



고성능 FRP를 활용한 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진 성능 평가 및 개선

하기주^{1)*} · 신종학¹⁾ · 강현욱¹⁾

¹⁾경일대학교 건축학부

Improvement and Evaluation of Seismic Performance for Reinforced Concrete Beam-Column Joints Using High Performance Embedded FRP

Gee-Joo Ha,^{1)*} Jong-Hack Shin,¹⁾ and Hyun-Wook Kang¹⁾

¹⁾School of Architecture, Kyungil University, Kyeongsan 712-701, Korea

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 (steel plate, carbon fiber sheet, and embedded carbon fiber rod) in existing reinforced concrete buildings. Six specimens of retrofitted beam-column joints are constructed using various retrofitting materials and tested for their retrofit performances. Specimens designed by retrofitting the beam-column joint regions (LBCJ series) of existing reinforced concrete building showed a stable mode of failure and an increase in load-carrying capacity due to the effect of crack control at the time of initial loading and confinement from retrofitting materials during testing. Specimens of LBCJ series, designed by the retrofitting of FRP in reinforced beam-column joint regions increased its maximum load carrying capacity by 26~50% and its energy dissipation capacity by 13.0~14.4% when compared to standard specimen of LBCJC with a displacement ductility of 4.

Keywords : reinforced beam-column joint, high performance embedded carbon fiber rod, retrofitting, seismic-performance, improvement

1. 서 론

1.1 연구의 목적

철근콘크리트 구조물은 일반적으로 설계, 사용 재료, 시공 등이 적절하게 이루어지면 내구성이 우수하고 반영구적으로 사용이 가능하다. 그러나 철근콘크리트 구조물은 건설 후 각종 자연현상이나 인위적인 물리 작용, 화학적 물리적 변형과 설계 및 시공상의 품질 오차, 환경의 변화, 하중 조건의 변화 등에 의해 구조물의 기능이 저하되고, 구조체에 발생하는 균열과 균열을 통한 외기 및 수분의 침입 등과 같은 극히 자연적인 요인에 의해서도 노후화 현상이 발생된다.¹⁾

최근 국내에서 기존 철근콘크리트 구조물의 내구성 및 안전성에 큰 문제가 제기되어 기존 철근콘크리트 건축물의 유지 관리, 안전 진단 및 평가, 보수·보강 공법에 대하여 대학과 관련 업계에서 많은 관심과 연구가 진행되고 있는 실정이다. 고층 철근콘크리트 건축물이 지진 하

중과 같은 심각한 비탄성 변형을 일으키는 반복 주기 하중을 받을 때 보나 기둥의 부재 요소보다는 접합부가 더욱 취약한 영역인 것으로 밝혀지고 있다.^{2,7)}

따라서, 이 연구에서는 철근콘크리트 건축물에서 지진 하중과 같은 횡력이 작용할 때 가장 취약적이고 응력 부담이 높은 보-기둥 접합부에 대하여 내력과 연성 능력을 향상시키고, 철근콘크리트 건축물의 안전성을 증대시키기 위하여 기존의 보강 강판과 탄소섬유 쉬트 및 고성능 매입형 탄소섬유봉을 이용하여 보-기둥 접합부 영역과 보의 소성 힌지 영역을 보강한 보-기둥 접합부 보강 시스템의 구조 성능을 평가하여 기존 철근콘크리트 건축물의 내진 성능 개선을 도모함으로써, 실제 철근콘크리트 건축물의 내진 성능 개선 설계시 기초 자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 절차

이 연구에서는 철근콘크리트 건축물이 지진 하중을 받을 때 매우 취약한 외부 보-기둥 접합부의 내력 및 내진 성능 향상을 위한 새로운 보강 설계 개념의 개발을 위하여, 실제 구조물을 1/2크기로 모델화한 실험체를 대상으로 고성능 철근콘크리트 보-기둥 접합부 보강 시스템

*Corresponding author E-mail: gjha@kiu.ac.kr

Received March 22, 2011, Revised May 13, 2011,

Accepted May 13, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

을 제작하고 실험을 수행하여 구조 성능을 평가하고 그 결과를 비교·분석하였다.

기존 철근콘크리트 건축물의 구조 성능 개선을 위하여 보-기둥 접합부 보강 시스템의 주요 실험 변수로는 보강 유무, 보강 재료(강판, 탄소섬유 쉬트, 매입형 탄소섬유봉), 하중 재하 형태(단조 하중, 반복 주기 하중) 등을 사용하였으며 실험 변수에 따른 효과를 비교·분석하여 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력 증진 및 내진 성능 향상을 위한 새로운 보강 설계 개념을 정립하고자 한다.

2. 고성능 FRP를 활용한 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 실험

2.1 실험 계획

기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조 성능 및 내진 성능을 개선하기 위하여 보-기둥 접합부 영역을 기존의 강판 및 FRP보강재(탄소섬유 쉬트, 매입형 탄소섬유봉)를 사용하여 보강한 후 구조 성능 평가 및 개선을 도모하고자 한다.

이 연구에서는 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조 성능 개선을 위하여 보강시 보강 재료(강판, 탄소섬유 쉬트, 매입형 탄소섬유봉), 시공성을 고려한 보강 방법(상하면 보강, 측면 보강), 하중 재하 형태(단조 하중, 반복 주기 하중) 등을 주요 실험 변수로 한 고성능 철근콘크리트 보-기둥 접합부 보강 시스템의 구조 성능을 평가하여 내진 보강 설계시 기초 자료로 제시하고자 한다.

2.2 실험체의 형태 및 변수

지진 하중과 같은 반복 주기 하중을 받는 철근콘크리트

Table 1 Design parameters of test specimens

Specimen	Loading type	Reinforced region	Design methods and parameter
LBCJM	Monotonic		• Evaluation of structural performance
LBCJC	Cyclic loading (T=70 sec)	None	• ACI building code and ASCE-ACI 352 recommendation
LBCJ-SP45		Beam-column joints region beam plastic hinge zone	• Steel plate
LBCJ-CS1			• FRP sheet (1 sheet)
LBCJ-CRU			• FRP sheet and FRP rod (top, bottom)
			• Development length: 100 mm
LBCJ-CRS	• FRP sheet and FRP rod (side)		
	• Development length: 200 mm		

트 보-기둥 접합부 및 보강재(강판, 탄소섬유 쉬트, 매입형 탄소섬유봉)를 이용한 철근콘크리트 보-기둥 접합부 보강 시스템의 구조 성능을 평가하기 위하여 실제 구조물의 1/2정도의 크기로 축소한 외부 보-기둥 접합부 형태의 6개 실험체를 제작하였다. 접합부의 설계는 ACI building code(318-08)⁸⁾ 및 ACI-ASCE 352⁹⁾위원회의 권장안에 따라 설계되었다. 철근콘크리트 보-기둥 접합부 실험체의 변수 및 내용은 Table 1과 같고, 각 실험체의 상세는 Fig. 1에 나타나 있다.

2.3 사용 재료 특성

이 연구에 사용된 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트와 최대 골재 크기가 25 mm인 쇄석 골재를 사용하였으며,

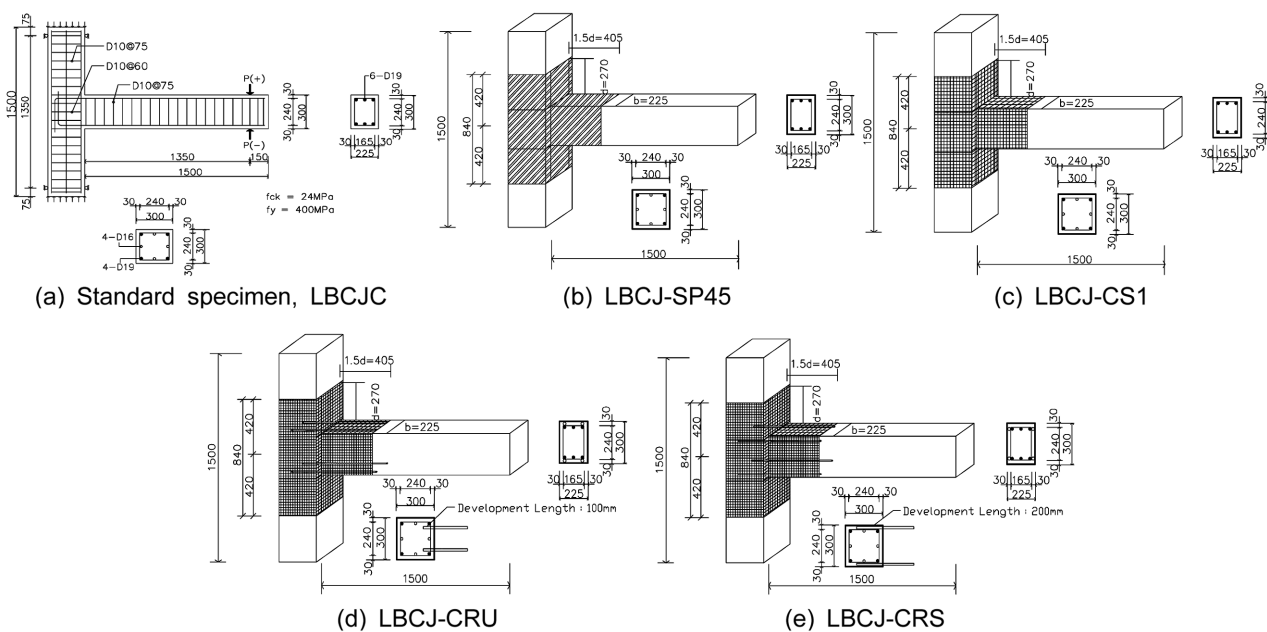


Fig. 1 Details of test specimen (unit: mm)

Table 2 Material properties of reinforcing bar

Bar size	Yield strength		Maximum strength		E _c (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

철근은 국내에서 생산된 SD400 철근이 사용되었으며, 철근의 재료 특성은 Table 2와 같다.

콘크리트의 배합은 요구 강도와 시공성 및 선정된 재료를 고려하여 설계되었으며 콘크리트의 배합표는 Table 3과 같다. 각 실험체는 콘크리트 타설과 함께 압축강도

Table 3 Mix proportion of concrete

Compressive strength (MPa)	W/C (%)	S/A (%)	Unit weight (kg/m ³)				Slump (mm)
			Cement	Water	Fine aggregate	Coarse aggregate	
27.3	52	49.1	363	172	643	906	1,500

Table 4 Test result of concrete strength

Age at loading	Slump (mm)	Compressive strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
28 days	150	27.3	21

Table 5 Material properties of steel plate

Material	Type	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
Steel plate	SS41	238.0	340.0	1.8 × 10 ⁵

Table 6 Material properties of carbon fiber 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	2,286.3	198,869.4	1.11

Table 7 Material properties of carbon fiber rod

Index	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (785 MPa)	Poisson's ratio	Damage strain ratio (%)
Average	2,296	198,785	0.32	1.11

Table 8 Material properties of epoxy resin of steel plate

Epoxy type	Tensile strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Tensile shear strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
EPX-3AW	18 more	65 more	36 more	13 more	900 more

Table 9 Material properties of resin of FRP sheet

Index	Available temperature (°C)	Available time (min)	Drying time (hours)	Curing time (day)	Base resin: hardenr	Viscosity	Spec.
Primer	15~25	60	9	-	10 : 5	1200 less	Solvent free
Impregnation resin	15~25	60	-	7	10 : 5	3000~5000	Solvent free

Table 10 Material properties of resin of FRP rod

Index	Available temperature (°C)	Available time (min)	Drying time (min)
Epoxy	5~25	40 (35)	30 (35)

용 공시체를 제작하였다. 압축강도 실험용 원주형 공시체는 Φ100 × 200 mm 몰드를 사용하여 KS F 2405에 따라 몰드를 3개 층으로 나누어 각 층을 25회씩 붓다짐하여 제작하였고, 재령 28일까지 수중 양생을 실시하였다. 그리고 100 ton용량의 UTM으로 압축강도 시험을 하였다. Table 4에 나타난 콘크리트 압축강도는 5개의 공시체의 실험 결과에 대한 평균값이다.

그리고, 보-기둥 접합부의 보강을 위하여 사용된 강판, 탄소섬유 슈트, 매입형 탄소섬유봉과 접착용 수지의 재료 특성 및 역학적 성질은 Tables 5~10과 같다.

2.4 실험 장치 및 실험 방법

이 연구에서는 철근콘크리트 보-기둥 접합부 실험을 위한 프레임을 제작하여 설치하였으며, 실험체의 설치 상황과 각종 시험 기기 및 장치는 Fig. 2와 같다. 실험체에 작용하는 하중 제어를 위하여 변위 제어가 가능한 서보 시스템을 사용하였으며 실험체는 프레임에 기둥 부분을 수평으로 눕혀서 설치하였다. 또한, 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 거동을 파악하기 위하여 6개의 실험체에 기둥의 허용 축하중(balanced axial load)의 30%를 기둥에

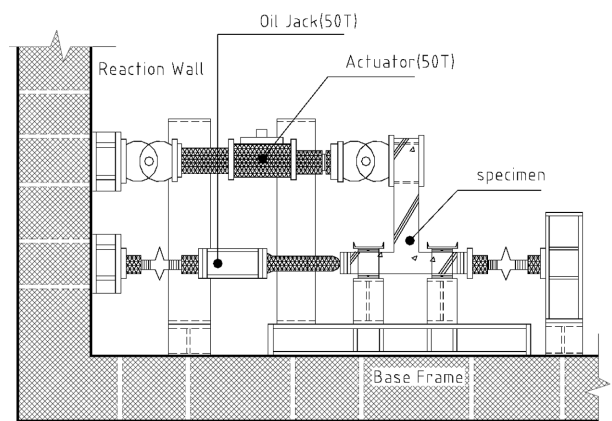


Fig. 2 Test setup of test specimen

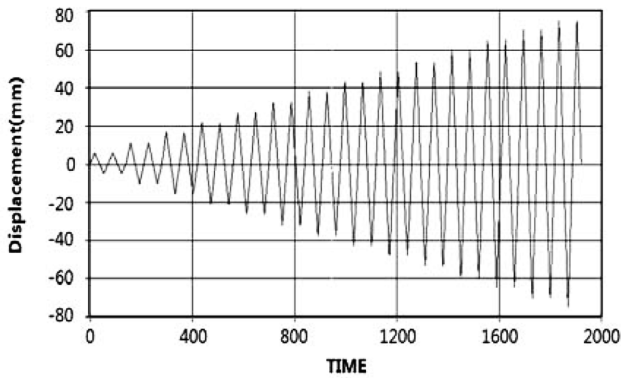


Fig. 3 Loading history

일정하게 가력하였다.

그리고, 수평 하중의 가력은 보의 변곡점에 로드셀을 부착한 유압 서보 액츄에이터를 사용하여 변위 제어에 의해 하중(단조 하중, 반복 주기 하중)을 작용시켰다. 반복 주기 하중의 형태는 Fig. 3과 같으며 변위 연성은 각 사이클의 종료시 변위에 대한 실험체의 항복 변위의 비로써 정의하고 항복 변위는 단조 하중 작용시 기둥면의 보 주근이 항복하였을 때의 하중 작용점의 변위로 정의한다. 반복 주기 하중의 주기는 전 실험체를 $T=70$ sec로 하였으며 반복 회수는 2사이클로 극한 변위 측정시까지 가력을 계속하였다.

3. 고성능 FRP 보강 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진 성능 평가 및 개선

3.1 개요

기존 철근콘크리트 구조물의 보-기둥 접합부가 지진 하

중을 받을 때 구조물의 노후화 현상과 기존 설계법의 변경 및 취약성으로 인하여 부재 내력의 저하 및 내진 성능이 떨어지므로 이에 대한 충분한 검토와 보강이 필요한 것으로 판단된다. 따라서 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력 향상 및 구조 성능의 개선을 통하여 구조물의 수명을 연장시키고 지진 하중 작용시 건축물의 안전성을 확보하여야 할 것으로 사료된다.

따라서 지진 하중과 같은 반복 주기 하중이 작용할 때 철근콘크리트 건물에 가장 취약적이고, 응력 부담이 높은 보-기둥 접합부 영역에 대하여 내진 성능을 개선하고 철근콘크리트 건물의 안전성을 증대시키기 위하여 보-기둥 접합부 영역을 강판, 탄소섬유 시트, 매입형 탄소섬유봉으로 보강한 철근콘크리트 보-기둥 접합부 보강 시스템의 구조 성능을 평가하고자 한다.

3.2 이력 거동 특성

지진 지역에서 철근콘크리트 구조물의 설계 및 해석을 위하여 비탄성 범위에서 부재의 특성, 즉 부재의 연성, 에너지 소산 능력, 강성 저하 등을 파악하여야 하며, 이를 위해서 부재의 이력 거동 특성을 정확히 규명하여야 한다.

이 연구에서는 실험체 LBCJM 단조 하중을 가하여 기둥면의 보 주근에 부착한 변형률 게이지의 측정치가 항복 변형에 이를 때 보의 하중 작용점의 항복 변위를 구하고, 변위 제어로 최종 파괴시까지 가력하여 하중-변위 곡선을 Fig. 4(a)와 같이 규명하였다. 그리고 각 실험체의 이력 거동 곡선을 구하기 위하여 반복 주기 하중을 가력하여 각 실험체의 작용 하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 Fig. 4(b)-(f)에서와 같이 구하였다.

기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 접합부 영역 보

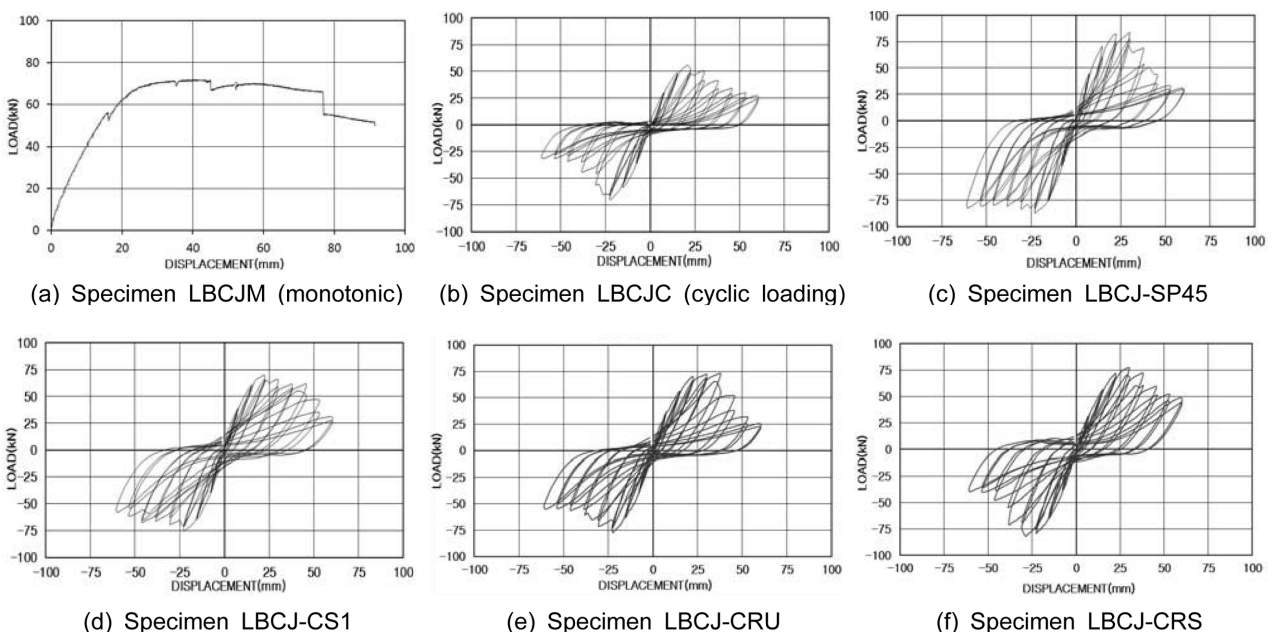


Fig. 4 Load-displacement relationship of each experiment specimen

강 실험체(LBCJ 시리즈)의 경우 Fig. 4(b)~(f)의 이력 거동 특성을 고찰하여 보면 강도 및 에너지 소산 능력이 표준 철근콘크리트 보-기둥 접합부 실험체(LBCJC)에 비하여 훨씬 증가하여 구조 성능 및 내진 성능이 현저히 개선됨을 알 수 있다.

3.3 파괴 형태

3.3.1 표준 실험체(LBCJM, LBCJC)

단조 하중 적용 표준 실험체 LBCJM의 경우 일방향 단조 하중 실험에서 변위 17 mm에 해당하는 하중값이 55.5 kN일때 보주근이 항복하였으며, 하중 증가에 따라 접합부 부분에 균열 집중 현상과 더불어 변위 40.1 mm에서 하중이 58.0 kN으로 최대 하중을 나타냈으며, 이후 하중이 급격히 감소하면서 파괴가 되었다.

반복 주기 하중 적용 표준 실험체 LBCJC의 경우 반복 주기 하중을 가했을 때 초기 재하시 보와 기둥의 접합면에서 보의 내측으로 매우 넓은 영역까지 균열이 분포하였고, 재하 후반부에는 보-기둥 접합면과 보 춤만큼 떨어진 부분 이내에서 균열과 파괴가 집중되었다. 반복 주기 하중 작용시 변위 연성 1에서 접합면에 초기 균열이 발생하였고, 변위 연성 2에서는 보 상부에 휨균열이 발생되었고 접합부 부근에는 균열폭이 증가하였으며, 변위 연성 3에서는 하중 55.9 kN으로 최대 하중이 나타났으며, 기둥 보-기둥 접합부 영역의 대각 균열이 나타났다. 변위 연성 4, 5에서는 접합부 균열이 집중되면서 균열폭이 더욱 증가하고 보-기둥 접합부 영역의 대각 균열

은 미소하게 증가되었고, 접합면에는 콘크리트 피복이 박리되기 시작하였으며, 변위 연성 6이후에서는 피복 콘크리트 탈락 현상이 발생하였다.

3.3.2 보-기둥 접합부 영역 보강 실험체(LBCJ 시리즈)

반복 주기 하중을 받는 보-기둥 접합부 영역에 강판 및 탄소섬유시트, 매입형 탄소섬유봉을 보강하여 각각의 실험체의 파괴 특성을 분석하였다.

반복 주기 하중 작용시 보-기둥 접합부의 균열 증가에 의한 콘크리트의 탈락 현상을 막고, 내진 성능을 개선할 수 있도록 하기 위하여 보-기둥 접합부의 접합부 영역을 보강한 각각의 실험체는 초기 재하시에는 보강 영역 밖에서 휨 균열이 다수 발생하였으며, 변위 연성이 증가할수록 보강재와 콘크리트 면과의 접합 부분의 접착제 탈락 현상이 발생하였다. 이후 반복 하중이 점점 증가할수록 보강재의 탈락과 함께 보와 기둥의 접합면 및 접합부 영역의 콘크리트에 균열이 발생하였고, 재하 후반부에는 콘크리트 파손으로 최종 파괴에 도달하였다.

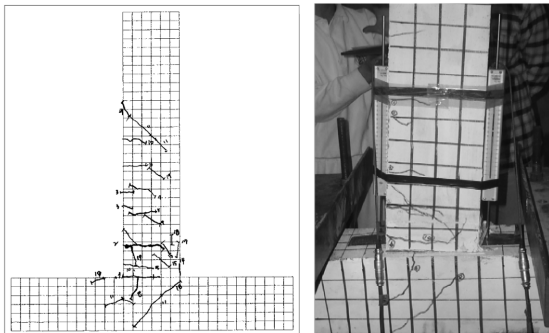
1) LBCJ-SP45 실험체

보-기둥 접합부 영역에 강판(두께 4.5 mm)을 보강한 실험체 LBCJ-SP45의 경우 변위 연성 2에서 콘크리트와의 접착제인 에폭시에 균열이 발생하였으며, 변위 연성 4에서는 최대 내력 83.6 kN에 이르렀다가 변위 증가에 따라 내력이 점점 떨어지는 취성적인 현상을 보였다.

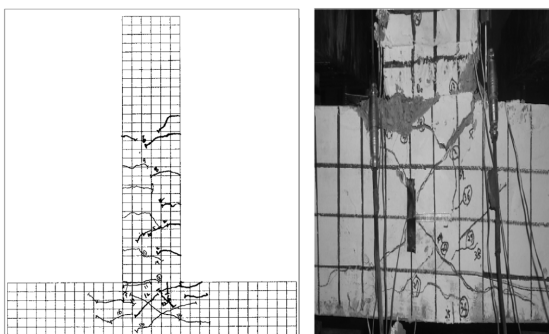
특히, 최대 내력 이후에는 보-기둥 접합면에 보강된 강판의 변형이 집중되는 현상이 나타나므로 접합면에서의 강판 용접의 정밀성과 시공성이 구조 성능 확보에 대단히 중요한 것으로 판단된다.

2) LBCJ-CS1 실험체

보-기둥 접합부 영역에 탄소섬유 시트 1장을 보강한 실험체 LBCJ-CS1의 경우, 변위 연성 1에서 보-기둥 접합면의 상부에서 초기 휨균열이 발생하였고, 변위 연성 2에서는 탄소섬유 시트가 콘크리트에서 탈락하기 시작했으며, 변위 연성 3에서는 탄소섬유 시트가 파단 현상이 시작되었다. 변위 연성 6에서는 탄소섬유 시트의 완전한 파단이 일어나면서 내력이 현저히 저하되어 최종 파괴가



(a) Crack pattern of LBCJM



(b) Crack pattern of LBCJC

Fig. 5 Crack pattern of standard specimen

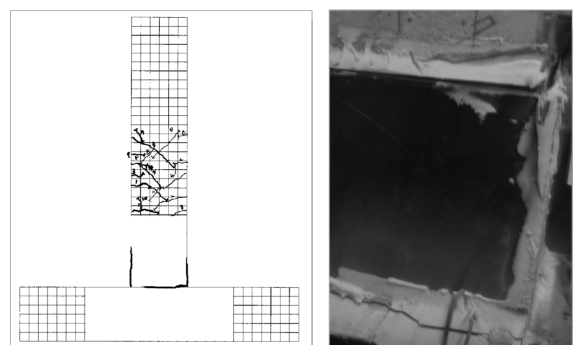


Fig. 6 Crack pattern of LBCJ-SP45

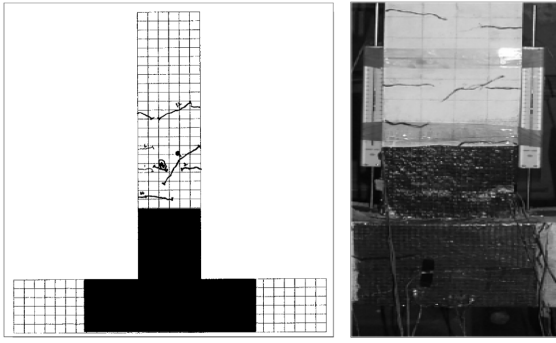


Fig. 7 Crack pattern of LBCJ-CS1

발생하였다. 그리고 실험 진행중 보강된 탄소섬유 시트와 콘크리트면의 부착 강도가 적절하게 확보되어 최대 내력 이후의 내력 저하가 완만하여 표준 실험체에 비해 뛰어난 연성 능력을 가지고 있음을 알 수 있었다.

3) LBCJ-CRU 실험체

매입형 탄소섬유봉을 보의 상하면에 각각 2개씩 보강한 실험체 LBCJ-CRU의 경우 변위 연성 2에서 에폭시의 균열이 발생하였으며, 변위 연성 5에서는 최대 내력 73.0 kN에 도달한 이후에 탄소섬유 시트의 박리 현상이 나타나면서 내력이 급격히 저하되었다. 이는 콘크리트와 탄소섬유 시트 부착면이 탈락하면서 최대 내력 이후에 매입형 탄소섬유봉의 부착 탈락 및 콘크리트의 파괴 현상으로 인한 것으로 판단된다.

4) LBCJ-CRS 실험체

매입형 탄소섬유봉을 보의 측면에 각각 2개씩 보강한 실험체 LBCJ-CRS의 경우 변위 연성 2에서 에폭시의 균열이 일어났으며, 변위 연성 4에서는 최대 내력 77.3 kN에 도달한 이후에 탄소섬유 시트가 파단되면서 내력이 감소되었고 이후 서서히 최종 파괴가 발생하였다. 실험체 LBCJ-CRS의 경우는 실험체 LBCJ-CRU에 비해 최대 내력 이후에 내력 감소 현상은 서서히 진행되었는데, 이는 실험체 LBCJ-CRU보다 매입형 탄소섬유봉의 매입에 의한 정착이 용이하여 충분한 정착 길이(200 mm) 확보에 따른 결과로 판단된다.

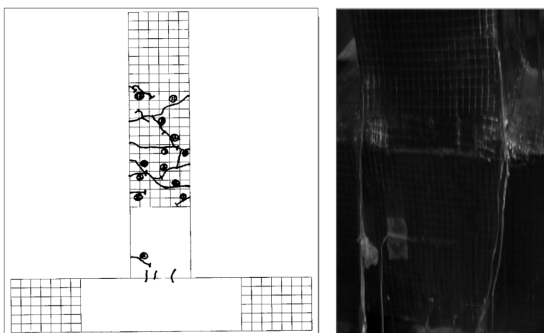


Fig. 8 Crack pattern of LBCJ-CRU

3.4 강도 변화 특성

반복 주기 하중을 받을 때 각 실험체의 강도 변화 특성을 비교하기 위하여 변위 연성(displacement ductility)과 각 실험체의 강도와와의 관계를 Fig. 10에 나타내었다.

표준 실험체 LBCJC는 변위 연성 3에서, 보강 실험체의 경우 변위 연성 3 또는 4 정도에서 최대 내력에 도달하였고, 보-기둥 접합부 영역의 보강 방법, 보강 재료 등에 따라 변위 연성별 내력의 변화가 발생함을 알 수 있었다.

반복 주기 하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조 성능 및 내진 성능을 개선하기 위하여 보-기둥 접합부 영역 보강 실험체 LBCJ 시리즈는 표준 실험체 LBCJC와 비교하여 최대 내력이 26~50% 증가하였다.

3.5 강성 변화 특성

각 실험체의 사이클별 강성(stiffness, k)의 변화를 Fig. 12에 도시하였고, 실험체의 강성은 Fig. 11과 같은 방법으로 구하였다. 여기서 강성 k는 각 하중의 사이클에서 정방향과 부방향에서의 최대 하중과 최대 변위가 만나는 점의 기울기로 산정하였다. 각 실험체의 강성은 반복 주기하중이 작용하는 동안 반복 횟수가 증가할수록 점차 감소하는 현상을 보이고 있다. 이러한 강성 감소의 주요 원인은 접합부 영역의 콘크리트의 균열, 철근의 미끄러짐 등에 의한 것으로 사료된다.

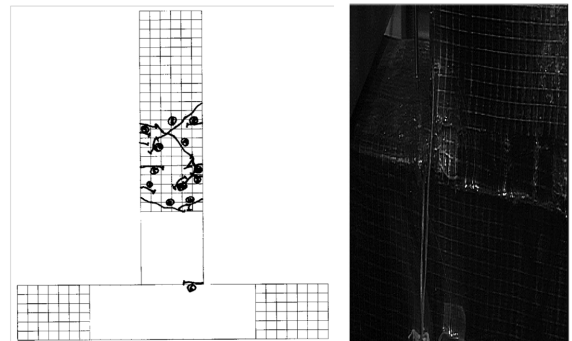


Fig. 9 Crack pattern of LBCJ-CRS

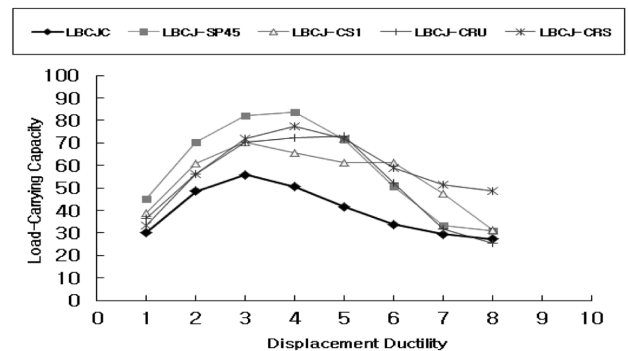


Fig. 10 Comparison of load-carrying capacity as a function of displacement ductility

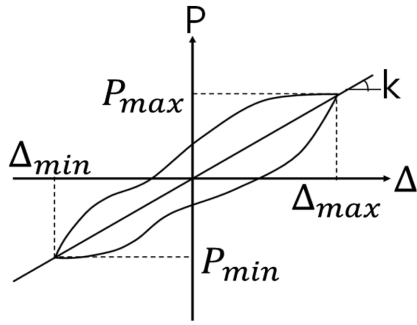


Fig. 11 Calculation of stiffness

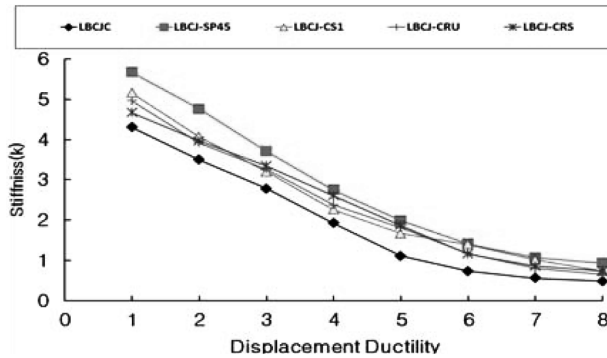


Fig. 12 Comparison of stiffness for each specimen at various displacement ductilities

초기 강성은 표준 실험체 LBCJ가 가장 작게 나타났으며, 실험체 LBCJ-SP45, LBCJ-CS1, LBCJ-CRU, LBCJ-CRS 순으로 초기 강성이 크게 나타났다. 실험이 진행됨에 따라 초기 강성은 7.4~17.3%까지 감소하였으며 이러한 감소는 모든 실험체가 실험이 진행됨에 따라 비슷한 양상을 보였다.

3.5 에너지 소산 능력

반복 주기 하중을 받을 때 각 실험체의 에너지 소산 능력을 평가하기 위하여 Fig. 4의 이력 거동 곡선을 비교하였다. 이 연구에서는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 보강 재료, 보강 방법에 따라 Figs. 13, 14에서와 같이 각 실험체의 에너지 소산 능력이 큰 차이를 나타내었다.

기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부를 기존의 강

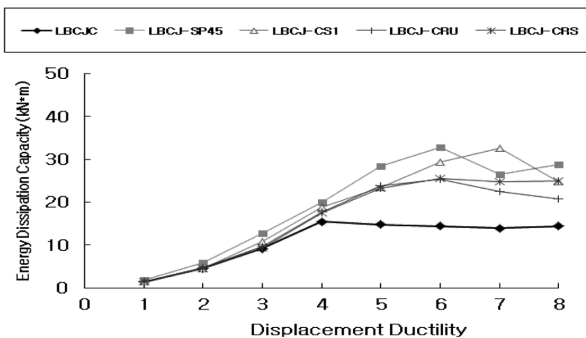


Fig. 13 Comparison of energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

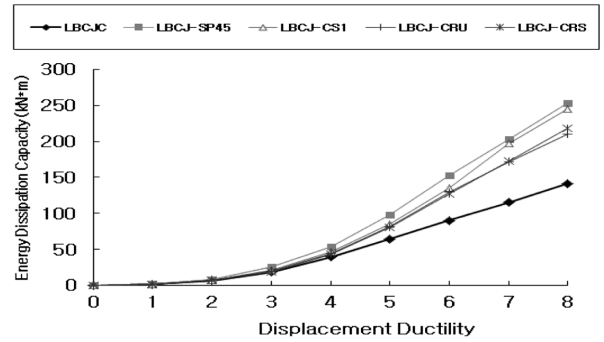


Fig. 14 Comparison of cumulative energy dissipation capacity for each specimen at various displacement ductilities

관 및 FRP 보강재(탄소섬유 시트, 매입형 탄소섬유봉)를 이용하여 보강한 결과 이력 거동 곡선을 고찰하여 보면 연성 및 내력이 크게 증대하였고, 지진 하중 작용시 에너지 소산 능력이 매우 향상됨을 알 수 있었다.

그리고 철근콘크리트 보-기둥 접합부 영역을 매입형 FRP 보강재를 적용한 실험체 LBCJ 시리즈는 표준 실험체 LBCJ-C와 비교하여 변위 연성 4에서 에너지 소산 능력이 13.0~14.4% 증가하였다.

4. 결 론

이 연구에서는 기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부의 내진 성능을 개선하기 위하여 기존의 강관 및 FRP 보강재(탄소섬유 시트, 매입형 탄소섬유봉)를 사용하여 보-기둥 접합부 영역을 보강한 총 6개의 실험체를 제작하고 실험을 수행하여 내진 성능을 평가하였으며, 이 연구의 실험 결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 접합부 영역(LBCJ 시리즈)를 보강한 결과 초기 재하시 접합부 영역의 균열 억제 효과와 재하 전 과정을 통하여 보강재의 구속 효과로 인하여 균열 억제 효과가 커서 안정적인 파괴 형태 및 내력 향상 효과를 나타내었다.
- 2) 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진 성능을 개선하기 위하여 철근콘크리트 보-기둥 접합부 영역을 기존 보강 방법인 강관으로 보강한 경우 표준 실험체 LBCJ-C와 비교하여 최대 내력 증대 효과는 크나 최대 내력 이후에 강도 저하가 급격히 발생하여 안정적인 이력 거동을 나타내지 못하였다.
- 3) 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조 성능을 개선하기 위하여 철근콘크리트 보-기둥 접합부 매입형 FRP 보강재를 적용한 실험체 LBCJ 시리즈는 표준 실험체 LBCJ-C와 비교하여 최대 내력이 26~50% 증가하였다.
- 4) 기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부를 기존의 강관 및 FRP 보강재(탄소섬유 시트, 매입형 탄소섬유봉)를 이용하여 보강한 결과 이력 거동 곡선을 고찰하여 보면 연성 및 내력이 크게 증대하였고,

지진 하중 작용시 에너지 소산 능력이 매우 향상됨을 알 수 있었다. 특히 철근콘크리트 보-기둥 접합부 영역을 매입형 FRP 보강재를 적용한 실험체 LBCJ 시리즈는 표준실험체 LBCJC와 비교하여 변위 연성 4에서 에너지 소산 능력이 13.0~14.4% 증가하였다.

- 5) 기존 철근콘크리트 건물의 사용성과 내력 증진 및 내진 성능을 개선하기 위하여 보-기둥 접합부 영역의 보강을 통하여 적정 보강 재료 및 보강 공법을 적용하면 균열 억제 및 내력, 연성 능력 등을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단 중견연구지원사업(도약연구) 및 경일대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구이다(No. 2010-0017812, 2010A007).

참고문헌

1. 이영범, “기존 철근콘크리트 골조 및 접합부의 보강에 따른 내진성능 평가 및 개선,” 석사학위논문, 경일대학교 대학원, 2002, pp. 1~45.
2. 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, 1992, pp. 175~184.
3. 하기주, 양주경, 김진근, 정란, “고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 이력 거동 특성에 관한 실험적 연구,” 대한건축학회논문집, 8권, 9호, 1992, pp. 231~240.
4. 하기주, 김진근, 정란, “고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 개선에 관한 실험적 연구,” 콘크리트학회 논문집, 4권, 1호, 1992, pp. 135~145.
6. 류동우, “FRP 보강 철근콘크리트 부재의 휨 및 전단 설계,” 경북대학교 대학원, 석사학위논문, 2008, pp. 1~38.
7. 박용규, “탄소섬유 접착보강 공법의 적합성 평가에 관한 연구,” 석사학위논문, 청주대학교 대학원, 2007, pp. 1~49.
8. ACI 318-058318R-08, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (ACI 318R-08)*, American Concrete Institute, Farmington Hills Michigan, 2008, 389 pp.
9. ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures,” *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 82, No. 3, 1985, pp. 266~283.

요 약 이 연구에서는 기존 철근콘크리트 건물의 보-기둥 접합부 및 내진 성능의 개선을 위해 보-기둥 접합부 영역을 기존의 강관 및 FRP보강재(탄소섬유 쉬트, 매입형 탄소섬유봉)를 사용하여 보강한 후 내진 성능을 평가 하였다. 총 6개의 실험체를 제작하고 실험을 수행하여 내진 성능을 평가하였으며, 이 연구의 실험 결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다. 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 접합부 영역(LBCJ 시리즈)를 보강한 결과 초기 재하시 접합부 영역의 균열 억제 효과와 재하 전 과정을 통하여 보강재의 구속 효과로 인하여 균열 억제 효과가 커서 안정적인 파괴 형태 및 내력 향상 효과를 나타내었다. 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진 성능을 개선하기 위하여 철근콘크리트 보-기둥 접합부 FRP보강 기술 적용 실험체 LBCJ 시리즈는 표준실험체 LBCJC와 비교하여 최대 내력은 26~50% 증가하였다. 그리고 에너지 소산 능력은 변위 연성 4에서 13.0~14.4% 증가하였다.

핵심용어 : 철근콘크리트 보-기둥 접합부, 고성능 매입형 탄소섬유봉, 보강, 내진 성능, 개선