



CFRP를 이용한 비내진 철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부의 내진 보강

김민¹⁾ · 이기학^{1)*} · 이재홍¹⁾ · 우성우²⁾ · 이정원³⁾

¹⁾세종대학교 건축공학과, ²⁾(주)한화건설, ³⁾삼성중공업(주)

Seismic Retrofit of RC Exterior Beam-Column Joints Strengthened with CFRP

Min Kim¹⁾, Ki-Hak Lee^{1)*}, Jae-Hong Lee¹⁾, Sung-Woo Woo²⁾, and Jung-Weon Lee³⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

²⁾Hanwha Engineering & Const. Corp., Seoul 100-797, Korea

³⁾Samsung Heavy Industries Co., Ltd., Seoul 135-080, Korea.

ABSTRACT It has been shown that many Reinforced Concrete(RC) structures designed without seismic details have experienced brittle shear failures in the beam-column joint area and resulted in large permanent deformations and structural collapse. In this study, experimental investigations into the performance of exterior reinforced concrete beam-column joints strengthened with the carbon fiber-reinforced polymer(CFRP) under cyclic loading were presented. The CFRP has been applied by choosing different combinations and locations to determine the effective way to improve structural performances of joints. Eight beam-column joints were tested to investigate behaviors of each specimen under cyclic load and to compare performances of seismic retrofit. According to the experimental study, the retrofit strengthened with the CFRP provides significant improvements of flexural capacity and ductility of beam-column joints originally built without seismic details.

Keywords beam-column joint, carbon fiber-reinforced polymer(CFRP), cyclic load, flexural capacity and ductility, seismic detail

1. 서 론

최근 전 세계에 기록된 지진운동은 현존하는 철근콘크리트 보-기둥 접합부가 적절한 내진상세로 설계되지 않았을 때 지진운동에 취약함을 보여주고 있다¹⁾. 골조 구조물에서 중요한 역할을 하는 접합부는 충분한 전단강도를 부여하는 횡철근이 제대로 설계되어 있지 않을 때 지진하중으로부터 취성적 전단파괴를 가져오며 전체 구조물에 영구적인 변형과 붕괴에 이르기까지 한다. 또한 표준 갈고리상세로 정착되어 있지 않은 철근은 접합부에서 정착파괴가 발생하게 된다²⁾. 현재 기준에 지어진 철근콘크리트 골조 구조물은 내진설계가 되어 있지 않을 시 이러한 전단파괴에 취약할 수 있으므로 이를 방지하기 위한 구조물의 보수 및 보강에 관한 많은 연구가 진행되고 있다^{1,3-13)}.

그 중 보-기둥 접합부의 보수 및 보강은 구조 기술자가 현장에서 만나게 되는 가장 어려운 문제 중의 하나이다. 많은 연구자들이 보-기둥 접합부를 보강하기 위해 다양한 시도를 하였다. 그 중 하나는 철근콘크리트 또는

스틸 재킷을 이용한 보강 방법이다. 이는 구조물에 추가적인 하중 부담과 부식을 고려해야 하고 정밀한 상세가 필요한 설계로 기술자에게 어려운 작업을 요구하고 있다.

1995년 이후로는 FRP(fiber reinforced polymer)를 통한 구조물의 보수, 보강 방법이 활발하게 진행되었다. FRP는 여러 가지 장점을 가지고 있는데, 부식에 대한 저항, 매우 큰 강도, 시공의 간편함, 현장에서 구조물의 보강시 형태의 자유로움 등이 있다. 현재까지 비내진 구조물의 내진보강을 위한 연구가 일부 수행되었으나, 이는 주로 각 개별 부재 및 시스템에 대하여 수행되어 왔다⁷⁻⁹⁾.

본 연구는 CFRP(carbon fiber reinforced polymer)를 이용하여 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능을 보강하기 위한 목적으로 설계기술을 개발하기 위해 연구되었다. 현재 골조 구조물의 리모델링에서 나타나는 내진보강에 대한 문제점에 초점을 맞추어 지진발생시 철근콘크리트 건물에서 가장 큰 피해가 발생할 수 있는 보-기둥 접합부에 대한 내진보강공법을 개발하고, 그 성능을 실험을 통하여 검증하고자 하였다.

이는 우리나라에서 비내진상세로 건설되어진 기존의 철근콘크리트 구조물을 실무에서 효과적으로 내진보강하기 위한 기초 자료로 쓰일 것으로 기대된다.

*Corresponding author E-mail : kihaklee@sejong.ac.kr

Received January 27, 2006, Accepted September 22, 2006

©2006 by Korea Concrete Institute

2. 보-기둥 접합부 실험 모델의 설계 및 제작

2.1 보-기둥 접합부 실험 모델 계획

본 연구를 수행하기 위해 설계된 실험 모델은 Fig. 1에 나타난 10층 RC 구조물을 콘크리트구조설계기준 해설¹⁴⁾과 건축물하중기준 및 해설¹⁵⁾에 따라 설계한 후, 가장 큰 횡력이 작용하는 Fig. 1의 빗금 친 외부 접합부를 선택하여 구조 실험실 규모와 가력기 능력을 고려하여 1/3로 축소하여 원형 실험 모델을 제작하였다. 원형 실험 모델의 제작에 사용된 배근 변수는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 우리나라 일반 시공현장에서 내진설계가 적용되지 않던 1988년 이전 구조물이나 5층 이하 구조물 등에서 볼 수 있었던 비내진 상세(접합부내 전단철근이 없고 스티럽 간격이 조밀하지 않으며 보 하부 주근이 접합부에서 아래로 정착)와 Fig. 3에서 보는바와 같이 ACI 318-02¹⁶⁾의 내진상세(접합부내 전단철근이 기준에 따라 일정간격으로 배근

되어 있고 보 하부 주근이 접합부에서 위로 정착)에 의해 배근된 경우이다. 실제 실험 모델은 비내진상세를 가진 실험 모델 1개, 내진상세를 가진 실험 모델 1개, 그리고 비내진상세를 가진 실험 모델에 Table 1과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 CFRP의 보강 방법에 따라 6개의 실험 모델을 제작함으로써 총 8개의 실험 모델을 제작하였다. 실험실

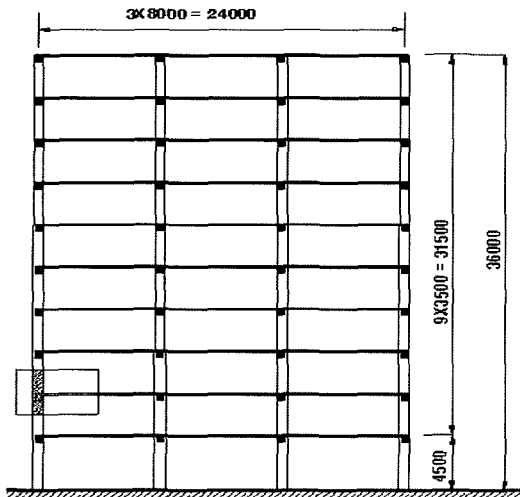


Fig. 1 Elevation view of a 10-story RC building structure(unit : mm)

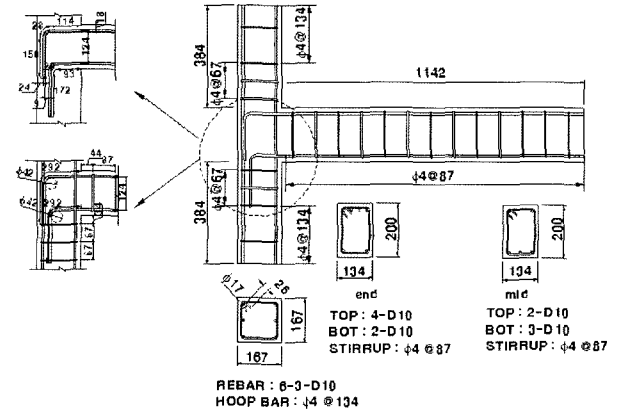


Fig. 2 Non-seismic reinforcement details(unit : mm)

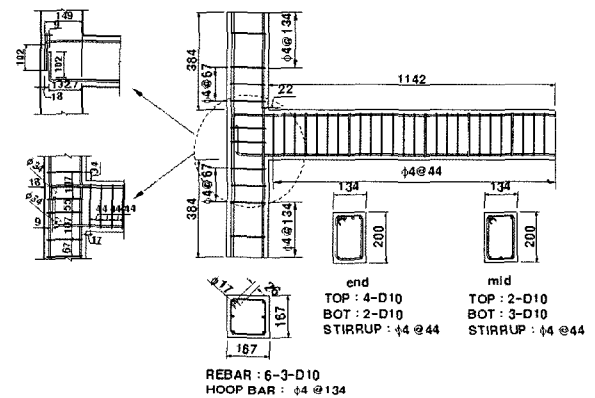


Fig. 3 Seismic reinforcement details(unit : mm)

Table 1 Experimental parameters

	T-type FRP retrofit	L-type FRP retrofit	X-type FRP retrofit	Strip-type FRP retrofit
Case 1 (NS-1)	-	-	-	-
Case 2 (SD-1)	-	-	-	-
Case 3 (RNS-1)	FRP retrofit on both sides of joint	FRP retrofit on the upper and bottom side of joint	-	-
Case 4 (RNS-2)	FRP retrofit on both sides of joint	FRP retrofit on the upper and bottom side of joint	-	FRP retrofit on both ends of column
Case 5 (RNS-3)	-	-	FRP retrofit on column side in joint	-
Case 6 (RNS-4)	-	FRP retrofit on the upper and bottom side of joint	FRP retrofit on column side in joint	-
Case 7 (RNS-5)	FRP retrofit on both sides of joint	FRP retrofit on the upper and bottom side of joint	-	FRP retrofit on both ends of column, the end of beam with a U-shape strip
Case 8 (RNS-6)	FRP retrofit on both sides of joint (two layers)	FRP retrofit on the upper and bottom side of joint (two layers)	-	FRP retrofit on both ends of column (two layers)

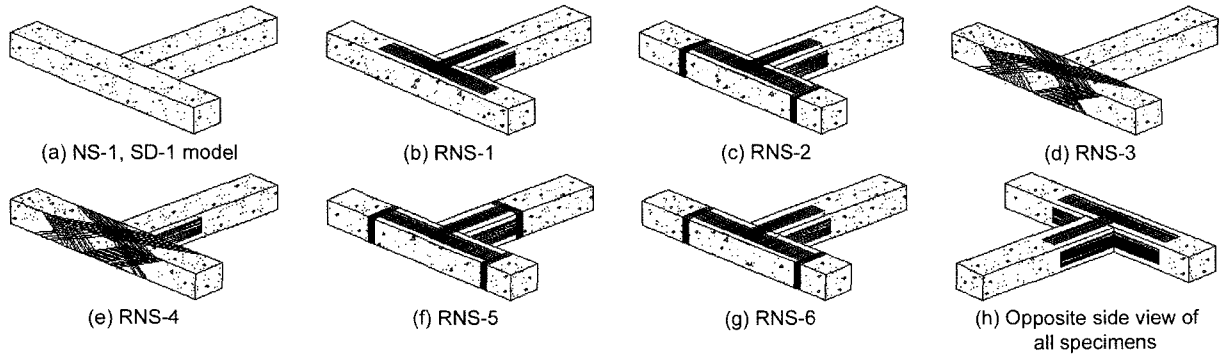


Fig. 4 Features of experimental specimens

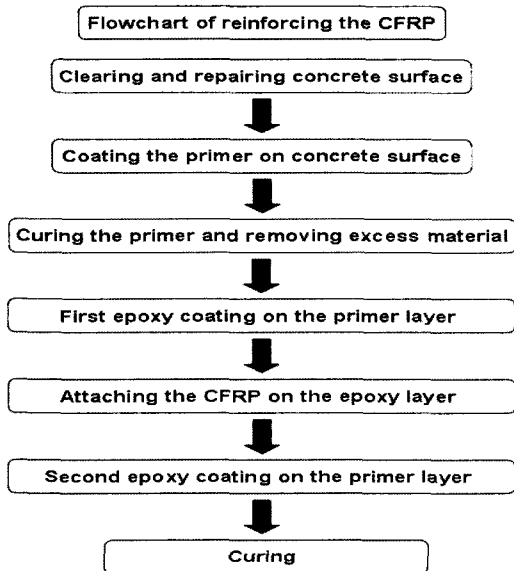


Fig. 5 Flowchart of the CFRP retrofit procedure to non-seismic models

여건상 축력의 존재는 고려되지 않았다. Fig. 5에서는 보-기둥 접합부에 대한 CFRP의 부착시공 순서를 보여주고 있다.

2.2 실험 모델에 사용된 재료의 특성

2.2.1 콘크리트와 철근의 특성

실험 모델의 콘크리트에서 굵은 골재는 최대치수를 10 mm로 하여 특수 주문한 쇄석을 사용하였고, 2 mm 체를 이용하여 석분을 제거하였다. 잔골재는 가는 강모래를 사용하고, 시멘트로는 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 유동화제를 이용하여 시공연도를 높였다. 콘크리트의 설계 압축 강도는 27 Mpa이며, 1/3로 축소된 실험 모델에서 사용된 모델철근은 상사성의법칙¹⁷⁾에 따라 기둥과 보의 주근으로 D10, 띠철근은 Ø4를 사용하였다. 실험에 사용된 콘크리트와 철근의 재료 특성은 Table 2에 나타나 있다. 설계 강도에 비해 실제 측정된 콘크리트의 강도는 다소 크게 측정되었다.

2.2.2 FRP 재료의 특성

복합재료로는 CFRP를 사용하였다. 콘크리트 바탕면을 고르게 하기 위해 프리머(Primer)와 CFRP를 콘크리트 표

Table 2 Properties of the concrete and reinforced bars

	Strength of concrete (unit: MPa)		Strength of reinforcement (unit: MPa)	
	Compressive strength	Splitting strength		Yield strength
Moist curing	33.8	4.0	D10	324.0
Dry curing	36.5	3.8	Ø4	459.0

면에 접착하기 위해 에폭시 수지인 탑코트(top coat)를 사용하였다.

CFRP와 탑코트, 프리머의 재료 성질은 Table 3에 기술하였고 각각 한국원사직물시험연구원과 한국화학시험연구원의 자료이다. 일반적인 보-기둥 접합부에 사용된 철근의 인장강도보다 CFRP의 인장강도가 더 크게 나타남을 알 수가 있다.

2.3 실험 모델 설치와 하중 제어

실험 모델의 세팅은 Fig. 6에서 보듯이 지진하중에 대해 보 경간의 중앙과 기둥높이의 중간위치에 변곡점이 생기는 것으로 가정하여 힌지를 설치하였으며, 상부 힌지부분에서 가력기로 횡변위 제어를 통해 횡력을 가하였다.

Table 3 Properties of the CFRP

	CFRP	Top coat	Primer	Reinforcements
Tensile strength (MPa)	4,965.8	59.5	56.8	392.0
Tensile modulus (GPa)	240.5	3.7	3.7	200.0

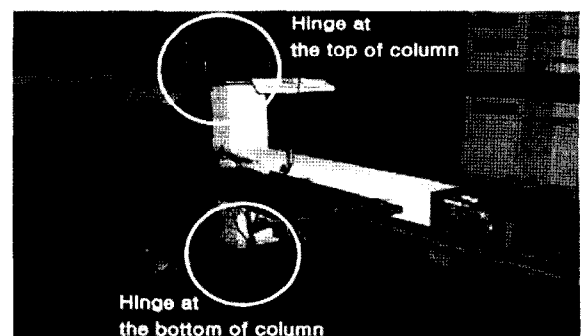


Fig. 6 Experimental setup of NS specimens

또한, 보의 단부를 힌지로 처리한 후, 붕으로 하부 프레임 입과 연결하여 수직방향변형을 구속시켜 횡력이 작용함에 따라 보의 단부에서 수직반력이 발생하고, 이를 통해 접합면에 작용하는 전단력과 모멘트를 측정할 수 있도록 하였다. 그리고 실험 시 실험 모델이 가로방향으로 넘어질 경우에 대비하여 실험 모델의 보에 걸쳐 횡지지를 설치하였다. 접합부 실험 모델에 대한 횡하중 가력은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 최상부의 최대변위를 일정하게 조절함으로써 이력을 제어하는 반전 횡하중 실험(reversed lateral load test)으로 수행하였다.

2.4 실험 계속 방법과 장치

본 실험에서는 실험 모델의 전체적인 거동과 힘의 흐름을 파악하기 위해 Fig. 8과 같이 기둥 상부에서 변위측정기(displacement transducer)로 변위이력을 측정하였고 보의 단부에서 와이어 스트레인 게이지(wire strain gage)를

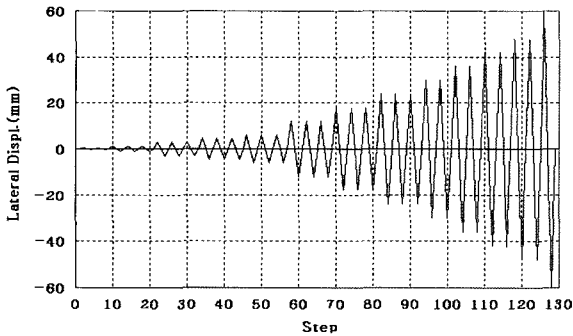


Fig. 7 History of cyclic loading

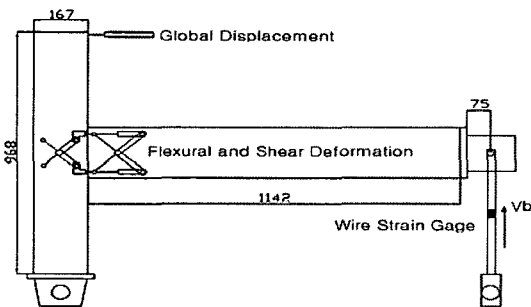


Fig. 8 Description of experimental measurement

이용하여 강봉의 변형률을 측정함으로써 보 단부에 작용하는 힘(V_b)을 구한 후 보의 팔 길이를 곱하여 보와 기둥의 접합면에 작용하는 모멘트를 계산하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 전체 이력거동의 비교

모든 실험 모델의 전체 이력거동은 Fig. 10의 횡하중-횡변위 그래프를 통하여 비교하였다. 실험 결과를 정량적으로 비교할 수 있도록 CFRP 보강면적, 초기 변위제어인 +3 mm 때의 초기강성, 최대강도, 연성률(최대강도 80% 강도의 변위 / 항복변위 비), 하중의 방향이 바뀔 때의 에너지 소산능력을 보여주는 펀칭 효과를 에너지 면적으로 계산하여 Table 4에 정리하였다. 또한 본 연구에서는 실험 중 최대강도의 감소 폭을 연구하기 위해 횡변위의 약 6%에 해당하는 40 mm에서의 최대강도를 측정하였다. 이에 대한 값들은 최대강도와 함께 증감비율이 비내진상세를 기준으로 하여 괄호 안에 나타내었다.

탄성 반응 이후의 비선형성을 고려하기 위해 항복점을 구하는 방법은 Cheung¹⁸⁾과 ATC-24¹⁹⁾에서 사용된 방식이 이용되었고 그 과정은 Fig. 9에 나타나 있다. 이 과정은 구조물의 실험을 통해 힘-변위 관계의 극한 강도 Q_y 에 대한 75%의 값이 얻어질 때 이 점을 지나는 접선을 통해 항복변위를 정의하고 있다. 콘크리트에서 Q_y 의 산정은 실제 측정된 재료의 항복 강도를 이용하여 미국 American

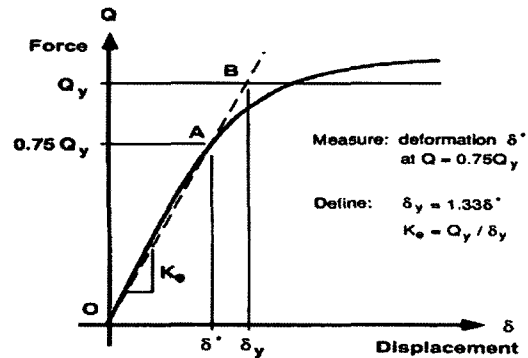


Fig. 9 Determination of yield displacement

Table 4 Experimental results

	NS-1	SD-1	RNS-1	RNS-2	RNS-3	RNS-4	RNS-5	RNS-6
CFRP retrofit area(cm ²)	-	-	6,014.0	6,682.0	4,800.0	6,274.0	7,016.0	13,364.0
Yield strength(kN)	5.5	7.0	8.0	7.8	8.0	8.3	7.8	7.2
Yield displ.(mm)	8.2	8.0	6.8	8.8	7.5	7.5	7.4	6.0
Maximum strength(kN)	8.5	10.5(23.5%)	10(17.6%)	10(17.6%)	10(17.6%)	10(17.6%)	9.5(11.7%)	11.3(32.9%)
Maximum strength at 40 mm displ(kN)	5.5	9.7(76.3%)	6(9%)	8.6(56.3%)	10(81.8%)	9.3(69%)	7.8(41.8%)	10.6(92.7%)
Initial stiffness(kN/mm)	0.5	1.8	2.1	1.6	1.7	1.9	2.1	1.8
Energy area(kN·m)	22.8	27.9	33.7	38.9	64.9	52.8	33.2	41.2
Ductility	3.5	4.4	4.0	5.2	7.7	7.9	6.2	9.6

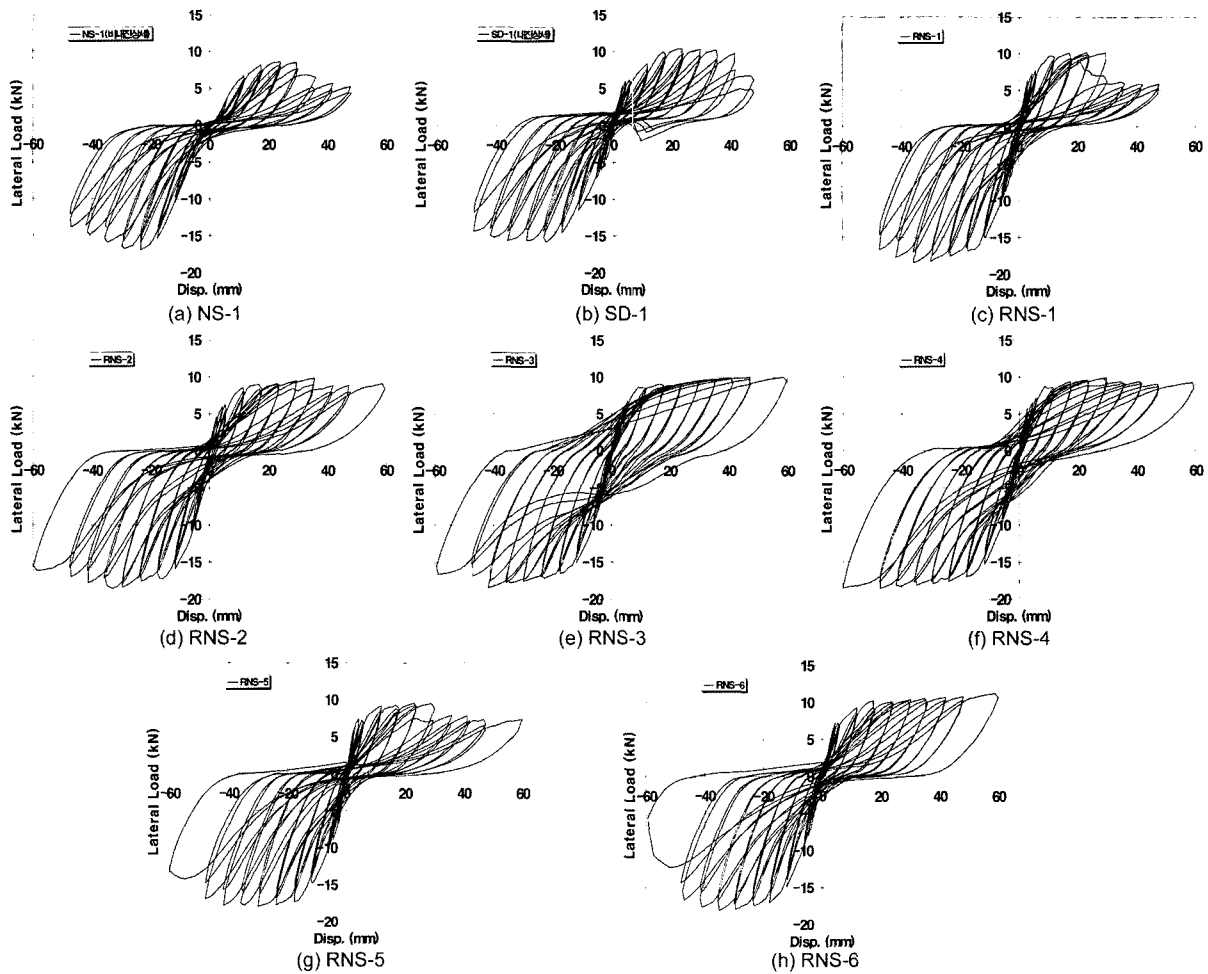


Fig. 10 Load versus displacement curves of test specimens

Concrete Institute(ACI) 318-02 기준이 정의하고 있는 극한 강도식을 통해 계산되었다. 원점과 점 A를 지나는 선은 실험 구조물의 효과적인 강성 K_e 로 정의된다. 실험 모델에 대한 항복변위 δ_y 는 점 A에서 B로 연장한 선에 따라 결정되었다.

예상했던 바와 같이 비내진상세를 가진 NS-1은 모든 능력이 가장 작게 측정되었다. 이는 접합부의 콘크리트를 구속할 수 있는 횡철근이 배근되지 않음으로 비탄성변형이 증가함에 따라 콘크리트의 균열과 철근의 부착파괴가 발생한 것으로 보인다. 20 mm의 횡변위를 넘어가면서 최대강도의 감소가 급격하게 나타나고 있다.

이에 비해 내진상세를 가진 실험 모델 SD-1은 Table 4에서 알 수 있듯이 최대강도 측면에서 NS-1이 8.5 kN일 때 10.5 kN을 기록하여 23.5%의 강도 증가를 보여 주었다. 또한, 40 mm의 횡변위에서 SD-1은 NS-1에 비해 76.3%의 강도 증가를 보여주며, 연성률에서도 4.4로 나은 능력을 나타내었다. 하중의 방향이 바뀔 때 보-기둥 접합부의 에너지 소산능력을 보여주는 이력곡선의 거동을 에너지 면적으로 비교할 수 있는데 22.8 kN·m의 에너지 면적을 가진 NS-1보다 27.9 kN·m를 보인 SD-1에서 더 나은 에너지 소산능력이 나타났다. 이는 적절한 내진상세로 배근된 보-기둥 접합부는 접합부의 취성적 전단파괴를 억제하고 설계상에서 의도한대로 보에서 소성힌지 발생을 통해 휨

파괴를 가질 수 있음을 보여주고 있다.

Fig. 10의 (c)에서부터 (h)까지는 CFRP의 보강을 통해 측정된 보강 실험 모델들의 그래프이다. 접합부 면내에 양 측면을 T형으로 보강하고 추가로 기둥과 보 사이에 상하면을 L형으로 보강한 RNS-1(Fig. 4 참조)은 Fig. 10의 (c)에서 보듯이 28 mm 횡변위에서 10 kN으로 SD-1과 비슷한 최대강도를 발휘하고, 33.7 kNm의 에너지 면적을 보여 SD-1보다 나은 에너지 소산능력을 보였으나 40 mm 횡변위에서는 6 kN을 보였고 연성률이 4.0으로 내진상세로 설계된 SD-1에 비해 그다지 좋은 보강 효과를 보여주지 못하였다. 이는 RNS-1의 보강방법이 횡하중을 전이하는데 적절하지 못한 것으로 관찰되었다.

이에 비해 보강섬유의 박리를 막기 위해 기둥 양단을 CFRP로 감은 실험 모델 RNS-2는 강도 면에서 내진상세로 설계된 SD-1과 유사한 성능이 나타났고 5.2의 연성률과 38.9 kN·m의 에너지 면적을 보이며, 연성과 에너지 소산능력에서 더 좋은 성능이 관찰되었다. 이로 미루어 보아 기둥에서 CFRP의 박리를 막기 위해 기둥 양단을 감았던 RNS-2 실험 모델이 RNS-1 실험 모델에 비해 강도를 유지하고 연성의 증가를 가져온 것으로 관찰되었다.

RNS-3과 RNS-4 실험 모델은 횡하중 가력시 보-기둥 접합부의 사인장 균열을 효과적으로 억제하기 위해 CFRP로 접합부면에 대해 경사를 가지고 X형태로 보강한 실험

모델이다. 접합부면내를 X형으로 보강(RNS-3)하고 이후 보-기둥의 접합부 상하면에 L형으로 보강(RNS-4)한 두 실험 모델이 비내진상세로 설계된 실험 모델의 보강 성능을 가장 높여준 것으로 관찰되었다. Table 4에서 볼 수 있듯이 횡변위의 증가에도 불구하고 초기의 최대강도는 SD-1과 비슷한 10 kN이 40 mm 횡변위까지 계속 유지되었으며, 연성률 4.4인 SD-1에 비해 RNS-3이 7.7, RNS-4가 7.9로 개선된 효과가 나타났다. 에너지 면적 또한 RNS-3, RNS-4 각각 64.9 kN·m, 52.8 kN·m를 보이며 모든 실험 모델 중에서 가장 좋은 성능을 발휘하였다.

이는 횡하중의 방향이 바뀔 때 접합부의 변형저항능력이 크게 남아있음을 의미한다. 또한 Table 4에서 강도 면에서는 내진상세를 가진 SD-1과 비슷한 성능을 보이고 가장 적은 CFRP 보강면적 4,800 cm²에 대해 64.9 kN·m의 가장 좋은 에너지 면적을 가지고, 7.7의 연성률을 보인 RNS-3이 가장 좋은 보강 성능을 발휘하는 실험 모델인 것으로 관찰되었다. 이로 미루어 보아 X자형 보강은 접합부의 내진보강에 효과적 시공 방법으로 관찰되었다. 이에 대해 횡하중이 작용하여 보-기둥 접합부에 변형을 부가할 때 사인장 균열이 접합부의 파손을 발생시켜 강도와 연성률의 감소를 가져오게 되는데, 이를 고려할 때 접합부에 대해 경사 50°내외를 가진 CFRP의 보강은 접합부내 콘크리트의 사인장 균열을 효과적으로 억제하고 접합부의 파손을 지연시키는 것으로 관찰되었다.

RNS-5는 기존의 보강 실험 모델 RNS-2에 다시 보의 단부를 U자형으로 감싸며 보강단부를 감은 것으로 9.5 kN의 최대강도가 40 mm 횡변위 제어에서 7.8 kN으로 감소하여 SD-1에 비해 보강 성능이 적은 것을 Table 4에서 볼 수 있다. 6.2의 연성률과 33.2 kNm의 에너지 면적은 SD-1보다 좋은 효과가 나타났으나 CFRP 보강면적을 비교해 RNS-3보다 효과가 작은 것으로 관찰되었다. 이로 미루어 보아 보의 하단부에 U자형 보강은 보-기둥 접합부의 보강성능에 두드러진 효과는 없는 것으로 조사되었다.

마지막으로 RNS-6 실험 모델은 기존 RNS-2의 실험 모델과 동일하게 보강하고 CFRP를 두 겹으로 감은 것으로 CFRP의 보강두께 효과를 조사하기 위함이다. RNS-6에서 2겹의 CFRP는 초기강성 측면에서는 효과가 적으나 횡변위가 증가함에 따라 불구하고 초기강도를 계속 유지하는 좋은 연성과 강도를 보여주었다. 그러나 13,364 cm²의 CFRP 보강면적이 RNS-3 실험 모델에 비해 거의 3배임을 고려할 때 좋은 보강방법은 아닌 것으로 판단된다.

Fig. 11은 모든 실험 모델들의 이력곡선에서 각 스텝마다의 최고 값들을 비교하기 위한 그래프이다. 비내진상세로 설계된 NS-1에서 가장 좋지 않은 성능이 현저히 나타났다. 이에 비해 ACI 318-02¹⁶⁾의 내진상세로 설계된 SD-1과 NS-1에 각기 다른 방법으로 CFRP가 보강된 실험 모델들은 항복 전까지 비슷한 보강 성능을 보이고 있다. 그러나 항복 후의 소성 단계에서는 많은 차이가 일어나는데 RNS-3, 4, 6을 제외한 나머지 실험 모델에서는 소성 상태에서 접합부의 과도한 전단파괴로 인하여 강도가 급

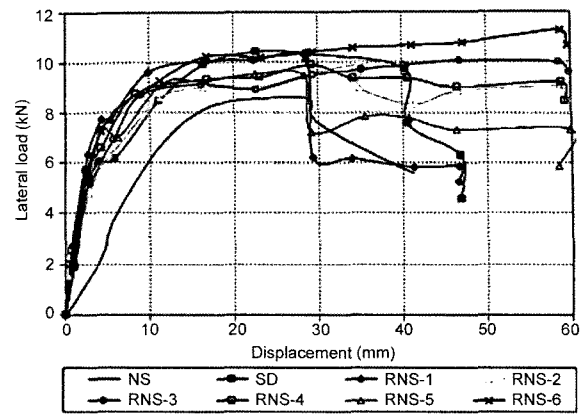


Fig. 11 Maximum load versus displacement curves of test specimens

격히 떨어지는 모습을 알 수가 있다. 전단에 대해 SD-1은 40 mm 횡변위에서 접합부의 전단파괴로 인한 급격한 강도 감소가 일어난 것을 Fig. 11에서 알 수 있다. 이에 비해 NS-1과 RNS-1, 5는 30 mm 횡변위에서 그리고 RNS-2는 35 mm 횡변위에서 급격한 강도 감소가 일어나 전단에 대해 내진상세를 가진 SD-1보다 좋지 않은 전단 성능이 나타난 것을 Fig. 11을 통해 알 수가 있다.

3.2 전체 파괴모드 비교

Fig. 12는 각 실험 모델에서 발생된 파괴양상을 보여주고 있다. 가장 심한 균열이 발생한 NS-1은 Fig. 12의 (a)에서 볼 수 있듯이 전단력에 의해 대부분 사인장 균열이 접합부내에서 일어났다. 초기균열은 6 mm 횡변위 제어에서 접합부내의 보-기둥 경계면을 따라 발생하였고 횡변위가 커질수록 접합부내의 사인장 균열로 발전하였다. 이에 비해 적절한 내진보강을 한 SD-1은 접합부내의 보와 기둥이 만나는 경계면의 균열은 일어났으나 NS-1에 비해 사인장 균열이 확연히 적게 난 것을 Fig. 12의 (b)에서 볼 수 있다. CFRP로 보강한 실험 모델의 파괴모드는 대부분이 CFRP의 박리에서부터 시작되었다.

가장 적은 보강효과를 보인 실험 모델 RNS-1은 18 mm 횡변위 제어에서부터 CFRP가 갈라지는 소리가 나고 접착제가 떨어지기 시작하였다. 24 mm 횡변위에서 접합부내의 보와 기둥이 만나는 경계면을 따라 CFRP의 접착에 쓰인 에폭시 수지 탑코트가 떨어지기 시작하여 전체적인 박리가 일어났다. 그 원인으로는 Fig. 12의 (c)에서 볼 수 있듯이 접합부내의 큰 전단파괴로 관찰되었다. RNS-2 역시 18 mm 횡변위 제어에서 CFRP가 떨어졌으며 30 mm 횡변위 제어에서 Fig. 12의 (d)에서 볼 수 있듯이 접합부내의 보와 기둥이 만나는 경계면 상하부에서 CFRP가 떨어지는 현상이 관찰되었다.

가장 좋은 보강효과를 보인 RNS-3은 Fig. 12의 (e)에서 볼 수 있듯이 CFRP의 박리 현상은 거의 나타나지는 않았으나 18 mm 횡변위 제어에서 접합부내의 보와 기둥이 만나는 경계면을 따라 균열이 시작되면서 36 mm 횡변위

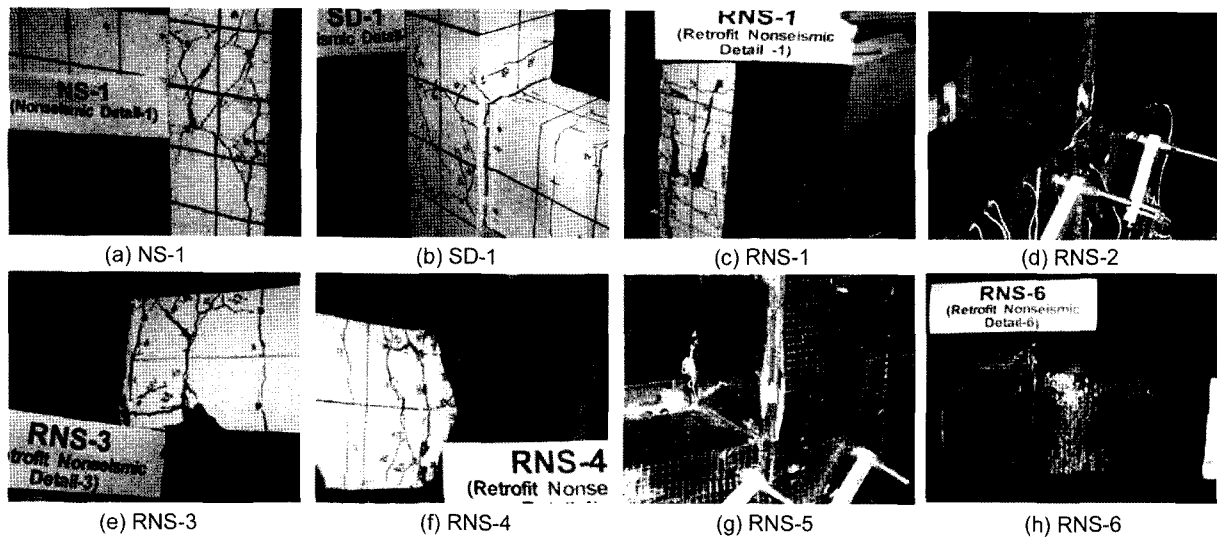


Fig. 12 Failure mode of each beam-column experiment

제어 이후 보 하부의 과도한 콘크리트의 박리가 발생하였다. 이를 방지하기 위해 RNS-3에 보-기둥 접합부내의 상하면을 L형으로 보강한 RNS-4는 Fig. 12의 (f)에서 보듯이 24 mm 횡변위 제어에서부터 접합부내의 보와 기둥이 만나는 경계면을 따라 균열이 일어났고 36 mm 횡변위 제어에서 보강면을 따라 CFRP의 박리가 발생하였다. RNS-5는 18 mm 횡변위 제어에서부터 접합부내의 보와 기둥이 만나는 경계면을 따라 에폭시가 떨어졌고 30 mm 횡변위 제어에서 경계면 상하부의 CFRP가 떨어지기 시작하였다. 48 mm 횡변위 제어에서 Fig. 12의 (g)와 같이 접합부 부근에서 CFRP가 완전히 박리됨을 볼 수가 있었다. RNS-6에서는 CFRP의 박리가 24 mm 횡변위 제어에서 접합부내의 보와 기둥이 만나는 경계면의 모서리에서 발생하였으며 이외의 추가적인 박리는 관찰되지 않았으나 Fig. 12의 (h)에서 볼 수 있듯이 보가 심하게 처지는 것이 관찰되었다. 이는 이미 CFRP의 박리가 국부적으로 일어나 30 mm 횡변위 제어에서부터 콘크리트의 심한 균열이 발생하여 파괴된 보-기둥 접합부가 CFRP에 의해 유지되고 있는 것으로 관찰되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 외부 접합부의 보-기둥 접합부에서 2차원 평면에서의 영향만 고려하였으므로 보다 정확한 보강 효과를 연구하기 위해서는 추가적으로 횡방향 보의 존재 유무와 슬래브의 존재가 차후 연구에 고려되어야 할 것이다. CFRP로 보강한 RC 보-기둥 접합부의 실험 연구에서 얻어진 결과는 아래와 같이 요약되었다.

- 1) 비내진상세로 배근된 실험 모델 NS-1은 접합부의 콘크리트를 구속할 수 있는 횡철근이 배근되지 않아 비탄성 변형이 증가함에 따라 콘크리트의 균열과 철근의 부착파괴가 발생하였고 횡변위가 증가함에 따라 급격하게 강도가 감소하는 취성적 거동을 보여 주었다.

- 2) 이에 대해 내진상세로 설계된 실험 모델 SD-1은 초기 강성과 강도 면에서 큰 증가를 보여 주었고 항복 후 횡변위가 증가함에도 최대강도가 초기와 근접하게 유지되는 연성적 거동을 보여 주었다.
- 3) 비내진 상세를 가진 실험 모델을 각각의 방법에 따라 CFRP로 보강된 실험 모델들은 비내진상세를 가진 실험 모델에 비해 최대강도가 횡변위 증가시에도 계속 유지할 수 있는 연성적 거동을 보여 주었다. 또한 지진으로부터 발생하는 에너지 소산능력을 보여주는 성능에서도 내진상세를 가진 실험 모델보다 월등히 큰 능력을 보여 주었다. 이는 비내진 보-기둥 접합부를 CFRP로 보강하였을 때 내진상세를 가진 실험 모델과 동등하거나 보다 큰 내진성능을 보여 줄 수 있는 것으로 관찰되었다. 이는 우리나라에서 비내진상세로 설계된 RC 보-기둥 골조 구조물에 설계와 시공 면에서 기술자에게 좋은 선택이 될 수 있음을 보여 주었다.
- 4) CFRP로 접착된 버강 실험 모델들 중 접합부내를 X자형으로 보강(RNS-3)하고 이후 보-기둥의 접합부 상하면에 L형으로 보강(RNS-4)한 실험 모델에서 성능이 가장 좋은 것으로 관찰되었다. 이는 CFRP의 인장력에 대해 저항할 수 있는 성능의 방향이 효과적으로 접합부내의 사인장 균열을 억제하고 접합부의 파손을 지연시키는 것으로 관찰되었다. 또한 접합부내의 X자형 보강이 보와 기둥 사이를 보강하는 접합부 상하면의 L자형의 보강 보다 내진성능을 증가 시키는데 효과적인 것으로 관찰되었다.

감사의 글

본 연구는 (주)삼성중공업 연구 개발사업(건기연 0503)의 지원과 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원의 지원(C106A1030001)에 의해 이루어진 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 우성우, 이한선, “비내진 상세를 가진 RC 보-기둥 접합부의 지진 거동”, 콘크리트학회 논문집, 15권 6호, 2003, pp.894-902.
2. Paulay, T. and Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Wiley, New York, 1992, pp.1~744.
3. 권기혁, 박상현, 최완철, 오상훈, 윤명호, 문태섭 “철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부 실물크기 실험체의 이력거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 19권 6호, 2003, pp.19~26.
4. 이원호, 유영찬, 이정한 “고강도 철근 및 고강도 콘크리트를 사용한 보-기둥 접합부의 비선형 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 17권 3호, 2001, pp.19~26.
5. 이철주, 이상호, “철근콘크리트조 외부 보-기둥 접합부의 전단강도에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 16권 6호, 2000, pp.21~28.
6. 하기주, 신종학, 최민권, 박효선, 장우혁 “철근콘크리트 건물의 리모델링을 위한 보-기둥 접합부의 내진성능 개선기술”, 대한건축학회 학술발표논문집, 23권 2호, 2003, pp.95~98.
7. 신영수, “탄소섬유쉬트에 의한 철근콘크리트 보의 전단보강 효과”, 대한건축학회 논문집, 15권 9호, 1999, pp.11~18.
8. 이원호, 임재형, “탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 휨내력 평가에 관한 실험연구”, 대한건축학회 논문집, 21권 6호, 2005, pp.3~10.
9. 김나정, 이은주, 신영수, 홍건호 “FRP로 보강한 철근콘크리트 보의 구조거동에 미치는 보강 면 처리의 영향”, 대한건축학회 논문집, 20권 1호, 2004, pp.75~82.
10. Costas P. Antonopoulos and Thanasis C. Triantafillou, “Experimental Investigation of FRP-Strengthened RC Beam-Column Joints”, *Journal of Composites for Construction*, Vol.7, Issue 1, February 2003, pp.39~49.
11. T. El-Amoury and A. Ghobarah, “Seismic rehabilitation of beam-column joint using GFRP sheets”, *Journal of Engineering Structures*, Vol.24, Issue 11, November 2002, pp.1397~1407.
12. Abhijit Mukherjee and Mangesh Joshi, “FRPC reinforced concrete beam-column joints under cyclic excitation”, *Journal of Composite Structures*, Vol.26, Issue 12, October 2004, pp.185~199.
13. Li, J., Samali, B., Ye, L., and Bakoss, S., “Behaviour of concrete beam-column connections reinforced with hybrid FRP sheet”, *Journal of Composite Structures*, Vol.57, Issues 1-4, July 2002, pp.357~365.
14. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준 해설, 한국콘크리트학회, 2000, pp.1~405.
15. 대한건축학회, 건축물하중기준 및 해설, 대한건축학회, 2000, pp.1~345.
16. ACI Committee 318-05, 318-02, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 1983, 1999, pp.1~442.
17. 이한선, “철근콘크리트 축소모델의 거동 상사성에 관한 연구”, 한양대학교 초대형구조시스템연구센터, 1996, pp.1~486.
18. Cheung, P., Park, P., R., and Paulay, T., “Seismic Design of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Floor Slab”, *Res. Report 91-4, Department of Civil Engineering*, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1991, pp.1~98.
19. Applied Technology Council, *Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures*, ATC-24, Redwood City, CA., 1992, pp.1~57

요약 적절한 내진상세로 설계되지 않은 철근콘크리트 구조물은 보-기둥 접합부내에서 취약한 전단파괴에 노출되고 큰 변형이 일어나, 구조적인 붕괴가 일어날 수 있다. 본 연구는 CFRP로 보강한 철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부를 반복 횡력을 적용하여 보강된 보-기둥 접합부의 내진성능을 알아보았다. 보-기둥 접합부의 구조적 성능을 향상시키기 위해 CFRP의 부착 위치나 두께를 달리하여 효과적인 보강방법을 관찰하고자 하였다. 비내진상세로 배근된 실험체 1개와 내진상세로 배근된 실험체 1개 그리고 비내진상세를 가진 실험체를 CFRP로 보강한 실험체 6개, 총 8개의 보-기둥 접합부 실험체에 반복횡력을 가하여 내진보강의 효과를 조사하였다. 반복 횡력을 적용하였다. 본 연구에서는 비내진상세를 가진 콘크리트 보-기둥 접합부에 대한 CFRP의 보강방법은 구조물의 강도와 연성을 증가시켜 구조물의 내진성능을 향상시키는데 효과적임을 보여 주었다.

핵심어 : 보-기둥 접합부, CFRP, 반복 횡력, 휨 능력과 연성, 내진상세