

강재댐퍼로 보강된 철근콘크리트 골조의 내진성능 실험 연구

An Experimental Study on the Seismic Performance of RC Frames with Steel Dampers

박지영¹

Ji-Young Park¹

(Received August 31, 2010 / Revised October 11, 2010 / Accepted October 18, 2010)

요 약

본 연구에서는 RC골조의 내진보강을 위해 K형브레이스로 지지되는 강재댐퍼 설치방식을 제안하고 강재댐퍼에 의한 RC골조의 내진보강효과를 실험 및 설계식의 비교를 통해 검증하였다. 강재댐퍼로 보강된 RC골조의 성능은 RC골조 및 강재댐퍼의 강도-변형 관계를 각각 산정한 후 조합하여 산정하였다. 강재댐퍼 지지부재의 강성이 충분히 크지 않을 경우 댐퍼의 성능이 제대로 발휘될 수 없으므로 댐퍼의 지지부재인 브레이스의 강성 고려하여 강재댐퍼의 성능을 산정 하였다. 강재댐퍼 보강 RC골조의 내진보강효과를 확인하기 위한 실험은 비보강 RC골조를 기준 실험체로 하고 K형브레이스로 지지되는 강재 댐퍼의 설치 방법을 변수로 하여 횡력에 대한 실험체의 강도, 강성, 이력특성 등의 항목에 대해 평가하였다. 강재댐퍼 보강 RC골조는 강도, 강성, 에너지소산능력이 비보강 RC골조에 비해 우수한 것으로 나타나 강재댐퍼에 의한 보강효과를 확인할 수 있었다. 강재댐퍼 보강 RC골조의 실험결과와 설계식에 의한 성능을 비교한 결과 설계식이 강재댐퍼 보강 RC골조의 성능을 비교적 유사하게 나타낼 수 있는 것으로 검증되었다.

주제어 강재댐퍼, 비내진 RC골조, 내진보강, 댐퍼보강, 에너지소산능력

ABSTRACT

In this study, the influences of steel dampers on the behavior of RC frames were investigated using the experimental approach to suggest the installation methods of steel dampers using K-braces. The performances of RC frames with dampers can be evaluated by superposition the load-displacement curves of RC frames and steel dampers with regard to the influences of K-braces. Three specimens are tested to investigate the cyclic behavior of RC frames with dampers. The performances of RC frames with dampers with respect to strength, rigidity, and hysteretic performance are examined. It was found that test results demonstrates the effect of seismic retrofit on RC frames with steel dampers(D-RCF-KBSF, D-RCF-KBSP) compared with RC frames(N-RCF). An approximate design curves may not be good agreement with those of the tests, it is conservative enough so that you can design of RC frames with steel damper with regard to the influences of K-braces.

Key words Steel damper, RC frames, Seismic retrofit, Energy dissipation capacity

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

RC구조물에 대한 기존 내진보강법의 대부분은 구조물의 강성을 증가시킴으로서 지진하중에 견디는 방법이지만 지진력에 저항하기 위해서 구조물의 강성을 무한히 증가시킬 수는 없다. 구조물의 감쇠비를 증가시키는 방법으로서 에너지

흡수장치인 댐퍼를 설치하면 구조물의 지진응답을 효과적으로 줄일 수 있어 건물의 피해를 최소화 할 수 있다.

강재댐퍼가 적용된 제진구조는 지진 시 댐퍼에만 손상을 집중시키는 구조로 댐퍼를 조기에 항복시켜 효율적으로 에너지를 흡수하고 골조는 손상이 없도록 하는 시스템이다(오상훈, 2005). 이러한 시스템은 강진에 대한 구조적 퓨즈로서의 역할을 수행한다고 할 수 있는데, 지진 시 댐퍼에만 손상이

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: parkjy@lh.or.kr)

집중되므로 지진 후 복구가 용이하고 지진 설계하중 이 증가 된 경우에도 댐퍼를 교체하거나 추가 설치만으로도 대응할 수 있는 장점이 있다.

이러한 장점으로 인해 신축 강구조물 뿐만 아니라 기존 RC구조물의 내진보강을 위한 효율적인 구조로 인식되고 있다. 특히 비내진 설계된 RC구조물의 내진보강에 적용할 경우 일부 부재에 대해서만 제진장치를 설치함으로써 구조물 전체에 대해 지진에 대한 안전성을 확보할 수 있어 공기 및 비용 측면에서도 매우 효율적인 보강방법이다.

그러나 철골 구조물이 아닌 RC구조물에 강재댐퍼를 설치하여 보강효과가 충분히 발휘되기 위해서는 적절한 댐퍼 지지부재의 선정이 필요하며 기존 RC골조에 응력집중을 방지할 수 있는 기존 골조 및 신규 부재 간 접합상세가 필요하다 (Chen, 2001, 이정환, 2004). 특히 강재댐퍼 지지부재의 강성이 충분히 크지 않을 경우, 댐퍼의 성능이 제대로 발휘될 수 없으므로 지지부재의 강성을 고려하여 댐퍼설계를 수행해야 한다(Moreschi, 2000).

본 연구에서는 비내진 설계된 저층형 RC구조물을 대상으로 강재댐퍼를 이용한 내진보강을 위해 K형 브레이스로 지지되는 강재댐퍼를 채택하고 철근콘크리트 골조의 응력 집중 부를 강판으로 보강하는 댐퍼의 설치방식을 제안하였다. 기존의 설계식에 대해 댐퍼지지부재의 강성을 고려하는 방법을 제안하였으며 강재댐퍼로 보강된 RC골조의 내진성능 및 보강효과를 실험을 통해 검증하였다.

2. 강재댐퍼로 보강된 RC골조 설계

2.1 대상 구조물 및 이상화

내진설계기준이 제정되기 이전인 1983년에 설계된 공동주택을 대상으로 연구를 수행하였다. 표 1에서 보이는 바와 같이 내진보강이 비교적 용이하며, 보강시 우수한 효과를 발휘할 수 있는 단변 방향의 세대 간벽 부위를 대상 골조로 선정하였다.

표 1. 연구대상 RC골조의 형상 및 제원

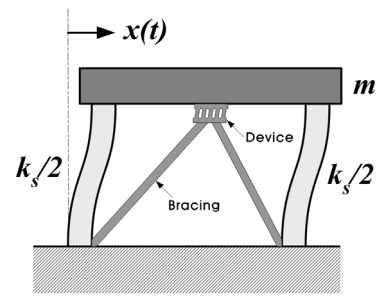
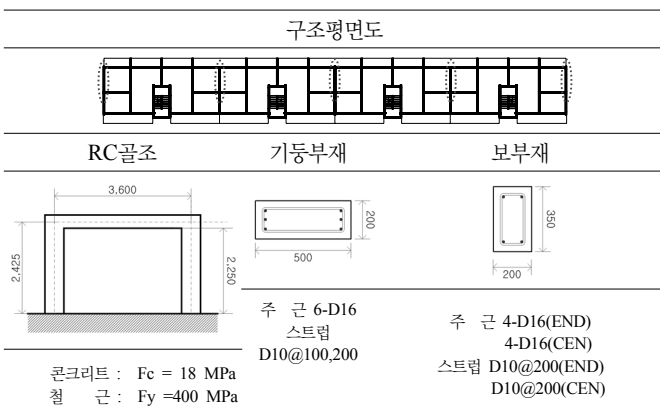


그림 1. 구조물의 이상화

표 2. RC골조의 하중-변위 관계

항목	균열점		항복점		최대점	
	ϵP_c (kN)	$\epsilon \Delta_c$ (mm)	ϵP_y (kN)	$\epsilon \Delta_y$ (mm)	ϵP_{max} (kN)	$\epsilon \Delta_{max}$ (mm)
계산값	44.59	0.44	178.35	9.11	178.35	75.00

ϵP_c : 균열하중, $\epsilon \Delta_c$: 균열변위, ϵP_y : 항복하중, $\epsilon \Delta_y$: 항복변위, ϵP_{max} : 최대하중, $\epsilon \Delta_{max}$: 최대변위

강재댐퍼를 적용한 RC골조의 개념도를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서와 같이 강재댐퍼는 RC골조 내부에 브레이스에 의해 지지되어 설치되었다.

댐퍼로 보강된 RC골조를 그림 1에서 보이는 바와 같이 병렬로 연결된 강성 구조물로 나타낼 수 있으므로 내력 및 변형특성은 RC골조와 댐퍼 및 지지부재의 성능을 각각 구한 후 조합을 통해 구할 수 있으며, 댐퍼 설치 후의 내진성능을 파악할 수 있다.

2.2 기존 철근콘크리트 골조의 성능

기존 RC골조의 수평하중에 대한 변형관계를 파악하기 위해 (재)일본건축방재협회(2001)의 「기존 철근콘크리트조 건축물의 내진진단기준·동해설」에서 제시하는 기둥부재의 강도 및 변형 산정 기준에 의거 산정하였다. 동 기준에서 RC골조의 내력은 보에 슬래브효과를 기대할 수 없거나 기둥에 비해 보의 단면이 극단적으로 작은 등의 특별한 경우를 제외하고는 기둥 내력의 합으로 산정하도록 하고 있다. 산정된 결과는 표 2에 나타내는 바와 같다.

2.3 강재 댐퍼의 설계

강재댐퍼는 여러 연구를 통해 다양한 형상의 댐퍼가 제안되었다. 슬릿의 형상에 따라 복원력의 특성이 달라지므로 각 댐퍼의 특성은 여러 차례의 실험에 기초하여 복원력 모델을 제안하게 된다. 본 연구에서 적용된 강재댐퍼의 형상 및 복원력 특성은 오상훈(1997)의 연구에서 Tri-linear형으로 이상화하여 제안한 것을 이용하였다. 기존 연구에서는 댐퍼의 설치를 위한 지지부재의 강성을 반영한 댐퍼 설계가 고려되지 않

앞으로 본 연구에서 댐퍼와 지지부재의 강성비를 고려하여 댐퍼를 설계하는 것을 제안하였다.

댐퍼의 설계를 위해서 RC골조가 항복하기 전까지 댐퍼의 소성변형에 의해 흡수된 에너지가 지진입력에너지보다 크게 되도록 댐퍼의 스트럿 형상 및 개수를 선정하였다. RC골조와 강재댐퍼의 항복비가 약 0.8~0.6으로 댐퍼가 먼저 항복하도록 설계되었다. 표 3에서 강재댐퍼 및 지지부재의 제원을 나타내고 있다.

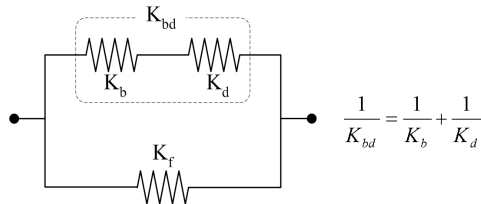
댐퍼를 지지하는 지지부재의 강성이 반영된 댐퍼의 내력을 산정하기 위해 그림 2에서와 같이 Moreschi(2000)이 제안한 강성조합을 사용한다.

강재댐퍼와 브레이스의 조합강성(K_{bd})은 Tri-linear형의 하중-변위 모델에서 각 구간별로 강성비를 고려하여 저감하고, 변위를 산정한다. 댐퍼가 항복하기 전 탄성구간에서는 댐퍼와 브레이스의 강성차이가 적어 조합강성이 저하되나 나머지 구간에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 브레이스의 강성을 고려하여 설계된 댐퍼의 하중-변위 관계를 표 4에 나

표 3. 강재댐퍼 및 지지부재의 제원

스트럿수	n=3	n=4
댐퍼		
지지부재	K 브레이스 H-150×150×7×10	K 브레이스 H-150×150×7×10

* 강재 SS400



K_{bd} : 댐퍼-브레이스 조합강성
 K_b : 브레이스 강성 K_d : 댐퍼 강성

그림 2. 지지부재를 고려한 댐퍼의 강성조합(Moreschi, 2000)

표 4. 지지부재 강성을 고려한 강재댐퍼의 하중-변위 관계

항목	항복 변위	항복 강도	최소 인장 변위	최소 인장 강도	최대 인장 변위	최대 인장 강도
	Δ_y	$s Q_y$	Δ_{Bmin}	$s Q_{Bmin}$	Δ_{Bmax}	$s Q_{Bmax}$
(단위)	mm	kN	mm	kN	mm	kN
n=3	0.49	83.18	10.46	175.80	34.24	217.55
n=4	0.49	108.87	10.46	229.97	34.24	285.61

타내었다.

2.4 강재댐퍼 보강 RC골조 성능

강재댐퍼 보강 RC골조의 성능은 RC골조의 내력 및 강재댐퍼의 내력의 조합으로 나타낼 수 있다. 그림 3은 전절에서 산정된 기존 RC골조의 성능과 지지부재의 강성이 고려된 강재댐퍼의 성능의 조합에 의해 강재댐퍼 보강 RC골조의 내력 및 변형을 산정한 결과를 나타내고 있다.

내력 산정시 댐퍼 설치를 위한 강재 프레임이나 강판의 영향은 무시하고 산정하였다. 강재댐퍼가 초기에 항복하고, 철근콘크리트 골조가 항복에 이르기까지 강재댐퍼의 소성변형에 의해 충분한 에너지를 흡수함을 예측할 수 있다.

3. 실험

3.1 실험체 계획 및 제작

실험체는 표 5에서 보이는 바와 같이 기준실험체인 비보강 철근콘크리트 골조(N-RCF) 및 K형 브레이스 프레임 댐퍼보강 골조(D-RCF-KBSF), K형 브레이스 강판 댐퍼보강 골조

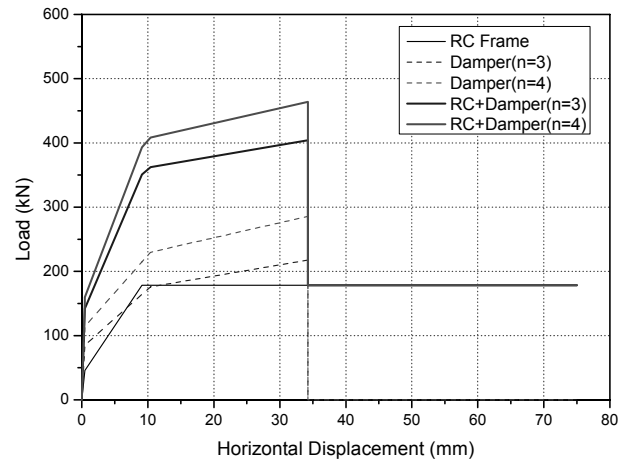


그림 3. 강재댐퍼 보강 RC골조의 성능

표 5. 실험체 개요 및 변수

실험체명	보강방법	댐퍼	연결재
N-RCF	비보강 철근콘크리트 골조	없음	없음
D-RCF-KBSF	댐퍼보강 골조 K형 브레이스 프레임 연결		K형 브레이스 H-150×150×7×10 프레임 H-200×200×8×12
D-RCF-KBSP	댐퍼보강 골조 K형 브레이스 강판 연결		K형 브레이스 H-150×150×7×10 강판 PL-20

(D-RCF-KBSP) 등 보강 및 연결방법을 변수로 총 3개를 실험체로 제작하였다. 실험체의 개요 및 변수는 표 2에서 보이는 바와 같다.

그림 4는 실험체의 형상 및 치수를 각각 나타낸다. 모든 실험체의 RC골조는 1983년 설계당시 철근배근을 그대로 적용하여 제작하였으며, 동일한 조건을 유지하기 위하여 강재 거푸집을 사용 PC로 제작하였고 기초, 기둥, 보 순으로 수직 타설하였다.

그림 4(b)에서 RC골조와 강재프레임은 에폭시수지를 주입하여 고정하였고 그림 4(c)에서 응력이 집중되는 브레이스

접합부는 일반적인 강판보강과 동일한 공법으로 시공하였다.

3.2 재료 물성

본 연구에서 사용된 콘크리트의 배합비, 콘크리트, 철근, 및 강판의 재료 물성은 표 6~표 9에 나타낸 바와 같다.

3.3 실험 방법

실험체의 설치상황은 그림 5에서 나타낸 바와 같이 실험체의 기초부가 완전 고정상태가 되도록 강봉을 사용하여 반력 바닥에 긴결하였으며, 보 양단부에 구멍을 뚫고 액츄에이터와 연결하는 보조철물을 설치하여 수평방향 하중이 전달되도록 하였으며, 횡방향으로 좌굴을 방지하기 위하여 가이드프

표 6. 콘크리트 배합비

설계강도 (MPa)	W/C	S/A	단위 골재량 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
18	56.0	43.2	169	321	891	1090

표 7. 콘크리트 강도특성

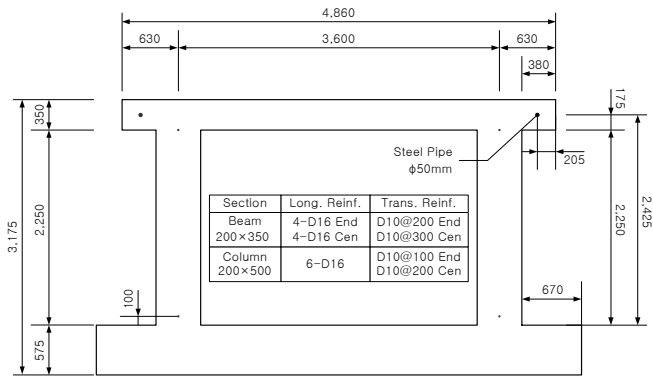
설계강도 (MPa)	압축강도(28일) (MPa)	탄성계수 (MPa)
18.00	24.69	2.38×10 ⁴

표 8. 철근의 기계적 특성

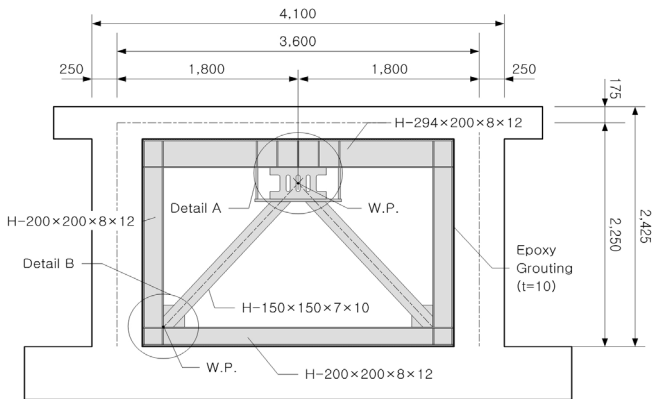
종류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복비 (%)	연신율 (%)
D10 (SD 400)	409.67	582.67	71.14	89.39
D16 (SD 400)	415.67	618.00	67.26	153.60

표 9. 강판의 기계적 특성

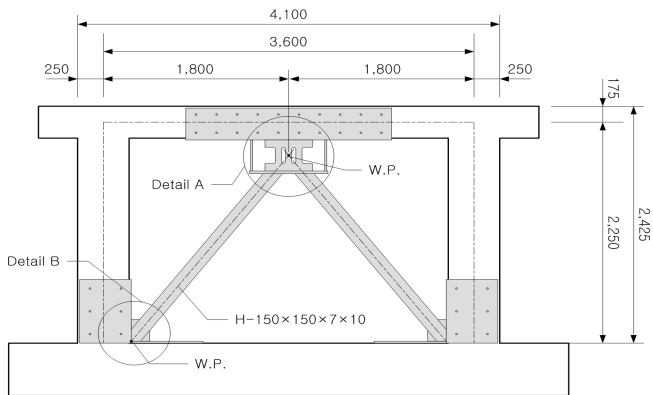
강재	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	항복비	연신율 (%)
SS400 t=12	214.77	409.92	2.3×10 ⁵	0.52	26.4



(a) N-RCF

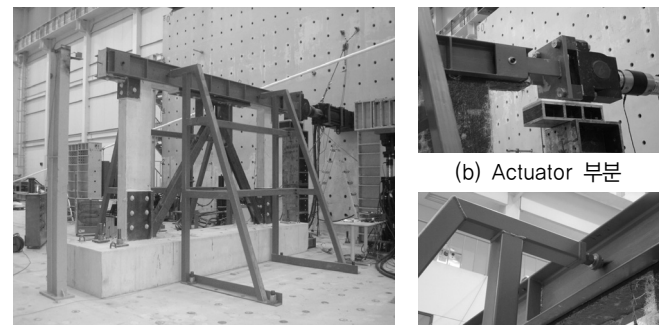


(b) D-RCF-KBSF



(c) D-RCF-KBSP

그림 4. 실험체 형상 및 치수



(a) 실험체 설치 상태

(b) Actuator 부분

(c) 횡방향 좌굴방지

그림 5. 실험체 설치 전경 및 부분상세

레이프 및 볼지그를 추가적으로 설치하였다.

횡하중은 반력벽에 설치된 2000 kN 용량의 유압식 액츄에이터(Actuator)를 사용하여 가력하였다. 가력시 액츄에이터 헤드의 회전을 방지하기 위하여 헤드 하부에 프레임을 설치하고 마찰력을 줄이기 위한 테플론프레이트도 설치하였다.

실험체 가력은 항복하중까지는 하중제어로 가력하고, 항복하중 이후에는 변위제어로 각 변위별로 3회 반복가력 하였다. 변위 가력 종료 시점은 최대하중에 대해 80%로 저하된 시점을 기준으로 하였다. 실험체의 변위를 측정하기 위하여 층변위 1개소 및 전단변위 2개소의 LVDT를 설치하였으며, 가력시 기초의 슬립 변위를 측정하기 위해 다이얼변위계를 설치 측정하였다. 철근의 변형률은 기둥과 보의 중앙부와 단부에 각각 6개씩, 총 18개의 게이지를 설치하였다.

4. 실험 결과

4.1 균열 및 파괴양상

각 실험체의 실험 종료 시의 균열 및 파괴 형태는 그림 6에 보이는 바와 같다. 그림 6(a)에서와 같이 비보강 RC골조 실험체인 N-RCF의 경우, 6cycle에서 최대하중에 도달하였으며, 기둥 하부와 보-기둥 접합부 부분에 균열이 진전되어 양 기둥 하부의 피복이 박리되어 최종파괴에 이르렀다.

그림 6(b)에서와 같이 RC골조에 강재 프레임을 부착하고 K형 브레이스와 댐퍼를 설치하여 보강한 실험체인 D-RCF-KBSF는 7cycle에서 최대하중에 도달하였으며 기둥 전반 및

보단부로 균열이 진전되었다.

간편한 시공을 위하여 RC골조와 강재프레임을 별도의 앵커볼트 매입 없이 에폭시만으로 접착하였기 때문에 그림 7(a)에서 보이는 바와 같이 RC골조와 강재 프레임이 분리되어 최대하중 이후 일체거동을 하지 못 하였으며 기둥 및 보 단부에 강재 프레임과의 이격으로 인한 부분적인 취성파괴가 발생하였다. 그림 7(b)에서는 D-RCF-KBSF 댐퍼의 최종 변형상태를 나타내고 있다. 댐퍼 스트럿에 변형이 발생하였으나 파단에 이르지 않았다.

그림 6(c)에서와 같이 RC골조에 K형 가새로 댐퍼를 연결하고 접합부위를 강판으로 보강한 D-RCF-KBSP 실험체는 7cycle에서 최대하중에 도달하였으며 기둥의 강판보강 상부 및 보 단부에 균열이 진전하여 최종파괴에 이르렀다. 그림 7(c)는 D-RCF-KBSP 댐퍼의 최종 변형상태를 나타내고 있다. 스트럿 상하단부에 변형 및 파단이 발생하였음을 확인할 수 있다.

4.2 하중-변위관계

그림 8에서는 각 실험체별 하중-변위 관계 이력곡선을 나타내고 있다. 그림 8(a)에서 나타낸바와 같이 N-RCF 실험체의 경우 최대하중이 176.19 kN으로 나타났으며 최대하중 이후 완만한 내력감소를 보이고 있다. 그림 8(b)에서 나타내는 바와 같이 D-RCF-KBSF 실험체의 최대하중은 641.32 kN으로 비보강 실험체 N-RCF에 비해 3.64배의 내력 증가를 보였

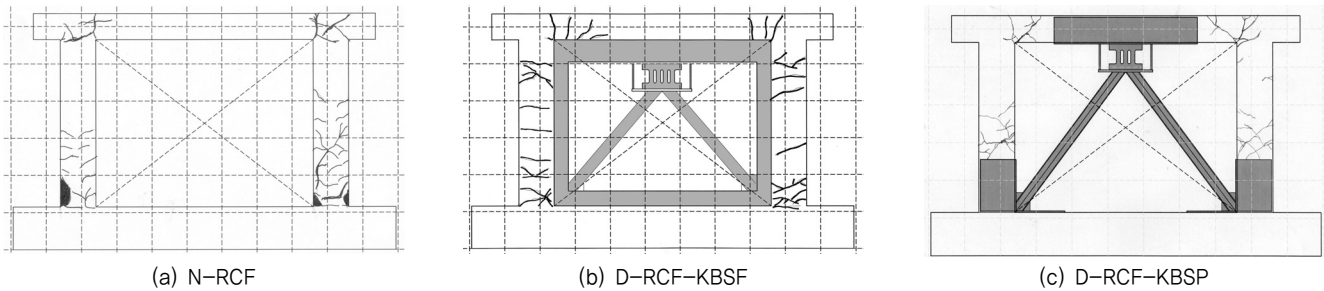


그림 6. 실험 종료 시 균열 및 파괴 양상

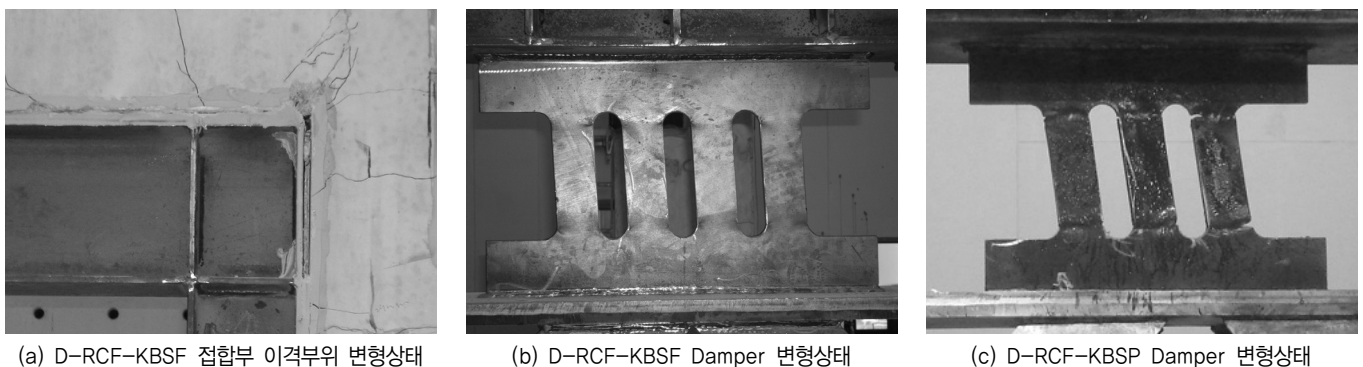
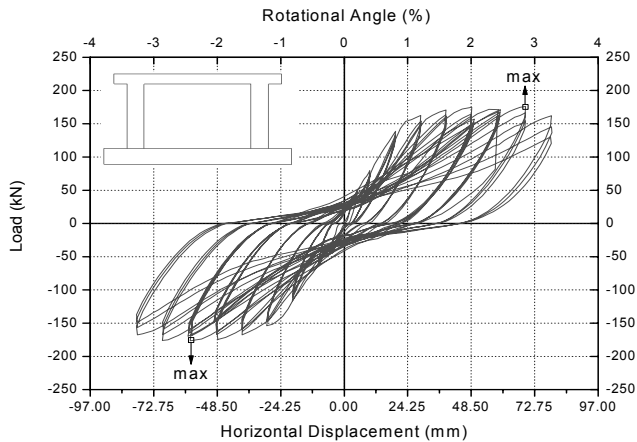


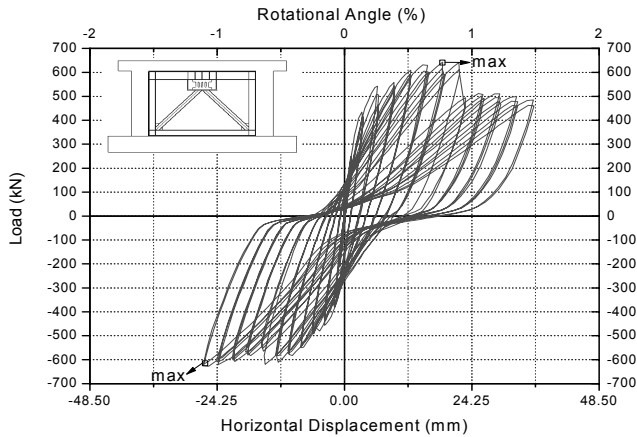
그림 7. 댐퍼보강 실험체의 댐퍼 및 골조의 변형상태

으며 최대하중 이후 급격하게 하중이 감소하였으나, 댐퍼의 항복 후 골조의 소성변형에 의해 일정하중을 유지하며 완만한 내력감소를 보이고 있다. 그림 8(c)에서 나타내는 바와 같이 D-RCF-KBSP 실험체의 최대하중은 541.90 kN으로 비보강 실험체 N-RCF에 비해 3.08배의 내력 증가를 보였으며 최대하중 이후에 급격하게 하중이 감소하였다.

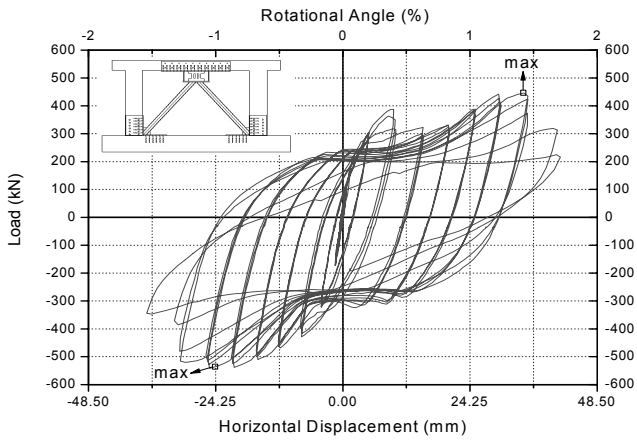
그림 8(b)의 D-RCF-KBSF 실험체의 경우 정·부방향의 변위의 차이가 발생하였는데 정·부방향의 가력이 동일하게 작



(a) N-RCF



(b) D-RCF-KBSF



(c) D-RCF-KBSP

그림 8. 실험체별 하중-변위 곡선

용하지 못하는데 원인이 있는 것으로 판단된다. 그림 8(c)의 D-RCF-KBSP 실험체의 경우 정·부방향의 변위의 차이가 발생하였는데 정방향 가력시 엑츄에이터 헤드의 미소한 처짐으로 인한 것으로 판단된다.

4.3 강성

그림 9에서는 하중 단계에 따른 각 실험체의 강성변화를 나타내고 있다. 하중 단계는 변위를 항복변위로 나눈 값이며 하중 단계가 높아질수록 실험체의 강성은 저하되는 것을 알 수 있다. 각 실험체에 대한 전반적인 강성은 골조 내부에 강재 프레임으로 보강된 D-RCF-KBSP 실험체가 가장 높고, 강판으로 일부 보강된 D-RCF-KBSF 실험체, 비보강 실험체 N-RCF 실험체 순으로 보강재에 비례한다. 비보강 실험체 N-RCF가 하중단계가 증가함에 따라 강성이 매우 완만하게 저하됨에 비해 D-RCF-KBSF 및 D-RCF-KBSP 실험체는 하중 단계 4까지 급격하게 감소하다가 그 이후 비교적 완만하게 감소함을 알 수 있다.

4.4 에너지 소산 특성

그림 10에서는 각 실험체에 대한 누적소산에너지를 나타

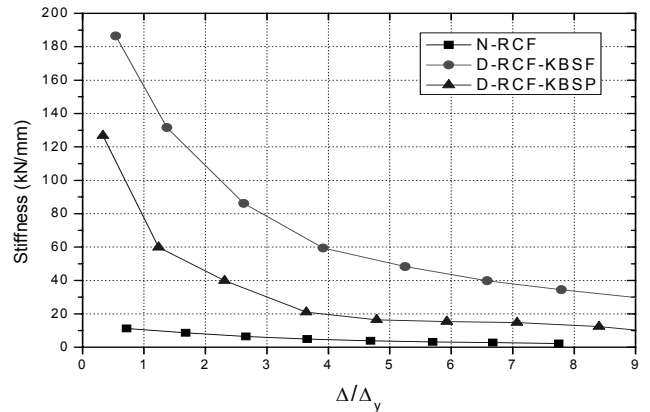


그림 9. 강성

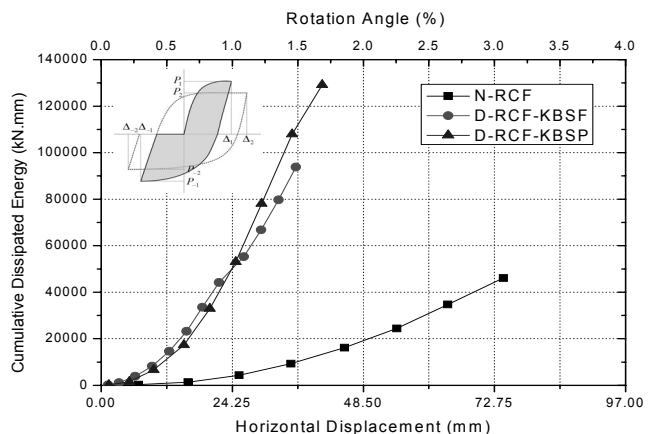


그림 10. 누적소산에너지

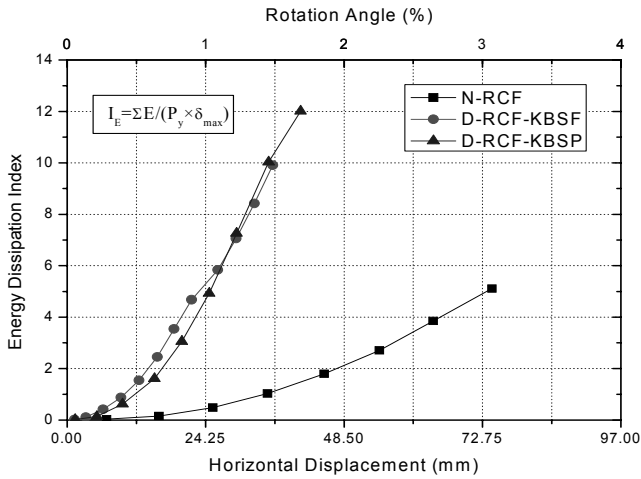


그림 11. 누적에너지소산지표

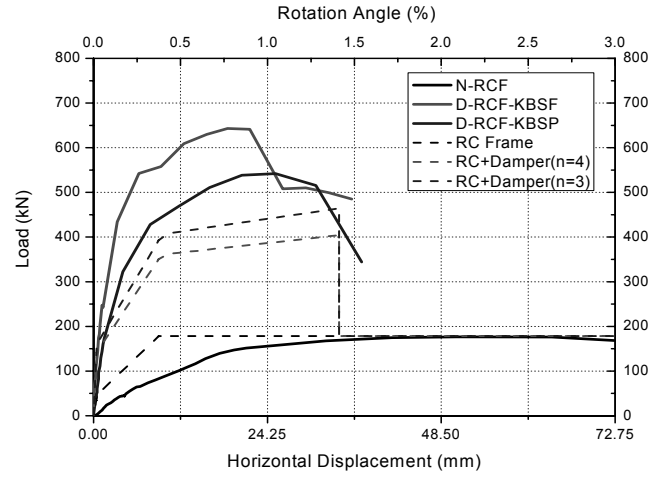


그림 12. 실험체의 단조화 하중-변위 관계 곡선

표 10. 실험체별 실험결과 비교

실험체명	방향	실험치		산정치	$P_y / e P_y$	실험치		산정치	$P_{max} / e P_{max}$	P_{max} / P_y	δ_{max} / δ_y	최대 내력비
		항복하중 P_y (kN)	항복변위 δ_y (mm)			항복하중 $e P_y$ (kN)	최대하중 P_{max} (kN)					
N-RCF	정	109.30	9.6	174.90	0.62	176.19	64.1	174.90	1.01	1.61	6.68	1.00
D-RCF-KBSF	정	387.80	2.4	319.53	1.21	641.32	21.8	475.82	1.35	1.65	9.08	3.64
D-RCF-KBSP	부	322.20	4.2	283.37	1.14	541.90	25.4	400.59	1.35	1.68	6.05	3.08

내고 있다. 누적소산에너지는 각 가력 사이클 별 소산에너지를 누적한 값을 나타내는 것으로 외부에서 작용하는 에너지를 흡수할 수 있는 능력을 나타내는 것이다. 최종 누적 소산 에너지는 비보강 실험체 N-RCF와 비교하여 D-RCF-KBSP 실험체가 2.8배 D-RCF-KBSF 실험체가 2.0배 큰 것으로 나타났다. 특히 D-RCF-KBSP 실험체는 댐퍼 보강시 별도의 프레임 설치 없이도 댐퍼가 충분히 능력을 발휘하는 것으로 확인되었다.

그림 11에서 나타내고 있는 누적에너지소산지표는 누적소산에너지를 항복하중과 최대하중시 변위의 곱으로 나누는 것으로 비보강 실험체 N-RCF가 완만하게 증가함에 비해 강재댐퍼 보강 실험체 D-RCF-KBSF 및 D-RCF-KBSP는 변형각 1.5%까지 급속하게 증가하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 지진하중에 대한 허용충간변위인 변형각 1.5%를 기준으로 비보강 골조 실험체 N-RCF가 약 1이고, 댐퍼 보강 실험체 D-RCF-KBSF 및 D-RCF-KBSP는 약 10에 달하는 것으로 나타나 충분한 에너지소산 능력을 가지고 있음이 확인되었다.

4.5 설계성능과의 비교

표 10에서는 각 실험체의 하중 및 변위 실험치와 산정치의 비교를 나타내고 있다. 각 실험체의 최대하중을 살펴보면 N-RCF 실험체는 산정치의 1.01배 D-RCF-KBSF 및 D-RCF-KBSP 실험체는 각각 산정치의 1.35배로 나타났다. 댐퍼보강

실험체의 경우 산정치에 비해 실험치가 35% 높은 것은 댐퍼를 제외한 보강재의 기여도를 내력에 반영하지 않았기 때문이기도 하다.

각 실험체의 항복하중을 살펴보면 N-RCF 실험체는 산정치의 0.62배 D-RCF-KBSF 및 D-RCF-KBSP 실험체는 각각 산정치의 1.21배 및 1.14배로 나타났다. 비보강 실험체 N-RCF의 항복하중이 산정치의 0.62배로 낮은 것은 내력 산정 시 RC골조는 강한 보가 기둥을 연결하고 있다는 가정 하에 기둥 내력의 합으로 산정한데 비해 실험체 설계 시에는 보에 슬래브의 구속효과를 고려하지 않아 보의 강성이 실제보다 작아 골조 전체의 초기강성이 낮아진 것으로 판단된다. 그러나 실제 구조물의 거동에서는 보와 연결된 슬래브의 영향이 반영되므로 보가 충분히 강성을 발휘하여 골조의 항복하중은 산정치에 보다 근접할 것으로 판단된다.

그림 12에서는 각 실험체의 단조화 하중-변위 관계 곡선 및 전장에서 산정된 비보강 RC골조 및 댐퍼보강 RC골조의 하중-변위 곡선을 비교하여 나타내고 있다. 실선으로 표시된 곡선은 실험치를 점선으로 표시된 곡선은 산정치를 각각 나타낸다.

전반적인 하중-변위 곡선의 경향은 실험치가 산정치를 상회하고 있으며, 산정곡선이 실험곡선의 경향을 비교적 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 추후 댐퍼를 제외한 보강재의 영향이 반영된다면 보다 정확한 평가가 가능할 것으로 생각된다.

5. 결론

강재댐퍼를 적용하여 비내진 RC골조를 내진보강하기 위해 K형 브레이스에 의해 지지되는 방식을 제안하고 댐퍼에 지지부재의 강성을 반영하여 설계하는 것을 제안하였다. 내진보강효과 및 거동특성을 실험을 통해 파악하고 산정치와 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 제안된 강재댐퍼 보강 RC골조는 비보강 RC골조에 비해 3배 이상의 최대 내력의 증가를 보였으며 보강재의 영향으로 전반적으로 강성 증대 효과가 나타났다.
2. 최종 누적소산에너지는 비보강 RC골조에 비해 강재댐퍼 보강 RC골조가 2.0-2.8배의 크며, 지진하중에 대한 허용충간변위를 기준으로 약 10배 정도의 에너지소산 능력을 가지고 있음이 나타났다.
3. 강재댐퍼로 보강된 RC골조의 거동 산정치는 실험치를 유사하게 예측하는 것으로 판단되며 댐퍼 외에 강재 프레임 및 강판 보강재의 영향이 반영된다면 보다 정확한 평가를 할 수 있을 것으로 사료된다.
4. RC골조 내부에 강재 프레임을 설치하고 예폭시수지로 접합하여 댐퍼 보강한 실험체는 강도, 강성 및 에너지소산능력이 비보강 RC골조에 비해 우수한 성능을 나타내었으나 초기에 접합이 분리되어 댐퍼의 성능을 충분히 발휘하지 못하였다.
5. RC골조에 브레이스를 직접 접합하여 강재댐퍼를 설치한 실험체는 강도, 강성 및 에너지소산능력이 비보강 RC골조에 비해 우수하였으며, 댐퍼가 초기 항복한 후 RC골조가 항복에 이르기까지 댐퍼의 소성변형에 의해 에너지가 충분히 흡수되어 우수한 댐퍼의 성능을 나타내었다.

본 연구에서 제안한 RC골조에 브레이스를 직접 접합하여 강재댐퍼를 설치하는 방식은 강재 프레임으로 보강 설치하는 방식에 비해 최대 강도 및 강성은 떨어지나 댐퍼의 능력을 충분히 발휘하는 에너지소산능력이 뛰어난 구조임을 알 수 있으며, 기존 RC골조의 내진보강을 위해 시공성, 경제성 측면에서도 적절한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 LH와 상영엔지니어링(주)가 공동으로 연구한 결과이며, (주)DRB동일의 시험체 제작을 위한 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 신종익·이정환·송한범·강대언·오상훈·차승렬·이용재·김상대·이원호(2004), “강재 슬릿형 댐퍼를 부착한 철근콘크리트조 골조의 거동”, 「대한건축학회 학술발표논문집」 제24권 제1호, pp.75-78.
2. 윤현도·김선우·이갑원·최창식·이혜연(2006), “고인성 시멘트 복합체를 사용한 끼움벽으로 보강된 비내진 상세 철근콘크리트 골조의 내진성능”, 「대한건축학회논문집」 22권 5호, No.2-A, pp. 403-412.
3. 오상훈·김영주(2005), “슬릿플레이트 댐퍼를 가진 기둥 - 보 접합부 이력거동”, 「대한건축학회논문집」 제21권 제12호, pp. 101-108.
4. 이수진·박지영·오상훈·윤영호(2003), “슬릿형 댐퍼를 이용한 구조시스템의 구조적 거동”, 「대한건축학회 학술발표대회 논문집」 제23권 제1호, pp.133-136
5. 이정환 (2004), “중저층 건축물의 내진성능 및 내진보강 -순수 조적조, 조적채움벽 철근콘크리트 골조 및 강재슬릿댐퍼 보강 철근콘크리트 골조-”, 광운대학교 대학원, 박사학위논문 pp.132-163.
6. 오상훈(1997), “柔剛混合形式接合部から成るエネルギー分散型多層骨組の耐震設計”, 日本東京大學校 博士學位論文.
7. 笠井和彦·Sergio, U. M·伊藤浩資(2006), “彈塑性ダンパーをもつ制震構造における累積塑性變形と最大變形の相關關係 -その1-質點彈塑性系の地震時舉動づく評價式の定式化-”, 「日本建築學會大會學術講演梗概集」, pp.241-242.
8. (財)日本建築防災協會(2001), 「既存鐵筋コンクリート造建築物の耐震診斷基準同解説」, pp.191-220.
9. (財)日本建築防災協會(2001), 「既存鐵筋コンクリート造建築物の震診改修設計指針同解説」, pp.179-218.
10. Chen, S., Jeng, V. and Chen, S. (2001), “Seismic Assessment and Strengthening Method of Existing RC Buildings In Response to Code Revision”, Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Vol.3, No.1, 03, pp.67-77.
11. Moreschi, Luis M (2000), “Seismic Design of Energy Dissipation Systems for Optimal Structural Performance”, Virginia Polytechnic Institute and State University (Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy), pp.112-114.
12. Newman, A. (2001), 「Structural Renovation of Buildings -Methods, Details, and Design Examples-」, McGraw-Hill.