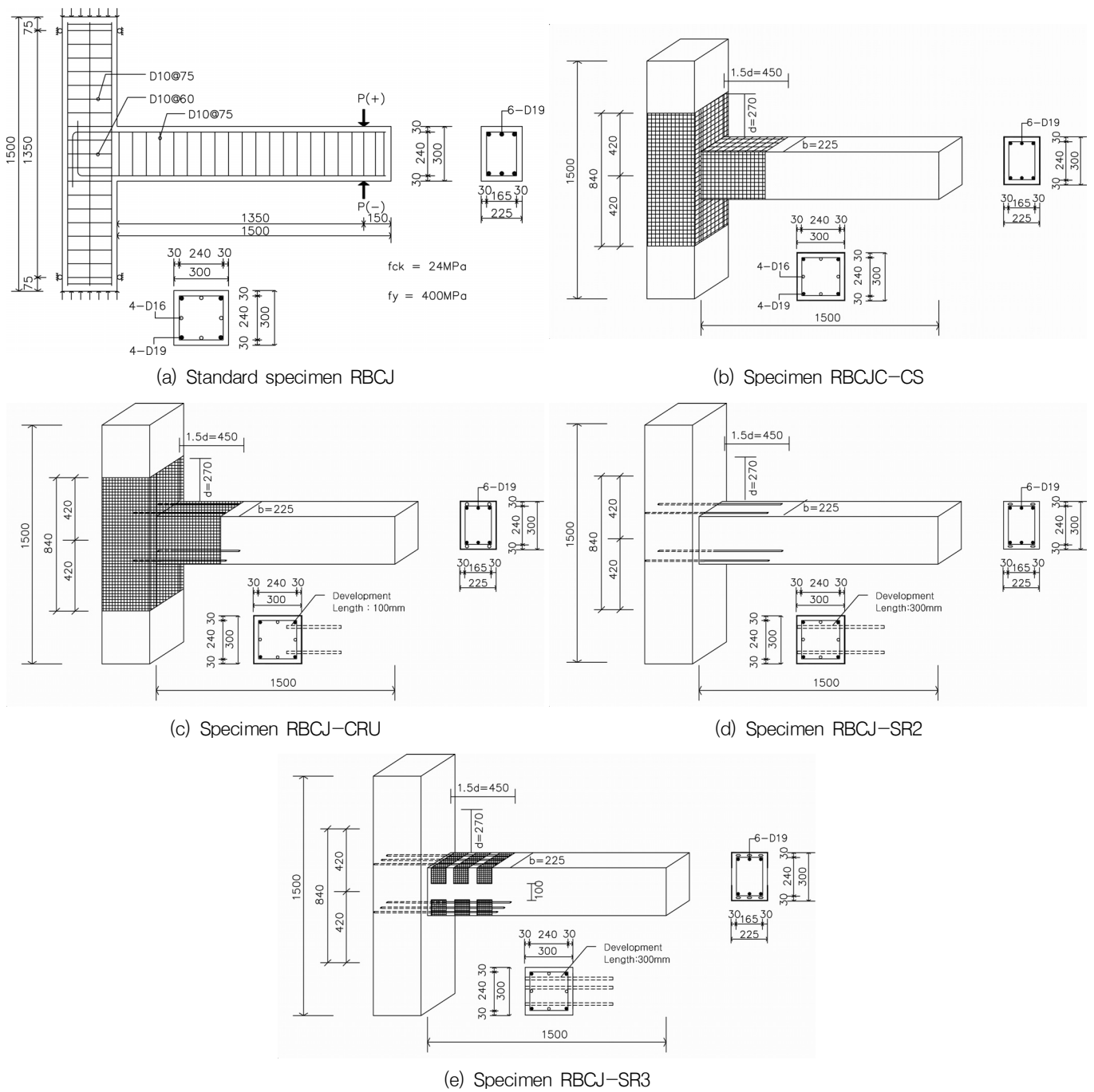


Fig. 2 Details of specimen (unit: mm)

복가력을 실시하였다. 변위연성은 각 사이클의 종료시 변위에 대한 실험체의 항복변위의 비로 정의하고 항복변위는 단조하중 작용시 기동면의 보 주근이 항복하였을때의 하중 작용점의 변위로 정의하였다 (Ha et al., 2011).

3. 매입형 CFRP Rod와 CFRP시트를 활용한 RC 외부 보-기둥 접합부의 내진성능 평가

3.1 이력거동 특성

지진 지역에서 철근콘크리트 구조물의 설계 및 해석을 위하여 비탄성 범위에서 부재의 특성, 즉 부재의 연성, 에너지

Table 1 Design parameters of test specimens

Specimen	Loding Type	Reinforced Region	Design Methods and Parameter
RBCJ	Cyclic loding (T=70sec)	None	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation of structural performance • ACI Building Code • ACI-ASCE 352 Recommendation
RBCJ-CS		Beam - Column joints region beam plastic hinge zone	• CFRP Sheet
RBCJ-CRU			<ul style="list-style-type: none"> • CFRP Sheet and Embedded CFRP rods(Two rods) (top and bottom of beam) • Development length: 100mm
RBCJ-SR2			<ul style="list-style-type: none"> • Embedded CFRP rods(Two rods) (top and bottom of beam) • Development length: 300mm
RBCJ-SR3			<ul style="list-style-type: none"> • Embedded CFRP rods (Three rods) (top and bottom of beam) • Development length: 300mm
RBCJ-SRC2	<ul style="list-style-type: none"> • CFRP Sheet and Embedded CFRP rods(Two rods) (top and bottom of beam) • Development length: 300mm 		

Table 2 Material properties of Reinforcing Bar

Bar Size	Yield strength		Maximum Strength		Ec (Mpa)	Extensibility (%)
	f_y (MPa)	ϵ_y	σ_y (MPa)	ϵ_{max}		
D10	478.8	0.00237	605.7	0.198	2.1×10^5	29.3
D16	464.7	0.00236	600.4	0.283	2.0×10^5	29.6
D19	473.8	0.00229	614.9	0.279	2.0×10^5	29.6

Table 3 Mix Proportion of Concrete

Compressive strength (MPa)	W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight (kg/m ³)				Slump (cm)
			Cement	Water	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	
27.3	52	49.1	363	172	643	906	150

Table 4 Test Result of Concrete Strength

Age at Loading	Slump (mm)	Compressive Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)
28 day	150	27.3	21

Table 5 Material Properties of CFRP Sheet

Index	Weight (g/m ²)	Specific Gravity (g/cm ³)	Thickness (mm)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Elastic Ratio (MPa)	Damage Strain Ratio (%)
Average	200	1.82	0.11	2,286	198,869	1.11

Table 6 Material Properties of CFRP Rod

Index	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Damage Strain Ratio (%)
Average	2,296	198,785	0.32	1.11

Table 7 Material Properties of Resin of CFRP Sheet

Index	Available Temperature (°C)	Available Time (min)	Drying Time (hours)	Curing Time (day)	Base Resin : Hardener	Visco-sity	Spec
Primer	15~25	60	9	-	10 : 5	1200 less	solvent free
Impreg-nation Resin	15~25	60	-	7	10 : 5	3000 ~ 5000	solvent free

Table 8 Material Properties of Resin of CFRP Rod

Index	Available Temperature (°C)	Available Time (min)	Drying Time (hours)
Epoxy	5~25	40 (35°C)	30 (35°C)

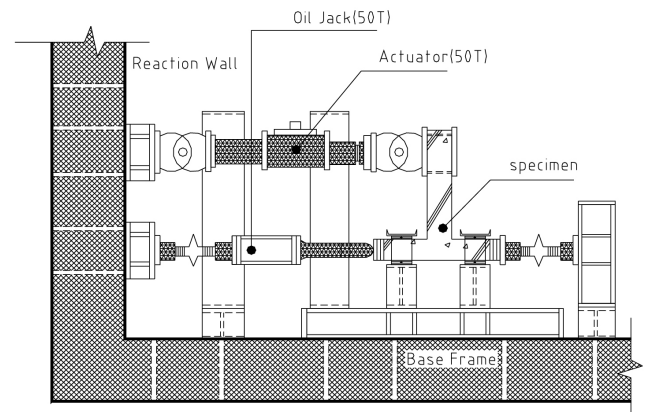


Fig. 3 Test setup of test specimen

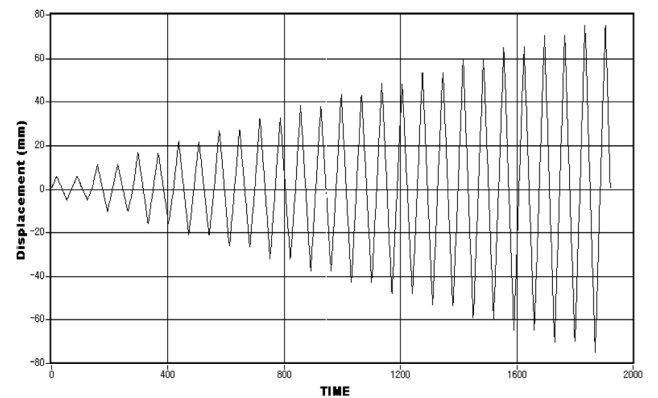


Fig. 4 Loding history

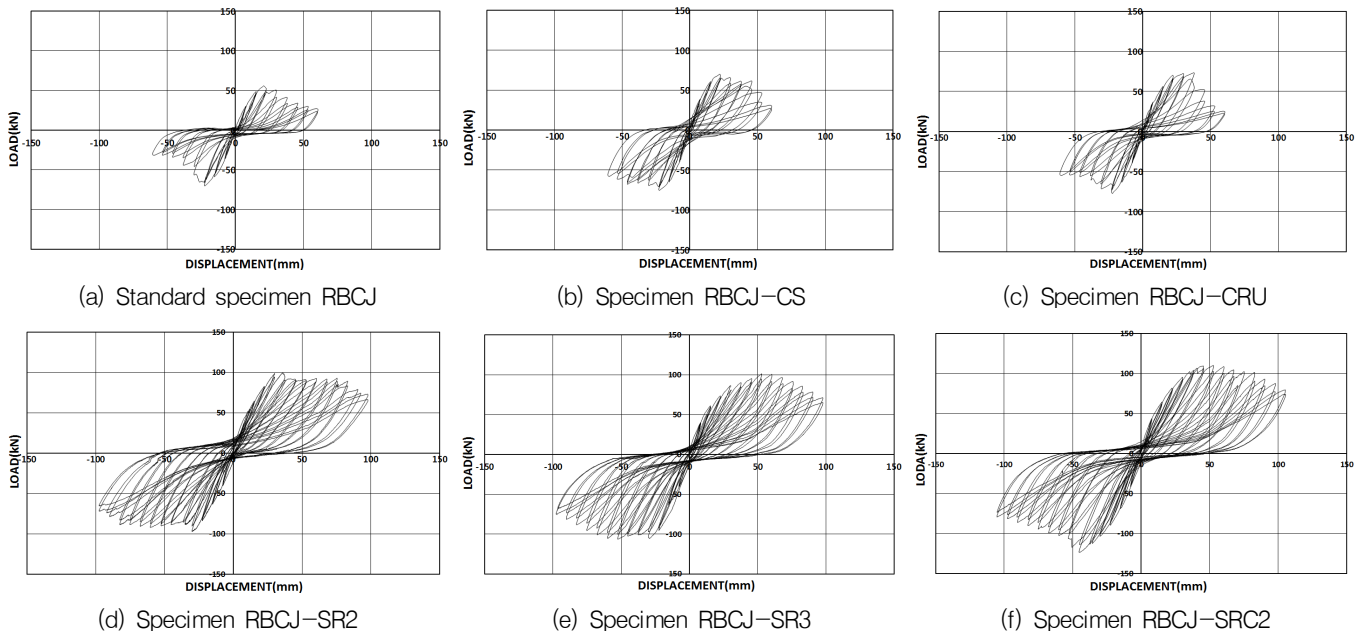


Fig. 5 Load-displacement relationship of each specimen

소산능력, 강성저하 등을 파악하여야 하며, 이를 위해서 부재의 이력거동 특성을 정확히 규명하여야 한다 (Ha et al., 2011).

기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 접합부영역보강 실험체 (RBCJ-SR 시리즈, RBCJ-SRC2)의 경우 Fig. 5(a)~(f)의 이력거동 특성을 고찰하여 보면 강도 및 에너지소산능력이 표준 철근콘크리트 보-기둥 접합부 실험체 RBCJ와 RBCJ-CS에 비하여 훨씬 증대하여 내진성능이 현저히 개선됨을 알 수 있다.

3.2 파괴형태

3.2.1 표준실험체

표준실험체 RBCJ는 Fig. 6(a)와 같이 재하 전반부에 보-기둥 접합면에서 보의 내측으로 매우 넓은 영역까지 균열이 분포하였고, 재하 후반부에는 보-기둥 접합면과 보춤만큼 떨어진 부분 즉, 위험단면영역 1.5D 이내에서 균열과 콘크리트 탈락이 집중되었다. 초기균열은 변위연성 1에서 발생하였고, 변위연성 2에서는 보 상부와 접합부 부근에 균열폭이 증가하였다. 최대하중이후에 보-기둥 접합부영역의 대각균열이 나타났고, 변위연성 4, 5에서 접합부 균열이 집중되어 균열폭이 더욱 증가하고 보-기둥 접합부영역의 대각균열은 미소하게 증가되었다. 그리고, 접합면에는 콘크리트피복이 박리가 되기 시작하였고, 변위연성 6이후에 피복콘크리트 탈락 현상이 일어나면서 최종파괴에 이르렀다.

3.2.2 철근콘크리트 보-기둥 접합부영역 보강 실험체

실험체 RBCJ-CS는 Fig. 6(b)와 같이 초기 휨균열이 접합면 상부에서 발생하였고, 변위연성 2에서 CFRP시트가 콘크리트에서 탈락하기 시작하였다. 변위연성 3~6에서 CFRP시트가 파단되기 시작하여 완전하게 파단이 일어나면서 내력이 저하되어 최종파괴 되었다. 최종 파괴전까지 콘크리트면과의 부착강도가 확보되어 최대내력 이후 연성적으로 거동함을 알 수 있었다.

실험체 RBCJ-CRU는 Fig. 6(c)와 같이 예폭시의 균열이 변위연성 2에서 발생하였고, 변위연성 5에서 최대내력 이후에 CFRP시트의 박리현상이 일어나면서 내력이 급격히 감소하였다. 이는 모재와 CFRP시트 부착면이 박리, 탈락되면서 최대내력이후, 매입형 CFRP Rod도 모재의 부착이 탈락되어 인접 콘크리트가 파쇄하면서 최종 파괴되었다.

실험체 RBCJ-SR2는 Fig. 6(d)와 같이 변위연성 2에서 초기 휨균열과 접합면에 균열이 발생하였으며, 변위연성 3에서 기둥에 사인장균열이 발생하였다. 그리고 변위연성 5에서는 최대내력에 도달하였고, 보의 상하부면에 매입형 CFRP Rod의 경계선을 따라 균열이 발생하면서 지속적인 가력과 함께 박리현상이 진전되었다. 변위연성 8 이후에 내력이 저하되고, 매입형 CFRP Rod의 단부 경계면을 따라 콘크리트의 박리와 함께 탈락되면서 최종적으로 파괴되었다. 그러나 접합부영역에는 균열의 폭이 크게 증가하지 않았으며, 접합부영역 파괴에 따른 손상은 미비하였다.

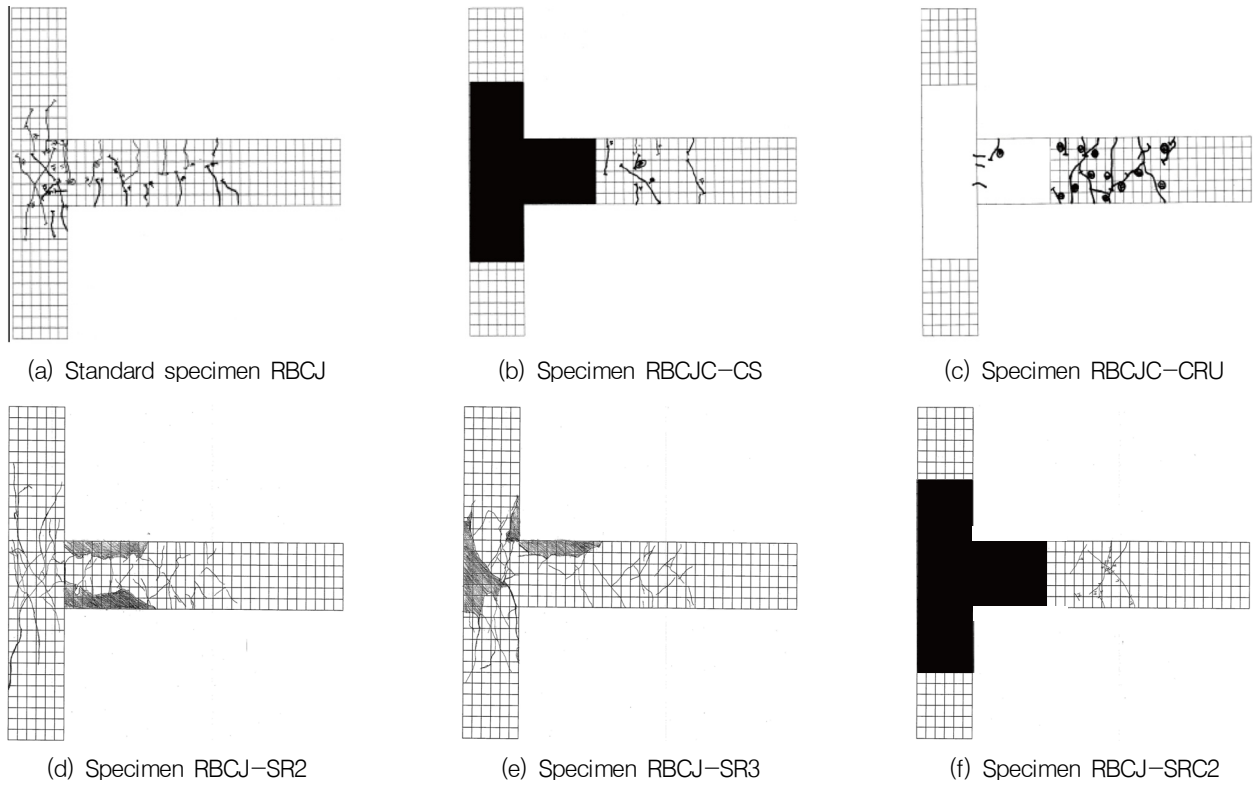


Fig. 6 Crack pattern and failure mode of each specimen

실험체 RBCJ-SR3는 Fig. 6(e)와 같이 변위연성 2에서 초기 균열과 접합면에 균열 발생하였으며, 변위연성 3에서는 매입형 CFRP Rod의 경계면에 균열과 CFRP시트와 매입형 CFRP Rod의 경계면에 파단현상이 나타났다. 변위연성 5에서는 단부 경계면에 생긴 균열이 발생되어 콘크리트가 박리되었지만 접합부영역에서는 균열의 폭과 균열의 수가 크게 증가하지 않았다. 변위연성 7에서는 최대내력을 나타내었고, 이후에 내력이 저하되었다. 최종파괴시, CFRP시트의 박리현상과 매입형 CFRP Rod의 단부 경계면에 콘크리트가 박리, 탈락되면서 최종파괴에 도달되었다.

실험체 RBCJ-SRC2는 Fig. 6(f)와 같이 초기 균열과 사인장 균열이 변위연성 2에서 발생하였다. 변위연성 6에서부터 보 단부에 응력이 집중되어 CFRP시트가 탈락되고, 변위연성 9에서는 CFRP시트가 파단되는 현상이 나타났다. 최대내력 이후에 하중증가에 따라 CFRP시트가 탈락, 파단되고 내력이 감소되면서 최종파괴 되었다. 하지만, 실험체 RBCJ-CR 시리즈와 다르게 CFRP시트가 보-기둥 접합부영역을 구속하고 매입형 CFRP Rod가 충분히 정착되어 단부 경계면을 따라 콘크리트의 박리 및 탈락이 발생되지 않았으며 연성적인 파괴형태를 나타냈다.

Table 9 Comparison of load-carrying capacity as a function of displacement ductility

Displacement ductility	RBCJ	RBCJ -CS	RBCJ -CRU	RBCJ -SR2	RBCJ -SR3	RBCJ -SRC2
1	30.27	38.90	36.64	54.80	38.70	43.90
2	48.65	60.84	56.17	64.80	61.20	64.50
3	55.91	70.30	70.21	83.20	73.60	82.10
4	50.63	65.75	72.34	99.10	86.50	95.50
5	41.69	61.27	73.01	99.70	90.20	104.20
7	33.75	61.36	52.08	92.40	95.50	109.70
8	29.36	47.29	31.91	91.60	101.30	110.30
9	27.25	31.27	25.47	92.90	100.70	108.80
10	-	-	-	92.10	96.70	104.80

3.3 강도변화 특성

표준실험체 RBCJ, RBCJ-CS는 Table 9 및 Fig. 7에서와 같이 변위연성 3, 실험체 RBCJ-CRU, RBCJ-SR2, RBCJ-SR3, RBCJ-SRC2는 변위연성 5 또는 7 정도에서 최대내력에 도달하였다. 보-기둥 접합부영역의 보강방법, 보강재료 등에 따라 변위연성별 내력변화가 발생함을 알 수 있었다.

실험체 RBCJ-SR 시리즈는 최대내력이 실험체 RBCJ-CS 보다 1.42~1.44배 증가하였다. 이는 매입형 CFRP Rod가 보

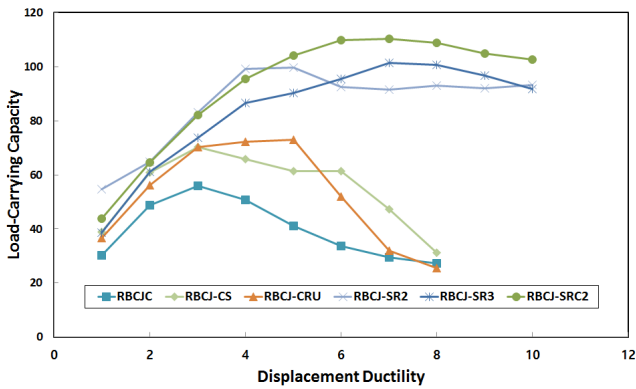


Fig. 7 Comparison of load-carrying capacity as a function of displacement ductility

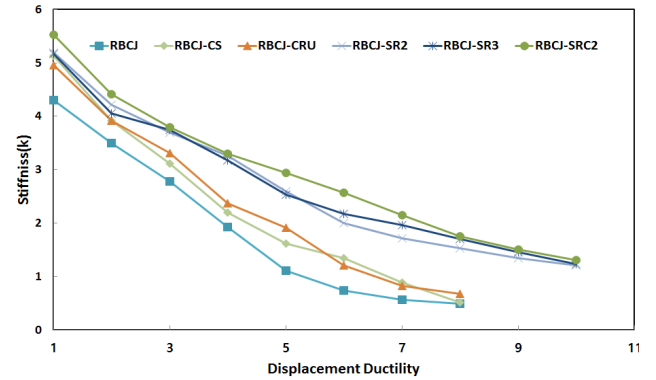


Fig. 9 Comparison of stiffness for each specimen at various displacement ductilities

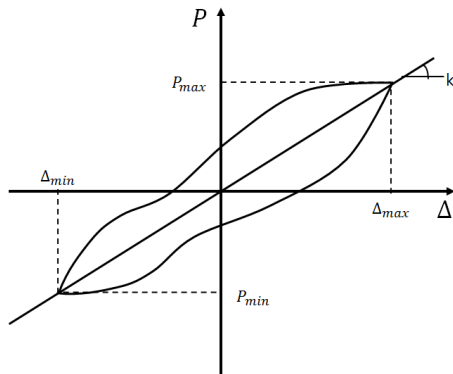


Fig. 8 Calculation of stiffness

-기동 접합부영역에 정착하여 보강한 것이 내력 증가에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

실험체 RBCJ-SRC2는 표준실험체 RBCJ와 비교하여 최대 내력은 1.97배 증가하였고, 실험체 RBCJ-CRU보다 1.51배 증가함을 나타냈다. 그리고 실험체 RBCJ-SR 시리즈보다 1.09~1.11배 내력이 증대한 것은 충분한 정착길이 및 콘크리트 구속효과가 원인인 것으로 판단된다.

3.4 강성변화 특성

각 실험체의 변위연성별 강성 (Stiffness, k)의 변화를 Fig. 7에 도시하였고, 실험체의 강성은 Fig. 8과 같은 방법으로 구하였다. 여기서 강성 k는 각 하중의 사이클에서 정방향과 부방향에서의 최대하중과 최대변위가 만나는 점의 기울기로 산정하였다 (Ha et al., 2011). 각 실험체의 강성은 반복횟수 하중이 작용하는 동안 반복횟수가 증가할수록 점차 감소하는 현상을 보이고 있다. 이러한 강성 감소의 주요 원인은 접

합부 영역의 콘크리트의 균열, 철근의 미끄러짐 등에 의한 것으로 사료된다.

초기강성은 표준실험체 RBCJ가 가장 작게 나타났으며, 실험체 RBCJ-CRU, RBCJ-CS, RBCJ-SR 시리즈, RBCJ-SRC2 순이며, 실험체 RBCJ-SRC2가 가장 우수한 것으로 나타났다. 그리고, 실험이 진행됨에 따라 초기강성의 약 10%까지 떨어졌으며 이러한 감소는 모든 실험체가 비슷한 양상을 보였다.

3.5 에너지 소산능력

철근콘크리트 구조물의 내진성능을 평가함에 있어 에너지 소산능력은 대단히 중요하며, 철근콘크리트 구조물의 설계시 높은 에너지 소산능력을 갖도록 설계되어야 한다. 일반적으로 에너지의 소산능력은 부재 또는 구조물의 이력거동 곡선으로 둘러싸인 면적에 의하여 산정된다.

철근콘크리트 구조물의 보-기동 접합부 영역을 CFRP시트, 매입형 CFRP Rod를 이용하여 보강한 실험체들의 실험 결과, 이력거동 곡선을 고찰하여 보면 재하 후반부 연성능력과 내력이 크게 증대하였고, 지진하중 작용시 에너지소산능력이 매우 향상됨을 알 수 있었다.

실험체 RBCJ-SR 시리즈의 경우 Fig. 10에서와 같이 실험체 RBCJ-CS와 비교하여 변위연성 7부터 최대 에너지소산능력이 증가하였다. 특히, 변위연성 7에서는 실험체 RBCJ-SR2는 실험체 RBCJ-CS보다 1.17배 증가하였다.

실험체 RBCJ-CS, RBCJ-SR 시리즈, RBCJ-SRC2는 표준실험체 RBCJ와 비교하여 에너지소산능력은 변위연성 5, 6에서 1.10~2.30배 증가하였다.

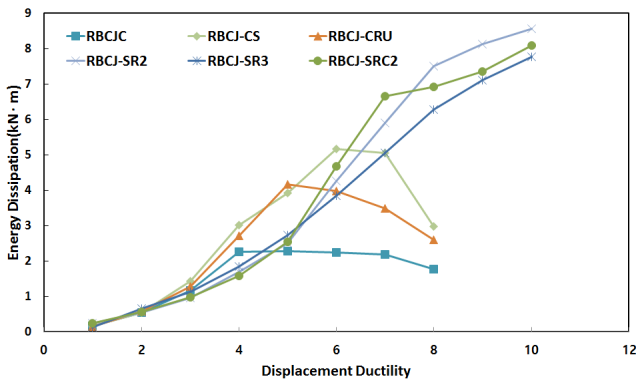


Fig. 10 Comparison of energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

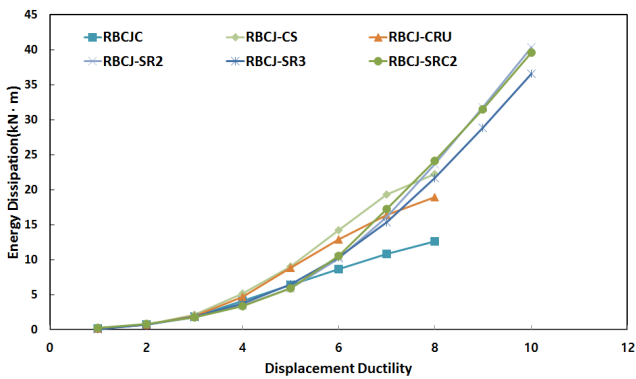


Fig. 11 Comparison of cumulative energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

4. 결론

본 연구에서는 기존 철근콘크리트 구조물의 보-기둥 접합부의 내진성능을 개선하기 위하여 신소재 (매입형 CFRP Rod, CFRP시트)를 사용하여 보-기둥 접합부영역을 보강한 총 6개의 실험체를 제작하고 실험을 수행하여 내진성능 평가에 관한 연구를 수행하였으며, 본 연구의 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 접합부영역을 보강한 결과 초기 재하시 접합부영역의 균열억제 효과와 재하 전 과정을 통하여 보강재의 구속효과로 통하여 균열 억제 효과가 커서 안정적인 파괴형태, 내력 및 연성능력 향상 효과를 나타내었다.
- (2) 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부를 신소재 (매입형 CFRP Rod, CFRP시트)를 이용하여 보강한 결과, 실험체 RBCJ-SR 시리즈는 최대내력이 실험체 RBCJ-CS보

다 1.42~1.44배 증가하였다. 이는 매입형 CFRP Rod가 보-기둥 접합부영역에 충분히 정착하여 보강한 것이 내력 증가에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

실험체 RBCJ-SRC2는 표준실험체 RBCJ와 비교하여 최대내력은 1.97배 증가하였고, 실험체 RBCJ-CRU보다 1.51배 증가함을 나타냈다. 그리고 실험체 RBCJ-SR 시리즈보다 1.09~1.11배 내력이 증대한 것은 충분한 정착길이 및 콘크리트 구속효과가 원인인 것으로 판단된다.

(3) 초기강성은 표준실험체 RBCJ가 가장 작게 나타났으며, 실험체 RBCJ-CRU, RBCJ-CS, RBCJ-SR 시리즈, RBCJ-SRC2 순이며, 실험체 RBCJ-SRC2가 가장 우수한 것으로 나타났다. 그리고, 실험이 진행됨에 따라 초기강성의 약 10%까지 떨어졌으며 이러한 감소는 모든 실험체가 비슷한 양상을 보였다.

(4) 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부를 신소재 (CFRP 시트, 매입형 CFRP Rod)를 이용하여 보강한 결과, 실험체 RBCJ-SR 시리즈의 경우, 실험체 RBCJ-CS와 비교하여 변위연성 7부터 최대 에너지소산능력이 증가하였다. 특히, 변위연성 7에서는 실험체 RBCJ-SR2는 실험체 RBCJ-CS보다 1.17배 증가하였다. 그리고 실험체 RBCJ-CS, RBCJ-SR 시리즈, RBCJ-SRC2는 표준 실험체 RBCJ와 비교하여 에너지소산능력은 변위연성 5, 6에서 1.10~2.30배 증가하였다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 : 2013-035205).

References

1. Abdel-Fattah, B., and Wight, K. (1987), Study of Moving Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Resistant Design of R/C Buildings, *ACI Journal, Proceedings*, 89(84-S4), 31-39.
2. ACI 318-11 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete) and Commentary (ACI 318-11), American Concrete Institute, Farmington Hills Michigan.
3. ACI-ASCE Committee 352, Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures, *ACI Journal, Proceedings*, 82(3), 266-283.
4. Cho, C. G., and Park, M. H. (2002), Finite Element Prediction of the Influence of Confinement on RC Beam-Columns under Single or Double Curvature Bendings,

-
- Engineering Structures, 25(12), 1525-1536.
5. Ha, G. J., Kim, J. K., and Chung, L., (1992), Response of Reinforced High-Strength Concrete Beam-Column Joints Under Load Reversals, *Magazine of Concrete Research*, 160, 175-184.
 6. Ha, G. J., Kim, J. K., Chung, L., (1992), Improvement of Earthquake-Resistant Performance of R/C Beam-Column Joint Constructed with High-Strength Concrete Subjected to Cyclic Loading, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 4(1), 135-145.
 7. Ha, G. J., Shin, J. H., Kang, H. W., (2011), Improvement and Evaluation of Seismic Performance for Reinforced Concrete Beam-Column Joints Using High Performance Embedded FRP, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 23(3), 385-392.
 8. Ha, G. J., Yang, J. K., Kim, J. K., Chung, L., (1992), Hysteretic Behavior of Reinforced High-strength Concrete Beam-Column Joint Under Load Reversals, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 8(9), 231-240.
 9. Park, Y. K., (2007), A Study on the Evaluation of Availability Adhesive Strengthening Method Using Carbon Fiber, Theses for Master's Degree, Cheongju University.
 10. Ryu, D. W., (2008), Flexural and Shear Design of RC Members Strengthened by FRP Jacket, Theses for Master's Degree, Kyungpook National University.

Received : 03/16/2014

Revised : 03/18/2014

Accepted : 04/04/2014

요 지

본 연구에서는 기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부의 내진성능의 개선을 위해 보-기둥 접합부 영역을 FRP보강재(매입형 CFRP Rod, CFRP시트)를 사용하여 보강한 후 내진성능을 평가하였다. 총 6개의 실험체를 제작하고 실험을 수행하여 내진성능을 평가하였으며, 본 연구의 실험결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다. 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 접합부 영역을 보강한 결과, 초기 재하시 접합부 영역의 균열억제 효과와 재하 전 과정을 통하여 보강재의 구속효과로 인하여 균열억제 효과가 커서 안정적인 파괴형태 및 내력향상 효과를 나타내었다.

매입형 CFRP Rod와 CFRP시트를 활용한 RC 외부 보-기둥 접합부 실험체 RBCJ-SRC2는 표준실험체 RBCJ와 비교하여 변위연성4, 7에서 각각 최대 내력은 1.97배, 에너지소산능력은 2.08배 증가하였다. 또한, 실험체 RBCJ-SR시리즈와 비교하여 최대내력이 1.09~1.11배 증가하였다. 그리고 실험체 RBCJ-CS, RBCJ-SR시리즈, RBCJ-SRC2는 변위연성 5, 6에서 표준실험체 RBCJ 보다 에너지소산능력이 1.10~2.30배 증가하였다. 그리고 에너지소산능력은 변위연성 4에서 13.0~14.4% 증가하였다.

핵심 용어 : 매입형 CFRP Rod, CFRP시트, 보-기둥 접합부, 내진성능, 보강, 개선