

CFRP로 보강한 비내진 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 실험

Experimental evolution of RC beam-column joints strengthened with CFRP

김민* 이기학** 이재홍*** 우성우****
Kim, Min Lee, Ki-hak Lee, Jae-hong Woo, Sung-Woo

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 may result in large permanent deformations and structural collapse. In this study, experimental investigations for RC beam-column joints strengthened with the carbon fiber-reinforced polymer(CFRP) under cyclic loadings were presented. The use of CFRP in the joint was varied to determine the effective way of improving the structural performances of RC joints. Ten RC beam-column joints were designed and tested with cyclic loadings. The experimental results showed that the use of CFRP in RC joints would be very effective solutions to improve the seismic performances of the non-seismic RC joints. All of the non-seismic design specimens strengthened with CFRP sheets showed the significant increase of strength and ductility.

1. 서론

최근 우리나라는 KBC 2005 내진기준의 적용에 따라 구조물의 구조설계 시 내진성능을 고려하고, 기존에 내진성능이 고려되지 않은 구조물에 대해 내진성능을 보강하는데 많은 관심을 보이고 있다. 특히, 골조 구조물에서 목표하는 내진성능을 만족할 수 있도록 중요한 역할을 하는 보-기둥 접합부가 지진이 발생했을 때 구조물에 큰 층간변위를 발생시키지 않도록 취성적 전단파괴를 억제해야 하며, 접합부에서 정착파괴가 발생하지 않도록 설계되어야 한다(Paulay and Priestly, 1992).

본 연구에서는 비내진상세로 설계된 철근콘크리트 건물의 외부 보-기둥 접합부를 CFRP(carbon fiber-reinforced polymer)로 보강한 후, 반복 횡하중 가력실험을 통해 내진보강 효과를 조사하였다. 실험 결과를 바탕으로 비내진상세를 가진 철근콘크리트 구조물의 외부 보-기둥 접합부의 취약점을 분석하고, CFRP의 적용에 따라 효과적 보강방법을 조사하였다. 이는 우리나라에서 비내진상세로 건설되었던 기존의 철근콘크리트 구조물을 실무에서 효과적으로 내진보강하기 위한 기초 자료로 쓰일 것으로 기대된다.

2. 실험체 제작 및 실험 계획

본 연구에서는 콘크리트구조설계기준 해설(한국콘크리트학회, 2000)과 건축물하중기준 및 해설(대한건축학회, 2000)에 따라 설계된 건물에서 가장 큰 횡력이 작용하는 외부 접합부를 구조 실험실의 규모와 가

* 정회원, 세종대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 세종대학교 건축공학과 조교수

*** 정회원, 세종대학교 건축공학과 부교수

**** 정회원, 고려대학교 연구교수

력기의 능력을 고려하여 하중 상사성의 조건에 의해 1/3로 축소된 원형 실험체를 제작하였다. 원형 실험체에 사용된 배근 변수는 2종류로 그림 1과 같은 우리나라 일반 시공현장에서 내진설계가 적용되지 않던 1988년 이전 구조물이나 5층 이하 구조물 등에서 사용된 비내진상세(보 상하부 주근이 접합부에서 아래로 정착, 접합부내 띠근 없음)와 그림 2와 같은 ACI 318-02의 내진상세에 의해 배근된 경우이다. 실제 실험체는 비내진상세를 가진 실험체 2개와 내진상세를 가진 실험체 2개, 그리고 비내진상세를 가진 실험체에 그림 3에 나타난 바와 같이 CFRP의 보강방법에 따라 6개의 실험체를 제작함으로써 총 10개의 실험체를 제작하였고, 모든 실험체를 그림 3에 나열하였다.

그리하여 그림 4에서와 같이 실험 장비들을 이용하여 지진하중에 대해 보 경간의 중앙점과 기둥높이의 중간위치에 변곡점이 생기는 것으로 가정하여 힌지를 설치하고, 상부 힌지부분에서 가력기의 횡변위 제어를 통해 횡력을 가하였다.

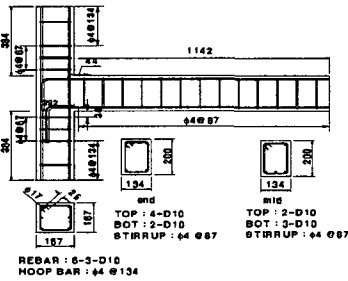


그림 1 비내진상세 배근도

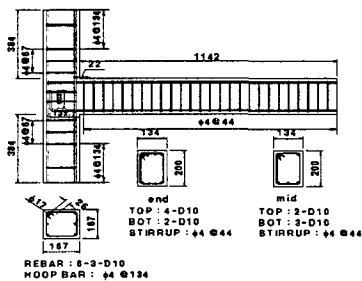


그림 2 내진상세 배근도

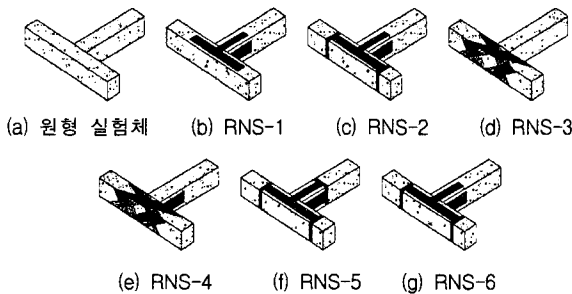


그림 3 원형 실험체와 보강 실험체의 제작

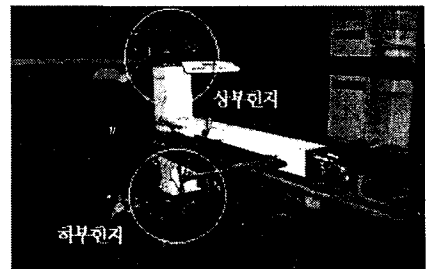


그림 4 NS-1의 실험 전경

3. 전체 이력 거동의 비교

모든 실험체의 전체 이력거동은 그림 5의 횡하중-횡변위 그래프와 표 1을 통하여 비교하였다. 또한, 모든 접합부 모델의 최종 파괴 형상을 그림 6에서 볼 수가 있다.

예상했던 바와 같이 NS-1의 내진성능이 가장 작게 나타났다. 이는 접합부의 콘크리트를 구속할 수 있는 횡철근(띠근)이 배근되지 않음으로 비탄성변형이 증가함에 따라 콘크리트의 균열과 철근의 부착파괴가 발생한 것으로 보인다. 그림 6에서 보는바와 같이 (a)의 NS-1이 접합부내에서 가장 두드러진 파괴가 일어났다. 이에 비해 내진상세를 가진 SD-1은 NS-1보다 향상된 내진성능을 보여주었다. 이는 적절한 내진상세로 배근된 보-기둥 접합부는 접합부의 취성적 전단파괴를 억제하고 설계 시 의도한대로 보에서 발생한 소성힌지를 통한 휨파괴를 가질 수 있음을 증명한다. 접합부 파괴형상도 SD-1은 NS-1보다 적게 발생한 것을 그림 6의 (a)와 (b)에서 볼 수가 있다.

RNS-1은 그림 5의 (c)에서 SD-1에 비해 그다지 좋은 보강효과를 보여주지 못하였다. 그 원인으로는

그림 6의 (c)에서 볼 수 있듯이 접합부내의 큰 전단파괴로 인한 CFRP의 박리로 생각할 수가 있다.

이에 비해 RNS-2는 내진상세로 설계된 SD-1과 유사한 성능을 보인 것을 표 1에서 알 수 있다. 이는 CFRP의 박리를 막기 위해 기둥 양단을 CFRP로 감은 보강방법이 내진성능을 향상시키는 것으로 볼 수가 있다. 그러나 그림 6의 (d)에서 볼 수 있듯이 CFRP의 박리가 접합부내에서 일어나 SD-1에 비해 더 나은 성능은 보여주지 못함을 알 수가 있다. 이로 미루어 볼 때 CFRP의 박리에 대한 영향은 접합부 실험체의 각 부재에서의 박리보다 접합부내에서의 박리가 더 큰 것으로 관찰되었다.

가장 좋은 내진성능은 그림 5와 표 1에서 볼 수 있듯이 RNS-3(접합부면내를 X형으로 보강)과 RNS-4(접합부면내를 X형으로 보강하고 보-기둥의 접합부 상하면에 L형으로 보강)에서 나타났으며, 다른 실험체들에 비해 좋은 에너지 소산능력을 보여 주었다. 이는 횡하중의 방향이 바뀔 때 접합부의 변형저항능력이 비교적 크게 남아있음을 의미하며, 또한 표 1에 나타낸 바와 같이 CFRP의 보강면적이 가장 적은 실험체가 RNS-3인 점을 고려할 때 X자형 보강은 접합부의 내진보강에 효과적인 것으로 관찰되었다. 이를 바탕으로 접합부에 대해 경사 50°내외를 가진 CFRP의 보강이 접합부내 콘크리트의 사인장 균열을 효과적으로 억제하고 접합부의 파손을 지연시키는 것으로 관찰되었다.

RNS-5는 RNS-2에 다시 보의 단부를 U자형으로 감은 것으로 연성률은 SD-1에 비해 좋은 성능을 보였으나 강도 면에서는 SD-1과 RNS-2 비해 좋은 성능을 보여주지 못하였다. 이로 미루어 보아 보의 하단부에 U자형 보강은 보-기둥 접합부의 보강성능에 두드러진 효과는 없는 것으로 조사되었다.

마지막으로 RNS-6 실험체는 기존의 RNS-2와 동일하게 CFRP를 두 겹으로 감은 것으로 CFRP의 보강 두께에 대한 효과를 조사하기 위함이다. 2겹의 CFRP는 초기강성 측면에서는 효과가 적으나 횡변위가 증가함에도 불구하고 초기강도를 계속 유지하는 좋은 연성과 강도를 보여주었다. 그러나 보강면적이 다른 보강 실험체보다 비경제적이고 그림 6의 (h)에서 알 수 있듯이 보가 심하게 처진 것이 관찰되었다. 이 보의 심한 처짐은 이미 CFRP의 박리가 국부적으로 일어나고, 콘크리트의 심한 균열이 발생하여 파괴된 보-기둥 접합부가 CFRP에 의해 유지되고 있는 것으로 관찰되었다. 이로 미루어 보아, RNS-3보다 좋은 내진성능을 보여 주지 못하였다.

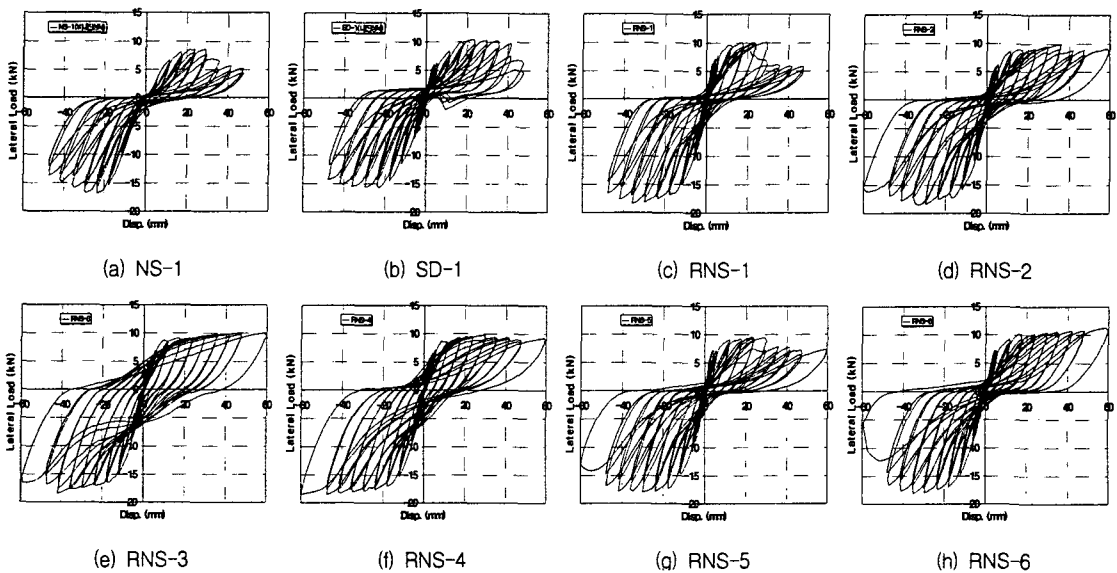


그림 5 보-기둥 실험체의 하중-변위 이력곡선 비교

※ 초기강성은 초기 변위제어인 +3mm 때의 강성임. ; 연성률은 최대강도80% 강도의 변위 / 항복상태의 변위 비임.

표 2 실험결과

	NS-1	SD-1	RNS-1	RNS-2	RNS-3	RNS-4	RNS-5	RNS-6
CFRP 보강면적 (cm ²)	-	-	6014	6682	4800	6274	7016	13364
최대강도 (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%)
40mm 강도 (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%)
초기강성 (kN/mm)	0.5	1.8	2.1	1.6	1.7	1.9	2.1	1.8
연성률	4.1	4.4	4	4.9	6.4	7.1	5.8	5.5

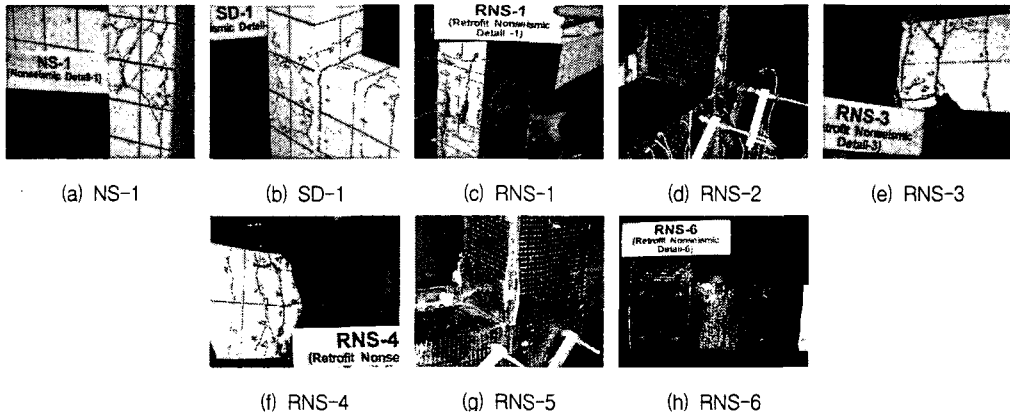


그림 6 보-기둥 실험체의 파괴 형상.

전체 실험 결과를 종합해 볼 때 강도, 강성, 보강면적, 그리고 에너지 소산능력을 고려할 때 RNS-3 실험체에서 가장 좋은 내진성능이 관찰되었다.

감사의 글

본 연구는 (주)삼성중공업 연구 개발 사업의 지원과 한국과학재단 목적 기초연구(R08-2003-000-11106-0) 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Paulay, T., and Priestley, M.J.N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Wiley, New York, 1992.
2. ATC-24, *Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures*, Applied Technology Council, Redwood City, CA, 1992.
3. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 1983, 1999.
4. 우성우, 이한선, “비내진 상세를 가진 RC 보-기둥 접합부의 지진 거동”, 콘크리트학회 논문집 Vol.15, No.6, 2003, pp. 894~902.