

기존 철근콘크리트 골조의 리모델링을 위한 내진보강 기술의 구조성능 평가 및 개선

Improvement and Evaluation of Earthquake Resistant Retrofit Techniques for Remodeling of Structural Performance in Existing Reinforced Concrete Frames

하 기 주*
Ha, Gee-Joo

신 종 학*
Shin, Jong-Hack

이 상 목**
Lee, Sang-Mog

Abstract

Five reinforced concrete frames were constructed and tested to study the structural performance of retrofitting effect of reinforced concrete frame during vertical and load reversals simultaneously. All specimens were modeling in one-third scale size.

Experimental research was carried out to develop and evaluate the hysteretic behavior of reinforced concrete frame designed by high performance techniques, using carbon fiber plate, ALC panel, steel plate system with or without stiffener.

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, RFAR, RFSR, RFSR-S), designed by the improvement of earthquake-resistant performance, were attained more load-carrying capacity, energy dissipation capacity, and stable hysteretic behavior.

keywords : Remodeling, Technique, Structural Performance, Earthquake-Resistant Retrofit

1. 서 론

최근 기존 철근콘크리트 건물의 경과연수가 늘어나면서 구조물의 구조성능 저하 및 설계기준 변경에 따른 기존건물의 구조성능 및 내진성능의 취약성 등으로 인하여 기존 철근콘크리트 건물에 다양한 형태의 결합

및 문제점이 발생하고 있다. 이러한 기존 철근콘크리트 건물의 구조성능 및 내진성능 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 철근

* 정회원, 경일대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 경일대학교 대학원, 석사과정

● 본 논문에 대한 토의를 2001년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2001년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

콘크리트 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 지진하중 작용시 골조의 취약부위를 탄소섬유판보강, 골조 면내 ALC 판넬 보강 및 강판내진벽 보강 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 구조성

능 평가 및 개선을 위하여 지진하중 작용시 취약 부분인 주두 및 주각부 탄소섬유판 보강, 철근콘크리트 골조 면내 ALC판넬 보강, 철근콘크리트 골조 면내 강판 보강 및 강판 보강후 수식 스티프너 보강등을 주요 실험변수로 한 고성능 철근콘크리트 골조 및 골조 보강시스템의 구조성능을 평가하여 내진보강 및 설계시 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 5개의 실험체를 제작하였다. 표준적인 철근콘크리트 골조 및 보강시스템의 상세는 Fig. 1(a)~(e)와 같다.

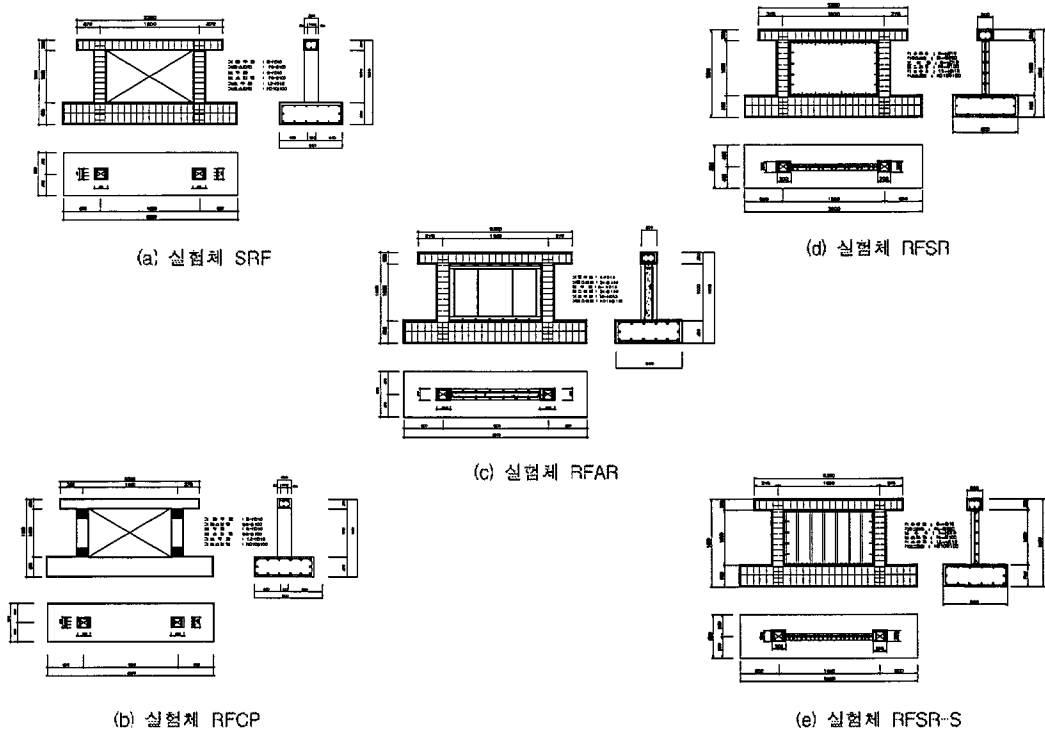


Fig. 1 철근콘크리트 골조 및 보강시스템의 상세

2.3 사용재료 및 배합설계

본 연구에 사용한 콘크리트는 보통포틀랜드 시멘트와 최대 골재크기가 19mm인 쇄석골재를 사용하였으며, Table 1에 나타난 콘크리트 압축강도는 각각 9개의 공시체의 시험결과에 대한 평균 값이나, 철근은 SD40의 고강도 철근 및 $\phi 6.0$ 의 철선이 사용되었으며, 본 실험에 사용된 철근의 재료특성 및 ALC 판넬의 물리적 특성은 Table 2 및 Table 3에 나타난 바와 같으며, 혼화제는 AE 고 감수제(Sika PC-1000)을 사용하였다.

2.4 실험장치 및 실험방법

본 연구의 실험은 경일대학교 구조실험실에서 반력벽과 반력바닥을 이용하였고, 철근콘크리트 골조 및 골조 보강시스템의 구조성능을 평가하고 개선하기 위하여 5개의 모든 실험체에 기둥의 허용축하중 이내의 하중(각 12.5t)를 기둥에 일정하게 가력한 후 Fig. 2

Table 1. 콘크리트의 배합표 및 특성

압축강도 (kgf/cm^2)	W/C (%)	S/A (%)	콘크리트 배합량(kgf/m^3)					슬럼프 (cm)
			시멘트	골	모래	쇄석	혼화제	
214	53.8	46	336	181	798	962	1.68	15

Table 3 ALC 판넬의 물리적 특성

비중		구조계산 중량 (kgf/m^3)	강도 (kgf/cm^2)			영계수 (kgf/cm^2)	열전도율 ($\text{Kcal/mh}^\circ\text{C}$)		건조수축율
절건	기진		압축	전단	인장		절건	기진	
0.50	0.52	650 이상	40 이상	5 이상	5 이상	1.75×10^4 이상	0.08	0.09~0.12	1.5×10^{-4}

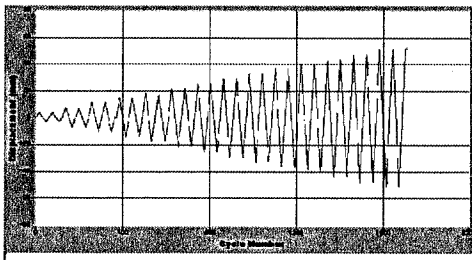


Fig. 2 하중 이력형태 (Loading History)

에서와 같이 반복 주기하중을 구조물에 가력하였다. 반복 주기하중의 재하속도는 전 실험체에 $T=60\text{sec}$ 로 가력하였으며 반복회수는 2사이클로 최종파괴시까지 계속하여 가력하였다. 실험체의 설치상태 및 가력상치는 Fig. 3과 같다.

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

3.1 이력거동 특성

본 연구에서는 각 설계변수에 따른 실험체의 이력거동을 규명하기 위하여 표준 철근콘크리트 골조 실험체 SRF의 기둥 주강면 기둥 주근에 부착된 스트레인게이지의 측정치가 항복변형에 이를 때 하중 작용점의 변위를 항복변위로 정의하였다. 그리고 각 실험체에 Fig. 2와 같은 반복 주기하중을 가하여 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 구하였으며, 그 결과는 Fig. 4(a)~(e)에 나타나 있다.

Table 2 철근의 재료특성

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

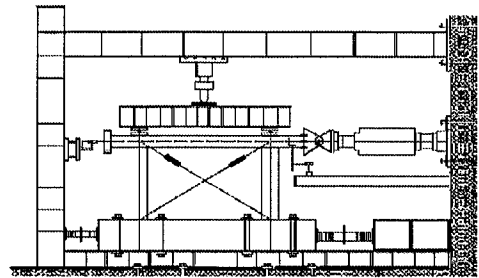


Fig. 3 실험체 설치상태 및 가력장치

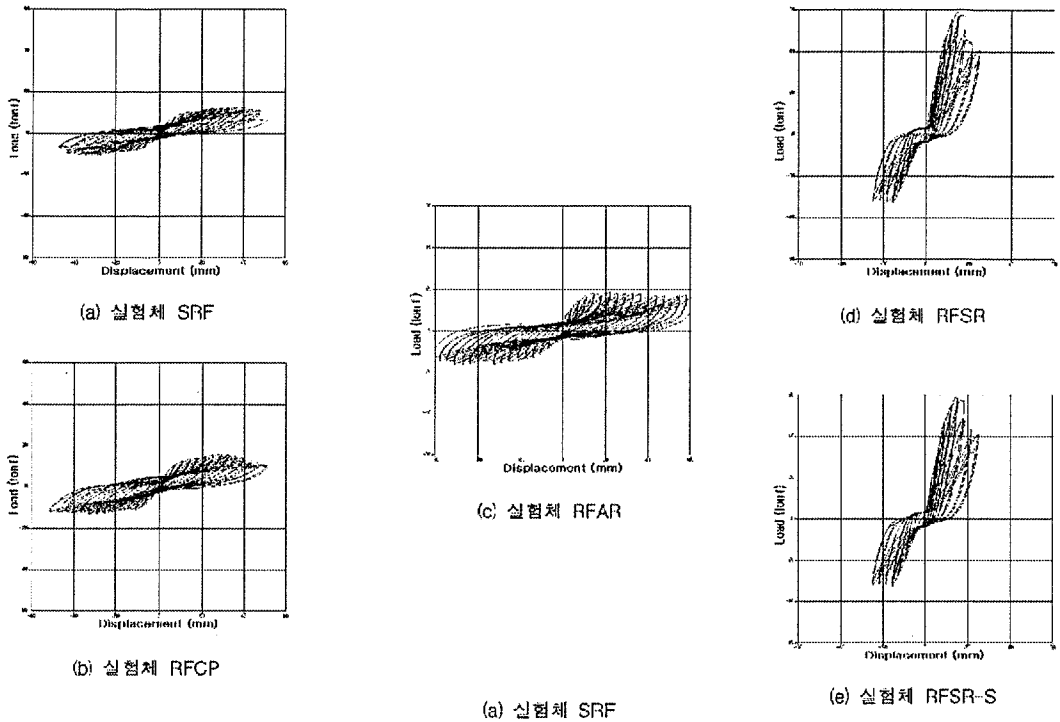


Fig. 4 각 실험체의 하중-변위 관계

부재의 이력거동 곡선은 골조 취약부에 탄소섬유판 보강, 골조 면내 ALC 판넬보강 및 골조 면내 강판보강 등에 따라 큰 차이를 나타내었고, 각 사이클 또는 변위 연성 마다 각 실험체의 에너지 소산능력, 강도 및 강성 변화, 파괴형태등을 고찰할 수 있었다.

표준실험체 SRF는 반복 주기하중이 작용할 때 재하 전반부는 안정적인 이력거동을 나타내었으나, 변위 연성 5이상인 재하 후반부에서는 강도 및 강성의 저하를 가져와 불안정한 이력거동을 나타내었다.

철근콘크리트 골조 면내에 ALC판넬을 보강한 실험체 RFAR의 경우 전 구간을 통하여 안정적인 이력거동을 나타내었다. 철근콘크리트 골조 면내에 강판을 보강한 실험체 RFSF, RFSF-S의 경우 실험체 SRF에 비하여 재하 전반부의 강도 및 강성이 매우 증가하였으나 재하 후반부에서는 급격히 떨어지는 불안정한 이력거동을 나타내었다.

강판보강 실험체 RFSR, RFSF-S의 경우 초기 강도 및 강성 면에서는 큰 효과를 나타내었으나, 보강강판과 콘크리트와의 접합면에서 콘크리트가 탈락하면서 내력이 급격히 저하함에 따라 연성능력이 감소하므로, 보강강판과 콘크리트와의 접합면 콘크리트의 성능개선과 시공기술의 개발이 요구되는 것으로 사료된다.

3.2 파괴형태

본 실험에 사용된 각 실험체의 실험 종료시의 파괴형태는 Fig. 5(a)~(e)와 같다. 실험체 SRF는 수평하중 6.02ton, 변위 6.7mm에서 전면 좌측 기둥 주각부근에서 초기균열이 발생하였으며, 전단균열은 수평하중 9.46ton에서 좌측 기둥 주각부에서 발생하였다.

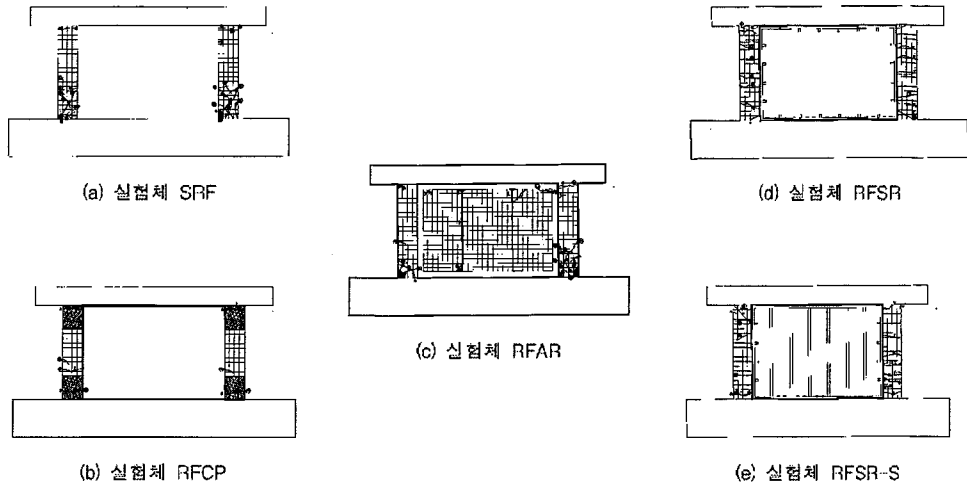


Fig. 5 각 실험체의 실험중 또는 종료시 파괴형태

최대하중 12.64ton, 변위 40.4mm에서 전단균열은 좌·우 주각을 중심으로 형성되었으며, 최대하중 이후 실험체의 수평내력은 서서히 저하되어 수평하중 12.47ton, 변위 38mm에서 좌측 기둥 주두부에서 콘크리트 압괴현상이 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 발생하였다. 그리고 수평하중 15.6ton, 변위 25mm에서 우측 기둥 주각의 탄소섬유판에 파괴가 일어났고, 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 주각의 우측 탄소섬유판이 박리되었으며, 수평하중 14.2ton에 변위 39mm에서 좌측 기둥 주각 탄소섬유판이 탈락하였다. 그리고 수평하중 14.35ton, 변위 39.5mm

에서 우측 기둥 주두부의 보-기둥 접합부에서 기둥 철근에 좌굴현상이 발생하였다.

실험체 RFAR는 수평하중 14.45ton, 변위 8.51mm에서 전면 ALC판넬 이음부 상·하부분에서 초기균열이 발생하였으며, 전단균열은 수평하중 18.28ton, 변위 21.23mm에서 전면 좌측 기둥주각·주두부에서 발생하였다. 수평하중 12.6ton, 변위 5.87mm에서 ALC 판넬 이음 접합부의 균열을 시작으로 ALC 판넬 상·하부와 좌측 기둥 접합부 균열이 발생하였으며, 수평하중 18ton, 변위 14mm에서 ALC 판넬 이음부 접합물팔이 탈락하였다. 최대하중 18.47ton, 변위 22.03mm에서 전단균열은 좌·우 주각을 중심으로 형성되었으며, 최대하중이후 실험체의 수평내력은 서서히 저하되어 수평하중 14.5ton, 변위 24.5mm에서 ALC 판넬 상부 접합부가 탈락하기 시작하여, 수평하중 16.15ton, 변위 32mm에서 ALC판넬 좌측 상·하단부분이 분리되었고, 수평하중 15ton, 변위 36.4mm에서 좌측 기둥 주각·주두부분에서 콘크리트 압괴가 발생되었다. 수평하중 17.5ton, 변위 24.4mm에서 우측 상단부 ALC판넬 접합부에서 ALC판넬의 미끄러짐현상이 발생하였다. 수평하중 15.4ton, 변위 53.8mm에서 좌·우측 기둥 주각부에서 철근노출과 좌굴현상이 발생하였다.

실험체 RFSR는 수평하중이 44ton, 변위 14.2mm에서 전면 좌측 기둥 주각·주두부근에서 초기균열이 발생하였으며, 전단균열은 수평하중 51ton, 변위 17mm에서 전면 우측 기둥 주각부에서 발생하였다. 수평하중 32ton, 변위 20mm에서 전면 좌측 콘크리트와 강관접합부에서 콘크리트 균열이 발생하기 시작하여, 수평하중 51ton, 변위 23mm에서 좌측 기둥 주두부와 강관과의 접합부에서 충전 예측시의 탈락 및 강관과 기초 상부콘크리트와의 접합면 콘크리트가 파괴되고 수평하중 51ton, 변위 21.8mm에서는 강관과 콘크리트와의 접합면이 분리되었다. 부(-)수평하중 43ton, 변위 20mm에서는 강관좌측 상단 보강프레임에 좌굴이 발생하였다. 최대하중 55ton, 변위 21.4mm에서 전단균열은 기둥 좌·우 주각을 중심으로 형성되었다.

실험체 RFSR-S는 수평하중 39ton, 변위 7mm에서 전면 우측 기둥 주두부근에서 초기균열이 발생하였으며, 전단균열은 수평하중 58ton, 변위 14mm에서 전면 좌측 기둥 주각·주두부에서 발생하였다. 수평하중 28ton, 변위 13mm에서 전면 우측 상단 보와 강관과의 접합부에서 균열이 발생하였다. 최대하중 58.3ton, 변위 14.4mm에서 전단균열은 좌·우 주각을 중심으로 형성되었으며, 최대하중이후 실험체의 수평내력은 저하되어 수평하중 39ton, 변위 21mm에서 보와 강관과의 접합부가 탈락하고, 부(-)수평하중 39ton, 변위 25mm에서 기초와 강관접합부가 탈락되면서 강관과 콘크리트와의 접합부 전체가 분리되었다. 수평하중 36ton, 변위 30mm에서는 우측기둥 주각·주두부에서 콘크리트 압괴현상이 발생하였다.

3.3 강도 및 강성변화 특성

반복 주기하중을 받을 때 각 실험체의 최대내력 및 강도 손실을 비교하기 위하여 변위 연성별 각 실험체의 강도와 항복강도의 비와의 관계를 Fig. 6에 도시하였다. Fig. 6을 고찰하면 변위연성 수준에 따라 각 실험체의 강도변화 특성을 정확히 파악할 수 있다.

표준 철근콘크리트 골조 실험체 SRF의 경우 변위연성 1정도에서 최대내력에 도달하였으며, 변위연성 5이후에 급격히 내력이 감소하였다. 철근콘크리트 골조

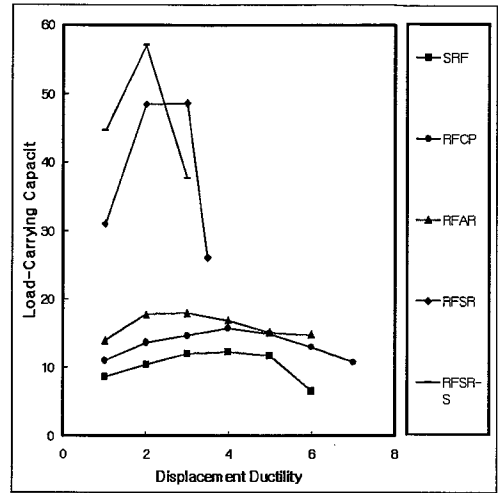


Fig. 6 변위 연성별 각 실험체의 최대내력의 비교

가 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 ALC 판넬을 보강한 실험체 RFAR의 경우 Fig. 6에서와 같이 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력이 1.45배 증가하였으며 실험 진행중 충분한 연성을 발휘하였으며, 안정적인 이력거동을 나타내었다. 철근콘크리트 골조 면내에 강관으로 보강한 실험체 RFSR의 경우 최대내력은 표준실험체 SRF에 비하여 약 4.6배 정도로 현저히 증가하였으나 최대내력이후 보강강관과 기초상부 콘크리트와 접합면이 탈락하면서 내력이 급격히 감소하였다.

강관보강 실험체 RFSR 및 RFSR-S의 경우 내력증대 면에서는 큰 효과를 나타내었으나, 보강강관과 콘크리트와의 접합면의 콘크리트의 성능개선이 요구되는 것으로 사료된다

3.4 에너지 소산능력

철근콘크리트 구조물의 내진성능을 평가함에 있어 에너지 소산능력은 대단히 중요하며, 철근콘크리트 구

조물의 설계시 높은 에너지 소산능력을 갖도록 설계되어야 한다. 일반적으로 에너지의 소산능력은 부재 또는 구조물의 이력거동곡선으로 둘러싸인 면적에 의하여 산정된다. 반복 주기하중을 받을 때 4 실험체의 에너지 소산능력을 평가하기 위하여 Fig. 4(a)~(e)의 이력거동곡선을 분석하여 비교한 결과 변위연성별 각 실험체의 에너지 소산능력은 Fig. 7과 같다.

본 연구에서는 반복 주기하중을 받는 철근콘크리트 골조의 고성능화 및 철근콘크리트 골조의 구조성능 개선을 위하여 골조 취약부에 탄소섬유판 부착, 철근콘크리트 골조 면내 보강재료 (ALC판, 강판)의 형태와 특성에 따른 효과를 이력거동곡선 및 Fig. 7를 통하여 비교·분석한 결과, 철근콘크리트 골조 면내 ALC판넬로 보강한 실험체 RFAR은 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력 이후 재하 후반부에서 ALC판넬 보강 효과로 인하여 충분한 연성능력의 확보 및 안정적인 이력거동을 나타내었으며, 변위연성 3에서 에너지 소산능력이 2.14배 증대함을 고찰 할 수 있었다.

철근콘크리트 골조 면내 강판보강한 실험체 RFSR, RFSR-S의 경우 강판보강에 따른 내력의 증가가 현저하여 변위연성 3에서 표준실험체 SRF에 비하여 에너지 소산능력은 각각 5.62배, 3.78배 증가하였으나, 최대내력 이후의 재하 후반부에서는 내력이 급격히 저

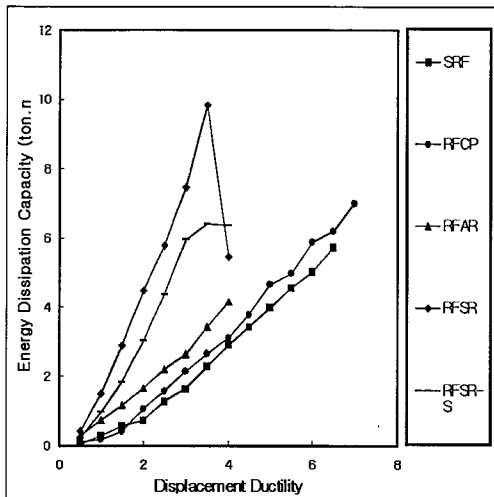


Fig. 7 변위 연성별 각 실험체의 에너지 소산능력 비교

하하였고, 재하 종료시 보강강판과 콘크리트와의 접합면에서 콘크리트가 탈락하면서 실험체가 파괴되어 불안정한 이력거동을 나타내었다.

철근콘크리트 골조 면내 강판보강 실험체의 경우 내력증가에는 큰 효과가 있으나, 에너지 소산능력의 충분한 확보를 위하여 보강강판과 콘크리트와의 접합면 부위의 성능개선을 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 철근콘크리트 골조의 구조성능 및 내진성능의 개선을 통하여 구조물의 수명을 연장시키고 지진하중 작용시 건축물의 안전성을 확보하기 위하여 철근콘크리트 골조의 내력과 연성능력을 향상시키고, 기존 철근콘크리트 건물의 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 골조가 반복 주기하중을 받을 때 매우 취약한 주두 및 주각부에 탄소섬유판으로 보강한 실험체 RFAR의 경우 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력이 1.24배 증가하였고, 변위연성 5에서 에너지 소산능력이 1.09배 증가하였다. 최대내력 이후의 이력거동도 매우 안정적인 거동을 나타내었다.
- 2) 철근콘크리트 골조 면내에 ALC 판넬을 보강한 실험체 RFAR의 경우 표준실험체 SRF에 비하여 최대내력이 1.24배 증가하였으며 실험 진행중 충분한 연성을 발휘하며 안정적인 거동을 나타내었으며, 변위연성 3에서 에너지 소산능력은 2.14배 증가하였다.
- 3) 철근콘크리트 골조 면내에 강판으로 보강한 실험체 RFSR, RFSR-S의 경우 최대 내력은 표준실험체 SRF에 비하여 각각 4.35배, 4.64배로 현저히 증가하고, 변위연성 3에서 에너지 소산능력은 각각 5.62배, 3.78배 증가하였으며, 최대내력 이후 보강

강판과 기초상부 콘크리트의 접합면이 탈락하면서 내력이 급격히 감소하였다.

- 4) 철근콘크리트 골조내 강판보강 실험체의 경우 내력증가에는 큰 효과가 있으나, 보다 안정적인 이력거동 및 에너지 소산능력의 확보를 위하여 보강강판과 콘크리트와의 접합면 부위의 성능개선을 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다.
- 5) 본 연구에서 제안한 철근콘크리트 골조 보강시스템의 경우 철근콘크리트 골조의 최대내력, 에너지소산능력, 파괴형태등에서 매우 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 하기주 외, "철근콘크리트 전단벽의 접합방식과 대각보강에 따른 내진성능 평가 및 개선", 한국구조물진단학회지, 1999, 7
2. 하기주, "고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 이력거동 및 내진성능 개선", 한국과학기술원 박사학위 논문, 1993.

3. 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
4. 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
5. 加藤 勉 外 多數, "鐵筋コンクリート造建築物の終局強度型耐震設計指針(案)・同解説" 日本建築學會, 1988.
6. James Warner: Methods for Repairing and Retrofitting(Strengthening) Existing Buildings, Workshop on Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Building Construction, University of California, Berkeley, July 1977.
7. A.E.Fiorato, R.G.Oesterle and W.G.Corley, "Behavior of Earthquake Resistant Structural Walls Before and After Repair," Journal of ACI, Vol.80, No.5, 1983, pp. 403-413.
8. A.E. Aktan and V.V. Bertero, Aug. "Seismic Response of R/C FRAME-Wall Structures," Journal. of ASCE, Vol.110, No.8, 1984, pp.1803-1821.

(접수일자 : 2001년 1월 3일)