

철근콘크리트 골조의 내진보강을 위한 신기술 개발

Development of New Technique for Earthquake-Resistant Retrofit in Reinforced Concrete Frame

하기주* 신종학** 최민권*** 조용태*** 이상목*** 이영범***
Ha, Gee Joo Shin, Jong Hak Choe, min Kwon Cho, Yong Tae Lee, Sang Mok Lee, Young Bum

ABSTRACT

In this dissertation, experimental research was carried out to study the hysteretic behavior of reinforced concrete frame designed by high performance techniques, using carbon fiber plate, diagonal bracing system with or without steel frame.

Experimental programs were carried to evaluate the structural performance of such test specimens, such as the hysteretic behavior, the maximum horizontal strength, crack propagation, and ductility etc. Specimens(RFCP, RFXB, RFXB-F), designed by the improvement of earthquake-resistant performance, were attained more load-carrying capacity and stable hysteretic behavior.

1. 서론

최근 기존의 철근콘크리트 건물의 경과연수가 늘어나면서 구조물의 구조성능 저하 및 설계개념 변경에 따른 기존건물의 취약성 등으로 인하여 기존건물에 다양한 형태의 결함 및 문제점이 발생하고 있다. 이러한 기존 철근콘크리트 건물의 구조성능 개선을 위하여 현재까지는 기존의 건물을 철거하고 새로운 용도의 건물을 신규로 건설하고 있으나, 이로 인하여 국가적인 재산의 낭비는 물론이고, 기존 자원의 재활용 및 재사용 측면에서도 많은 문제점을 안고 있으므로, 기존 건축물의 구조성능 개선을 통한 재생은 대단히 중요한 과제이며, 국내 여건상 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 철근콘크리트 골조의 구조성능 및 내진성능 개선을 위하여 지진하중작용시 취약부위를 탄소섬유판보강 또는 골조보강 강재 브레이스 시스템을 도입하여 구조성능을 평가하고 개선안을 제시하여 기존 철근콘크리트 건물의 구조성능 개선을 위한 기초 설계자료를 제시하고자 한다.

2. 철근콘크리트 골조의 내진보강에 따른 구조성능 평가

2.1 실험계획

철근콘크리트 골조 및 골조 보강시스템의 구조성능 평가 및 개선을 위하여 지진하중 작용시 취약부분인 주두 및 주각부 탄소섬유판 보강, 철근콘크리트 골조 면내 X형 강재 브레이스 보강 및 철근

* 정회원, 경일대학교 건축공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 계명대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 경일대학교 대학원, 석사과정

콘크리트 골조 면내강재 골조 보강후 X형 강재 브레이스보강등을 주요 실험변수로 한 고성능 철근콘크리트 골조 및 골조 보강시스템의 구조성능을 평가하여 내진 설계의 기초자료로 제시하고자 한다.

2.2 실험체의 제작

지진하중과 같은 반복 주기하중을 받는 철근콘크리트 골조 및 골조 보강시스템의 구조성능을 평가하고 개선하기 위하여 실제 구조물의 1/3정도의 크기로 축소한 4개의 실험체를 제작하였다. 표준적인 철근콘크리트 골조 상세 및 보강시스템의 상세는 그림1 (a)~(d)와 같다.

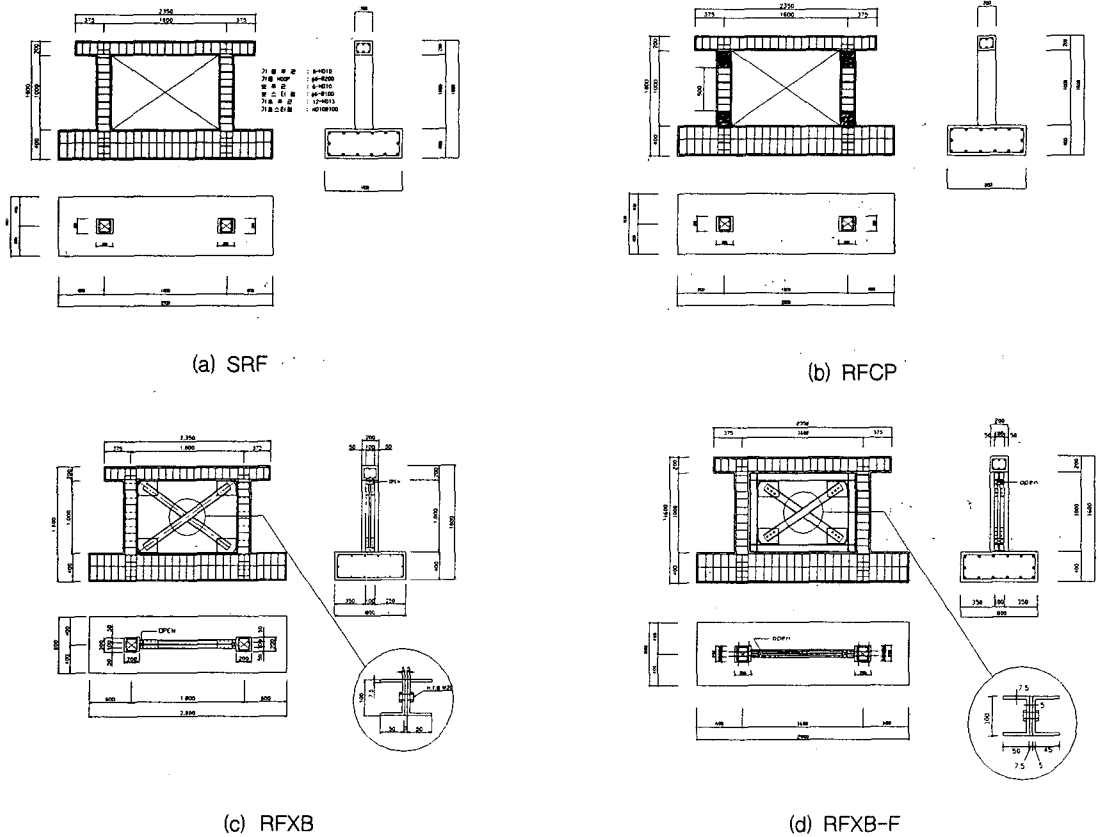


그림 1. 철근콘크리트 골조 및 보강시스템의 상세

2.3 사용재료 및 배합설계

본 연구에 사용한 콘크리트는 보통포틀랜드 시멘트와 최대 골재크기가 19mm인 쇄석골재를 사용하였으며, 표 1에 나타난 콘크리트 압축강도는 각각 9개의 공시체의 시험결과에 대한 평균 값이다. 철근은 SD40의 고강도 철근 및 $\phi 6.0$ 의 철선이 사용되었으며, 본 실험에 사용된 철근의 재료특성은 표 2와 같다.

표 1 콘크리트의 배합표 및 특성

| 압축 강도 (kg/cm^2) | W/C (%) | S/A (%) | 콘크리트 배합량(kg/m^3) | | | | | 슬럼프 (cm) |
|-------------------------------|---------|---------|-----------------------------|-----|-----|-----|------|----------|
| | | | 시멘트 | 물 | 모래 | 쇄석 | 혼화제 | |
| 210 | 53.8 | 46 | 336 | 181 | 798 | 962 | 1.68 | 15 |

표 2 철근의 재료특성

| 구분 종류 | 탄성계수 (kg/cm^2) | 항복강도 (kg/cm^2) | 항복변형도 ($\times 10^{-3}$) | 인장강도 (kg/cm^2) | 신율(%) |
|----------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------|
| $\phi 6$ | 2.3×10^5 | 2,800 | 2,534 | 4,570 | 31% |
| D10 | 1.95×10^5 | 4,550 | 2,333 | 6,360 | 29% |

2.4 실험장치 및 실험방법

본 연구의 실험은 경일대학교 구조실험실에서 반력벽과 반력바닥을 이용하였고, 철근콘크리트 골조 및 골조 보강시스템의 거동 파악 및 구조성능을 개선하기 위하여 4개의 모든 실험체에 기둥의 허용축하중 이내의 하중(각 12.5t)를 기둥에 일정하게 가력한 후 그림 2에서와 같이 반복 주기하중을 구조물에 가력하였다. 반복 주기하중의 재하속도는 전 실험체에 $T=60\text{sec}$ 로 가력하였으며 반복회수는 2사이클로 최종 파괴시까지 계속하여 가력하였다. 실험체의 설치상태 및 가력장치는 그림 3과 같다.

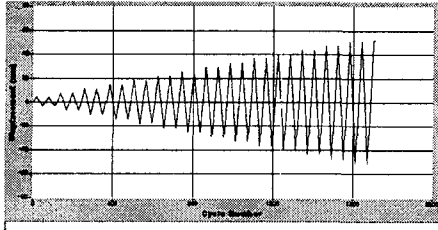


그림 2. 하중 이력형태 (Loading History)

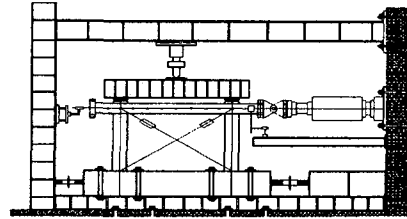


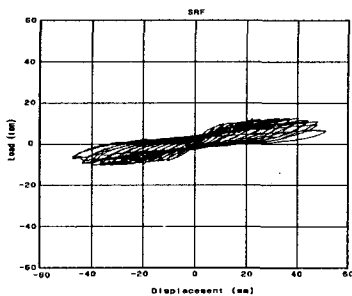
그림 3. 실험체 설치상태 및 가력장치

3. 고성능 철근콘크리트 골조 및 골조 보강시스템의 내진성능 평가 및 개선

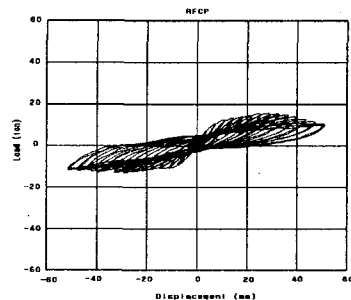
3.1 이력거동 특성

본 연구에서는 각 실험체의 이력거동 곡선을 구하기 위하여 반복주기하중을 가력하여 각 실험체의 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 그림 4(a)~(d)에서와 같이 구하였다.

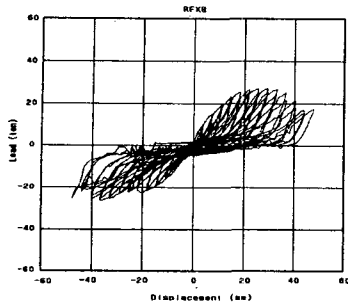
그리고 각 실험체의 이력거동 곡선을 구하기 위하여 반복주기하중을 가력하여 각 실험체의 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 그림 4(a)~(d)에서와 같이 구하였으며, 구조성능 및 내진성능 개선을 위한 실험체(RFCP, RFXF, RFXF-F)의 경우 기본 실험체 SRF에 비하여 강도 및 강성이 증대하였고 안정적인 이력거동을 나타내었다.



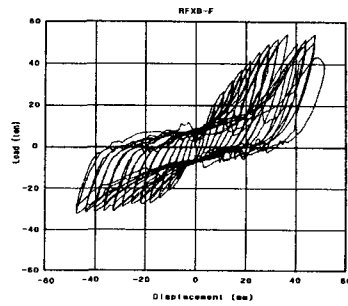
(a) SRF



(b) RFCP



(c) RFXB



(d) RFXB-F

그림 4. 각 실험체의 하중-변위 관계

3.2 파괴형태

본 실험에 사용된 각 실험체의 실험 종료시의 파괴형태는 그림 5(a)~(d)와 같다.

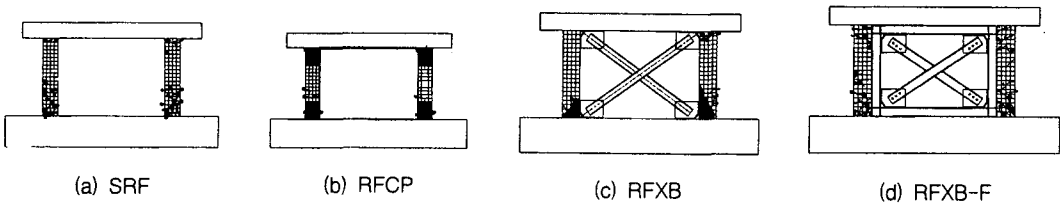


그림 5. 각 실험체의 실험중 또는 종료시 파괴형태

실험체 SRF는 수평하중 6.02ton, 변위 6.7mm에서 전면 좌측 기둥 주각부근에서 초기균열이 발생하였으며, 전단균열은 수평하중 9.46ton에서 좌측 기둥 주각부에서 발생하였다. 최대하중 12.64ton, 변위 40.4mm에서 전단균열은 수평하중 좌·우 주각을 중심으로 형성되었으며, 최대하중이후 실험체의 수평내력은 서서히 저하되어 수평하중 12.47ton, 변위 38mm에서 좌측 기둥 주두부에서 콘크리트 압괴 현상이 일어나고, 수평하중 9.46ton, 변위 47.7mm에서 좌·우측 기둥 주각부에서 슬립 현상과 함께 철근이 노출되고, 좌굴현상이 일어났다.

실험체 RFCP는 수평하중 7.5ton, 변위 4mm에서 전면 좌측 기둥 주각부에서 초기균열이 발생하였으며, 수평하중 10.8ton, 변위 16.8mm일 때 우측기둥 주각 탄소섬유판에서 균열이 발생하였으며, 수평하중 15.6ton, 변위 25mm에서 우측 기둥 주각의 탄소섬유판에 파괴가 일어났으며, 전단균열은 수평하중 15.7ton, 변위 28mm에서 좌·우측 기둥 중앙부에서 발생하였다. 최대하중 15.73ton, 변위 28.62mm에서 발생하였으며, 최대하중이후 실험체의 수평내력은 서서히 저하되어 수평하중 15.6ton, 변위 32.1mm에서 탄소섬유판의 우측주각 기초 섬유판에 균열이 발생하였고, 수평하중 14.35ton, 변위 36mm에서 좌측 기둥 주각 외측 탄소섬유판이 박리되고, 수평하중 14.2ton에 변위 39mm에서 좌측 기둥 주각 탄소섬유판이 탈락하였다. 수평하중 14.35ton에 변위 39.5mm에서 우측 기둥 주두부의 보-기둥 접합부에서 슬립현상이 일어났다.

실험체 RFXB는 수평하중 9.23ton, 변위 3.5mm에서 전면 좌측 기둥 주각·주두부근에서 초기균열이 발생하였으며, 전단균열은 수평하중 15.15ton, 변위 7mm에서 우측기둥 주각·주두부근에서 발생하였다. 수평하중 20.04ton, 변위 26mm에서 전면 우측 기둥 주각부 강재 브레이스와 콘크리트 접합 앵커볼트가 탈락하기 시작하여 수평하중 27.07ton, 변위 40mm에서 좌·우측 기둥 주각부 앵커볼트가 전

부 탈락하게 되었다. 최대하중 27.23ton, 변위 29.19mm에서 전단균열은 좌·우 기둥 주각을 중심으로 형성되었으며, 최대하중이후 실험체의 수평내력은 서서히 저하되어 수평하중 25.04ton, 변위 18mm에서 좌·우측 기둥 주각부에서 콘크리트 압괴 현상이 발생하고, 수평하중 24ton, 변위 40.4mm에서 좌·우측 기둥 주각부에서 슬립 현상과 함께 철근이 노출되고, 좌굴현상이 일어났다.

실험체 RFXB-F는 수평하중 18ton, 변위 8.3mm에서 전면 좌·우측 기둥 주각·주두부근에서 초기 균열이 발생하였으며, 전단균열은 수평하중 35ton, 변위 17mm에서 전면 우측 기둥 주각·주두부근에서 발생하였다. 수평하중 23ton, 변위 12.9mm에서 전면 우측 기둥 주각부 에폭시 충전부에서 균열이 시작하였고, 수평하중 35ton, 변위 17mm에서 좌·우측 기둥 주각·주두부 용접부 균열, 부(-)수평하중 25ton, 변위 16mm에서 우측 기둥 주두부 가선판부분이 좌굴되고, 부(-)수평하중 29ton에 변위 40mm에서 프레임과 기초 분리 및 상·하단부 앵커볼트가 탈락하였다. 최대하중 53ton, 변위 47.5mm에서 전단균열은 좌·우 주각을 중심으로 형성되었으며, 최대하중이후 실험체의 수평내력은 서서히 저하되어 수평하중 29ton, 변위 40mm에서 좌측 기둥 주각부에서 콘크리트 압괴 현상이 발생하였다.

3.3 강도 및 강성변화 특성

표준 철근콘크리트 골조 실험체 SRF의 경우 변위연성 4정도에서 최대내력에 도달하였으며, 변위연성 6이후에 급격히 내력이 감소하였다.

그리고 철근콘크리트 골조가 반복 주기하중을 받을 때 매우 취약한 주두 및 주각부에 탄소섬유판으로 보강한 실험체 RFCP의 경우 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력이 1.24배 증가하였고, 최대내력 이후의 이력거동도 매우 안정적인 거동을 나타내었다.

철근콘크리트 골조 면내에 강재 브레이스(X형)보강 실험체 RFXB의 경우 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력이 2.4배 증가하였다.

철근콘크리트 골조 면내에 강재골조 보강후 X형 브레이스로 보강한 RFXB-F의 경우 실험체 제작시 철근콘크리트 골조와 강재골조의 접합부분을 앵커볼트 체결후 에폭시를 사용하여 완전 접합하였다. RFXB-F의 경우 표준실험체에 비하여 최대내력이 각각 4.27배 증가하였다.

또한 표준실험체 SRF 및 실험체 RFXB에 비하여 내력이 현저하게 증가하는 이유는 첫째 철근콘크리트 골조 면내에 강재골조를 설치한 것과 철근콘크리트 골조와 강재골조의 접합부분을 앵커볼트 체결후 에폭시를 사용하여 완전히 접착하였기 때문인 것으로 판단된다.

반복 주기하중을 받을 때 각 실험체의 강성변화를 고찰하기 위하여 그림4 (a)~(d)의 각 실험체의 이력거동곡선을 비교한 결과, 탄소섬유판 보강 골조 실험체 RFCP는 표준실험체 SRF에 비하여 강성이 조금 증가하였고, 또한 X형 강재 브레이스 보강 실험체 RFXB, RFXB-F는 표준실험체 SRF에 비하여 강성이 현저히 증가하였다.

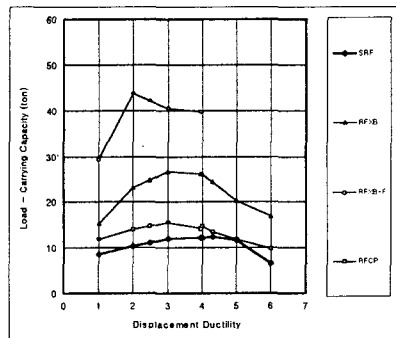


그림 6. 변위 연성별 각 실험체의 최대내력의 비교

4. 결 론

본 연구에서는 철근콘크리트 골조의 내력향상 및 구조성능의 개선을 통하여 구조물의 수명을 연장시키고 지진하중 작용시 건축물의 안전성을 확보하기 위하여 철근콘크리트 골조의 내력과 연성능력을 향상시키고 철근콘크리트 구조물의 안전성의 증대, 사용성의 변경 및 구조물의 수명을 연장시키기 위한 새로운 설계개념, 즉 철근콘크리트 골조의 취약부위 보강을 통한 구조성능 개선, 골조 보강시스템을 도입한 새로운 구조시스템의 구조성능 평가를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 철근콘크리트 면내에 강재 브레이스(X형)보강 실험체 RFXB의 경우 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력이 2.4배 증가하였다.
- 2) 철근콘크리트 골조가 반복 주기하중을 받을 때 매우 취약한 주두 및 주각부에 탄소섬유판으로 보강한 실험체 RFCP의 경우 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력이 1.24배 증가하였고, 최대내력 이후의 이력거동도 매우 안정적인 거동을 나타내었다.
- 3) 철근콘크리트 골조 면내에 강재골조 보강후 X형 브레이스로 보강한 RFXB-F의 경우 강재골조와 콘크리트의 접합면에 에폭시로 완전히 접착한 관계로 표준실험체에 비하여 최대내력이 각각 4.27배 증가하였으며, 에너지 소산능력도 현저히 증가함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부('99 건설기술연구개발사업)의 지원을 받아 수행되었으며, 도움을 주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 1) 하기주 외, "철근콘크리트 전단벽의 접합방식과 대각보강에 따른 내진성능 평가 및 개선", 한국구조물진단학회지, 1999. 7
- 2) 耐震改修の技術指針とディテールシート, 建築耐震設計者聯合 編, オーム社, 2000. 1
- 3) 既存鐵筋コンクリート造建築物の耐震補強事例集, SPRC 委員會編, (財)日本建築防災協會, 1995. 8
- 4) James Warner: Methods for Repairing and Retrofitting (Strengthening) Existing Buildings, Workshop on Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Building Construction, University of California, Berkeley, July 1977