

내부 철골끼움골조 및 벽체형 마찰댐퍼(WFD)로 보강된 2층 철근콘크리트골조 내진성능에 대한 실험적 연구

유창기¹, 최창식^{2*}

An Experimental Study on Seismic Performance of Two-story Reinforced Concrete Frames Retrofitted with Internal Steel Frame and Wall Type Friction Damper

Chang-Gi Yoo¹, Chang-Sik Choi^{2*}

Abstract: In this study, in order to confirm the seismic performance of reinforced concrete frames retrofitted with Wall Friction Damper(WFD), the test was conducted by setting two-story Reinforced concrete frames (reference specimen, OMF-N and specimen retrofitted with internal H-shaped steel frame and WFD, OMF-ALL(H)) as main variables. The WFD Seismic Retrofit Method is a mixture of strength improvement and energy dissipation methods. To prevent the pre-destruction of existing structure by friction force before sufficient energy dissipation of WFD, the internal H-shaped steel frame and chemical anchor that penetrates the side of the beam were used to install WFD. According to the test results, the OMF-N specimen showed a brittle failure pattern caused by the shear force of the R/C column after the maximum strength was expressed. The OMF-ALL(H) specimen showed that the reduction of pinching effect and the failure of the RC column occurred. Also, the maximum strength, cumulative energy dissipation and ductility of OMF-ALL(H) increased 3.01 times, 7.2 times and 1.72 times for OMF-N. As a results, test results revealed that the WFD Seismic Retrofit Method installed on Reinforced concrete structure improves the seismic performance and the strengthening effect is valid.

Keywords: Reinforced concrete frame, Friction damper, Internal H-shape steel frame, Seismic retrofit

1. 서론

최근 발생한 경주지진과 포항지진으로 인해 비내진 상세를 가진 중·저층 규모의 철근콘크리트(Reinforced concrete, RC) 건물에 심각한 피해발생의 위험성이 강조되었다. 경주, 포항 지진 건축물 피해조사(2018)에 따르면 비내진 상세를 가진 학교시설, 필로티 및 공동주택 등에 심각한 피해가 발생한 것으로 보고되었다. 경주 및 포항지역 이외에도 국내에 존재하는 중·저층 규모 철근콘크리트 건물의 대다수가 지진하중에 대해 건물의 강도 및 강성부족 등으로 지진 발생 시 큰 피해를 유발할 수 있어 내진보강이 필요한 실정이다.

내진보강방법은 강도증진공법, 연성증진공법, 에너지소산 공법 등으로 분류할 수 있다. 강도증진공법으로는 전단벽 보강공법이 대표적으로 적용되고 있으며, 건물의 강도와 강성

을 크게 증가시키지만, 건물자중이 증가함에 따라 기초보강이 수반될 수 있는 단점이 있다(Shin, 2004). 연성증진공법으로는 FRP 등을 이용하여 구조물의 변형능력을 개선시킬 수 있지만, 대다수의 국내 중·저층 규모 철근콘크리트 건물이 기둥 띠철근 간격이 30cm 이상으로 전단파괴가 발생할 가능성이 높아 연성증진공법을 단독적으로 적용하는 것은 비효율적이다(Lee et al., 2018). 에너지소산 공법은 지진에 의해 구조물에 발생하는 에너지를 감쇠장치로 흡수하여 지진응답을 효과적으로 감쇠시켜 주요 구조요소와 비구조요소의 피해를 최소화할 수 있어 최근 국내에서 활발히 연구가 진행되고 있다. 그러나 감쇠장치의 충분한 보강효과가 발현되기 위해서는 기존 철근콘크리트 구조물과 감쇠장치 접합부의 선행파괴가 발생하지 않도록 하는 접합상세 개발과 그에 따른 성능검증을 필요로 한다(Lee, 2004).

본 연구에서는 비내진 상세를 가진 중·저층 규모 철근콘크리트 건물을 대상으로 감쇠장치를 적용하기 위한 내진보강공법을 제안하고 보강효과를 실험을 통해 검증하고자 한다. 감쇠장치는 지진 발생초기부터 쿨롬감쇠의 이력거동을 통해 안정적이고 많은 양의 에너지 소산능력 가지는 용량의 벽체형 마찰댐퍼(Wall Friction Damper, 이하 WFD)를 사용하였다.

¹정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정

²정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: ccs5530@hanyang.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2023년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2023년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

또한 선행 연구결과에 따라 기존 철근콘크리트 구조물 기둥의 전단파괴의 가능성과 감쇠장치의 충분한 성능발현 이전 설치위치에서의 선행파괴를 방지하기 위해 골조내부에 H형 강 프레임으로 추가보강을 수행하였다.

2. 벽체형 마찰댐퍼(WFD) 내진보강공법 개요

2.1 벽체형 마찰댐퍼(WFD) 개요

WFD의 마찰력 발생원리는 고정판 및 가동판을 볼트를 이용하여 축력을 부여하는 것을 통해 마찰재에 지압력을 전달하며, 지진으로 인해 구조물의 변형이 발생하면 고정판과 가

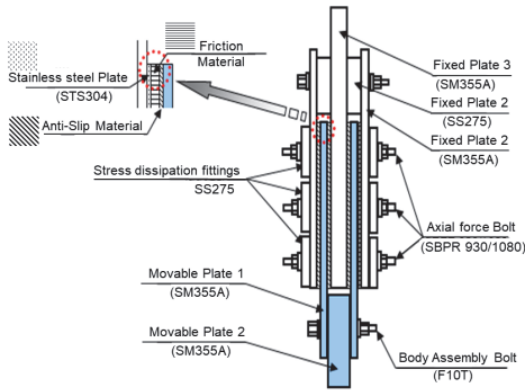


Fig. 1 Detail of WFD

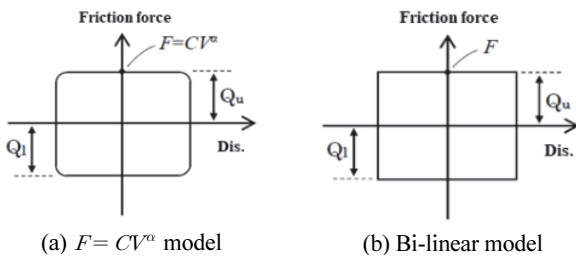


Fig. 2 Hysteresis curve of WFD

동판의 상대적 이동을 통해 마찰재의 저항력이 발생하는 시스템이다. 마찰재는 Slip방지재와 함께 고정판과 가동판 사이에 설치되어 있으며, 축력도입을 위한 볼트는 PC강봉, 본체조립용 Bolt는 고장력볼트가 사용되었다.

WFD의 마찰력은 $F = CV^\alpha$ 의 형태로 나타낼 수 있으며, 댐퍼 제조사에서 정현파 가진실험을 통해 계수값을 제시하였다. 저속도 구간에서의 마찰력 저하가 있기 때문에 Fig. 2(a)과 같이 모서리부분이 곡면인 직사각형에 가까운 형상을 나타낸다. 또한 WFD는 약간의 온도의존성이 있으며 의존성을 고려한 마찰력 설계식은 식 (1)과 같고, 저속도 구간에서의 속도의존성을 무시하고 간략화된 이선형 모델을 사용할 경우의 마찰력 설계식은 식 (2)와 같다. 전술한 바, WFD는 저속도 구간에서의 속도의존성에 의해 이력곡선에서 모서리부분이 곡면인 형상을 나타내지만, 이를 간략화한 이선형 설계식과의 마찰력은 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.

$$F = 1.127e^{-0.006t} \times k \times V^{0.05} \quad (1)$$

$$F = F_y \times 1.127e^{-0.006t} \quad (2)$$

여기서, F 는 friction force (kN), t 는 temperature ($^{\circ}\text{C}$), k 는 coefficient (200kN capacity, $k=175$), V 는 velocity (cm/s), F_y 는 WFD capacity (200kN capacity, $F_y=200\text{kN}$)이다.

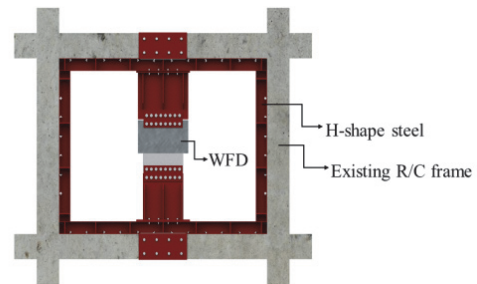
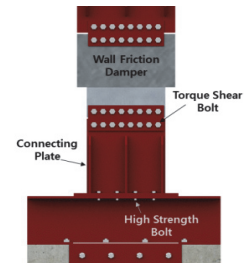
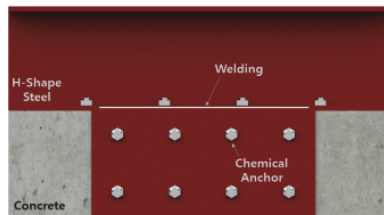
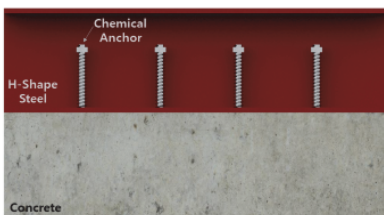


Fig. 3 WFD Seismic retrofit method

Table 1 Construction procedure

- | | | |
|---|---|--|
| 1. Installation of Chemical anchor and Epoxy injection between Concrete and H-Shape Steel | 2. Installation of Chemical anchor after penetrating the side of beam | 3. Fixing the H-Shape Steel, Connecting Plate and WFD using high strength bolt and torque shear bolt |
|---|---|--|



2.2 WFD 내진보강공법

국내 비내진상세를 가지는 대다수의 중·저층 철근콘크리트 골조는 수평내력이 부족하며, 징두리벽 또는 수벽의 영향에 의한 기둥의 단주화로 인해 취성파괴할 가능성이 높을 것으로 예상된다(Lee et al., 2009). 이에 따라 WFD 내진보강공법을 골조 내부에 H형강프레임 보강을 통해 강도와 강성을 증진시키는 것과 동시에 WFD를 보강하여 강도증진공법 및 에너지소산공법을 혼합시킨 공법으로 Fig. 3과 같이 제안하였다.

WFD 내진보강공법에 사용되는 재료는 H형강 프레임(SM355A), 케미컬 앵커, 연결강판, 고장력볼트, 에폭시 및 WFD이며, WFD 설치위치에서 마찰력에 의한 기존구조물 접

합부)의 선행파괴를 방지하기 위해 접합부(보) 측면을 관통시킬 수 있도록 천공한 후, 케미컬 앵커로 접합하여 전단, 인장하중에 의한 기존 구조물의 선행파괴를 방지하였다. WFD 내진보강공법의 시공순서는 Table 1에 순서대로 나타내었다.

3. 실험개요

3.1 실험체 계획

벽체형 마찰댐퍼로 보강된 철근콘크리트골조의 성능을 확인하기 위해 문교부에서 배포한 80년도 ‘다’형 학교교사 표준설계도를 참고하여 실험체를 설계하였다. 실험체는 학교교사

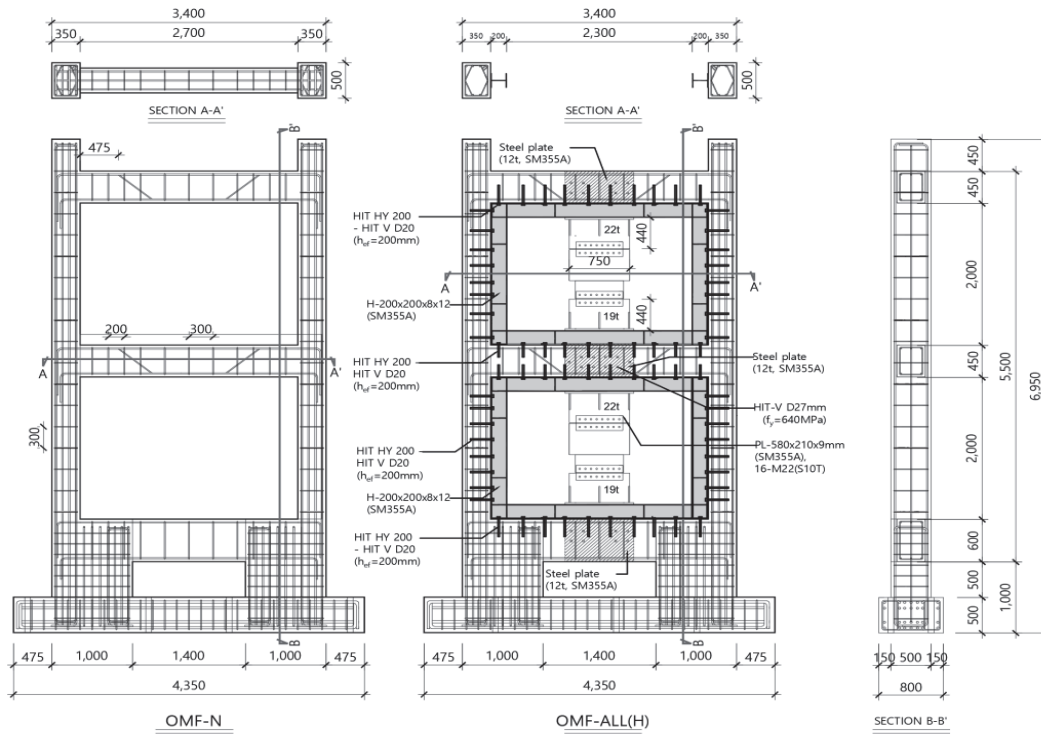


Fig. 4 Specimens detail

Table 2 Cross section of members

	Girder (350×450mm)		Footing Girder (350×600mm)	Column (350×500mm)
	Edge	Center		
Cross Section				
Rebar	Top	3-D19(SD400)	3-D16(SD400)	4-D19(SD400)
	Bottom	2-D19(SD400)	3-D16(SD400)	(Center 2-D16(SD400))
Stirrup	D10(SD400)@200	D10(SD400)@300	D10(SD400)@200/300	D10(SD400)@300

표준설계도에서 지진에 의해 장변방향의 피해가 클 것으로 예측되어 장변을 보강개소로 설정하였다.

보 단면크기는 350×450mm, 철근배근은 중앙부에 상부철근 3-D19(SD400), 하부철근 2-D19(SD400)이 사용되었으며, 단부에는 상부철근 2-D19(SD400), 하부철근 3-D19(SD400)이 사용되었다. 지중보의 단면크기는 350×600mm이며, 철근배근은 상하부 3-D16(SD400)을 사용하였다. 기둥 단면크기는 350×500mm, 철근배근은 상하부에 4-D19(SD400), 중앙에 2-D16(SD400)이 적용되었다. 보의 전단보강근은 중앙부 D10(SD400)@300, 단부 D10(SD400)@200, 기둥 전단보강근은 D10(SD400)@300으로 설계하였다. 보 및 기둥의 단면크기, 철근배근은 학교교사 표준설계도와 동일하게 설계하였으며, 실험체의 크기는 실험실의 여건을 고려하여 4.35×6.95m의 크기로 제작하였다.

실험체는 기준실험체 (OMF-N), 2개층 내부 H형강(200×200×8×12mm, SM355A) 프레임 보강 및 WFD 보강실험체 (OMF-ALL(H))로 실험변수를 설정하였으며, 부재의 단면상세는 Table 2, 도면은 Fig. 4와 같다. 과도한 용량의 WFD를 사용하게 되면 마찰력에 의해 실험체와의 접합부에서 선행파괴가 발생하여 WFD의 충분한 성능발현이 불가능하기 때문에 가장 작은 용량인 200kN을 모든 실험체에 적용하였으며, 실험체와 WFD를 연결강판의 볼트접합 및 케미컬앵커를 사용하여 고정하였다.

3.2 실험방법

실험체 세팅은 Fig. 5과 같이 면외방향으로의 거동을 방지하기 위하여 가력지그와 철근을 사용하여 고정하였다. 정적 반복가력실험을 통해 지진하중을 모사하고 지진 발생 시 건물에 발생하는 실제거동을 고려하기 위해 2층에 가해지는 하중이 1층에 가해지는 하중의 2배가 되도록 설정하였다 (Kaltakci et al., 2010). 축력은 오일잭을 이용하여 철골보를 연직방향으로 $0.1A_g f_{ck}$ (A_g : Gross sectional area of RC column) 만큼 가력하였다. 실험체의 층간변위를 측정하기 위해 1층과 2층에 LVDT를 설치하였으며, 철근의 항복여부를 판단하기 위해 게이지를 부착하였다. 가력은 2000kN Actuator를 이용하여 Table 3과 같이 변위제어방식으로 단계별로 Drift ratio를 0.2%씩 점진가력(3cycle)하였으며, 실험체의 내력이 최대내력의 85%이하로 저하되면 실험을 종료하였다.

3.3 재료시험결과

본 연구에 사용된 콘크리트 설계압축강도는 21MPa이며, 배합비는 Table 4에 나타내었고 KS F 2405에 의거하여 압축강도시험을 수행하였다. 실험결과는 공시체 평균값으로 판단하였으며 23.6MPa의 압축강도를 나타내었다. 설계항복강도

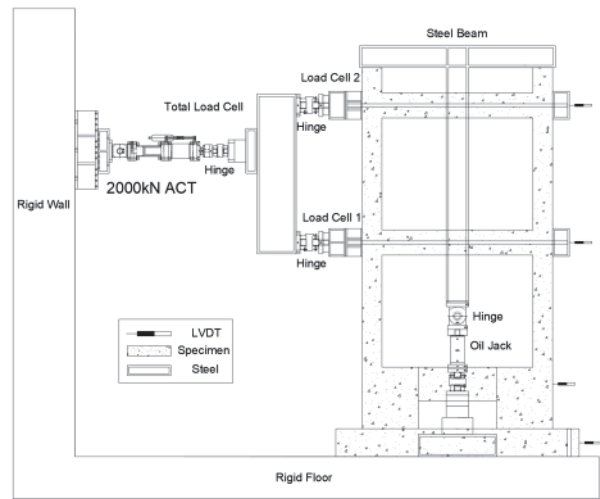


Fig. 5 Test configuration

Table 3 Loading history

Step	Displacement (mm)	Drift ratio (%)	Step	Displacement (mm)	Drift ratio (%)
1	5.8	0.1	7	69.3	1.2
2	11.6	0.2	8	80.8	1.4
3	23.1	0.4	9	92.4	1.6
4	34.6	0.6	10	104.0	1.8
5	46.2	0.8	11	115.5	2.0
6	57.8	1.0	12	127.0	2.2

Table 4 Mix proportion

f_{ck} (MPa)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)				
			W	C	S	G	SP
21	53.2	48.8	165	279	878	939	1.55

Table 5 Rebar tensile test results

Rebar	f_y (MPa)	f_u (MPa)	ϵ_y (mm/mm)
D10 (SD400)	417	564	0.0020
D16 (SD400)	448	585	0.0024
D19 (SD400)	465	653	0.0022

는 400MPa이며 D10, D16, D19 직경의 철근을 사용하였다. KS B 0801에 따라 인장시험편을 제작하였으며, KS B 0802에 따라 인장시험을 수행하였다. 철근의 인장시험결과 D10, D16, D19의 순서대로 417MPa, 448MPa, 465MPa의 항복강도를 나타내었으며 564MPa, 585MPa, 653MPa의 인장강도를 나타내었다. 철근재료시험결과는 Table 5에 정리하였으며, 콘크리트와 철근 모두 설계강도를 상회하는 값을 보여주었다. 보강용 H형강은 SM355A 강재를 사용하였으며 재료시험결과 항복강도 383 MPa, 인장강도 516 MPa로 모두 공칭강도를 상회하는 것으로 나타났다.

4. 실험결과

4.1 하중-변위관계 및 파괴양상

기준실험체 및 내부철골프레임과 WFD로 보강된 골조의 실험결과를 Table 6에 정리하였으며, 하중-변위 관계를 Fig. 6에 나타내었다. (+)는 정가력방향, (-)는 부가력방향을 의미한다. 실험체의 최종파괴 시 균열양상은 Fig. 7에 나타내었다.

OMF-N 실험체는 0.1% Drift ratio (수평변위=5.8mm, 횡하중=81.46kN) 에서 기동하부의 미세한 휨균열이 발생하였으

Table 6 Test results

Specimens	OMF-N		OMF-ALL(H)	
	Positive	Negative	Positive	Negative
P_{peak} (kN)	314.51	306.96	855.39	924.37
Δ_{peak} (mm)	79.52	56.49	68.33	56.38
Strength ratio	1	1	2.72	3.01
Initial Stiffness (kN/mm)	13.79	14.14	54.99	54.86

P_{peak} : Maximum load, Δ_{peak} : Displacement at the Maximum load

며, 이후 지속적인 반복하중재하로 인해 휨균열이 0.4% Drift ratio (수평변위=23.03mm, 횡하중=187.15kN)에서부터 기동하부와 지중보 접합부에 휨전단균열이 발생하였다. 1.4% Drift ratio (수평변위=80.8mm, 횡하중=314.51kN)에서는 실험체의 최대강도 발현하였으며, 기동 최외단 주철근의 휨 항복 후 전단파괴되는 양상을 보여주었다. 이러한 기동의 전단 파괴는 기존문헌(Lee et al., 2009)에서 연구된 바와 같이 1980년대 R/C 학교건물의 파괴양상을 반영하고 있으며, 내진보강의 필요성을 확인할 수 있다.

OMF-ALL(H) 실험체는 0.1% Drift ratio (수평변위=5.8mm, 횡하중=326.98kN)에서 기동하부에 휨균열이 발생하였으며, 0.4% Drift ratio (수평변위=22.44mm, 횡하중=641.33kN)에서부터는 기동하부에 휨전단균열과 함께 복부전단균열이 동시에 발생하였다. 이후 1.0% Drift ratio (수평변위=56.38mm, 횡하중=924.37kN)에서 최대강도 발현이후, 콘크리트 괴박탈락이 지속적으로 발생하며 철근콘크리트 기동이 최종파괴되는 양상을 보여주었다.

OMF-ALL(H) 실험체의 최대강도는 OMF-N 실험체에 비

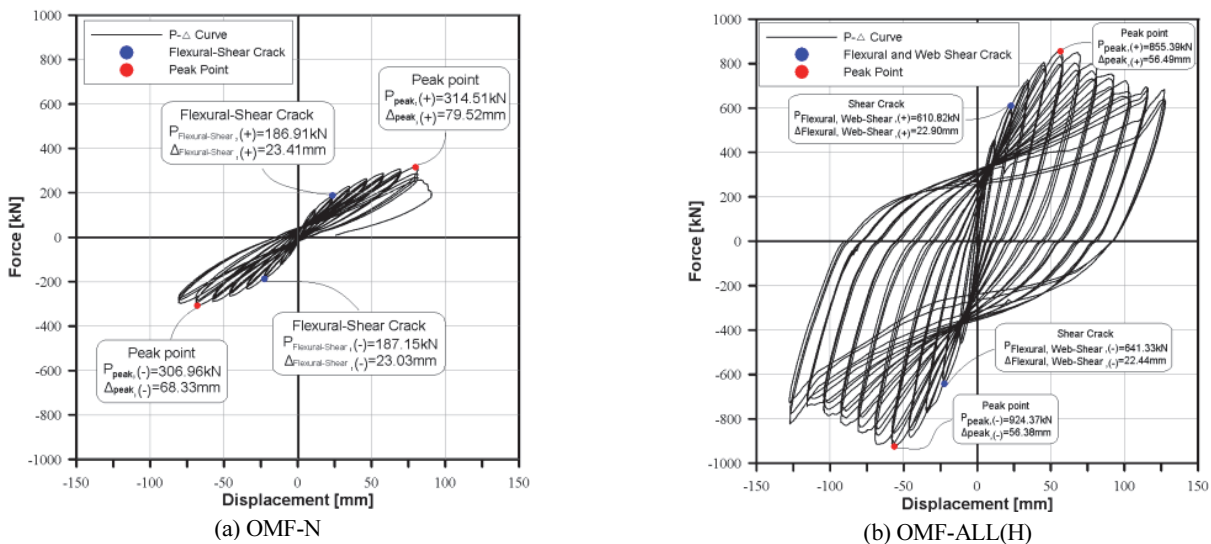


Fig. 6 Force-displacement relationship

해 정가력 방향과 부가력 방향으로 각각 2.72배, 3.01배, 초기 강성은 3.99배, 3.88배 향상되었다. 모든 실험체가 RC기둥의 파괴양상을 나타내었으나 OMF-ALL(H) 실험체는 OMF-N 실험체보다 완만한 내력저하를 보여주었다.

Fig. 8은 Drift ratio 1.2% 시점에서의 균열양상을 나타내며 무보강 실험체에 대해서는 최대강도 발현 직전 변위각에 해당하고 보강실험체의 경우 최대강도 이후의 변위각에 해당한다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 동일 시점에서 무보강 실험체의

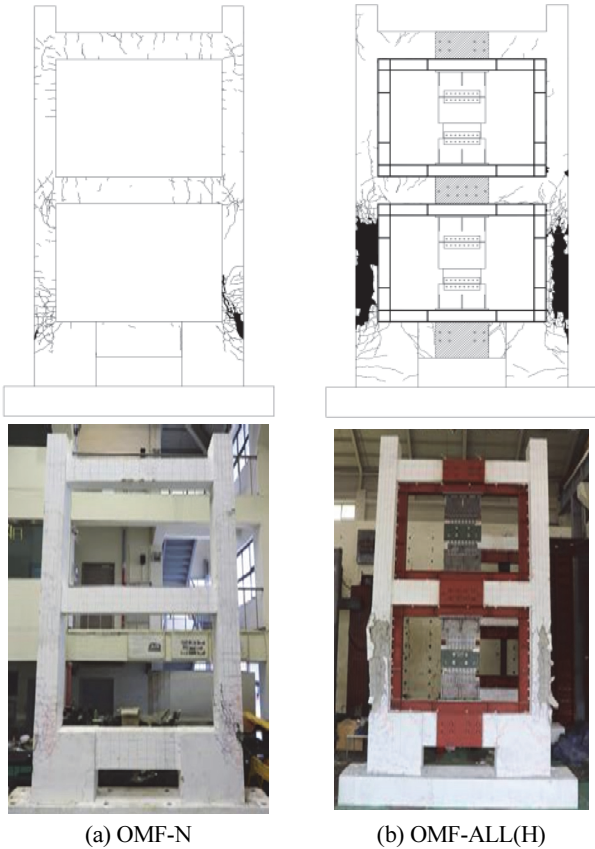


Fig. 7 Crack pattern at failure

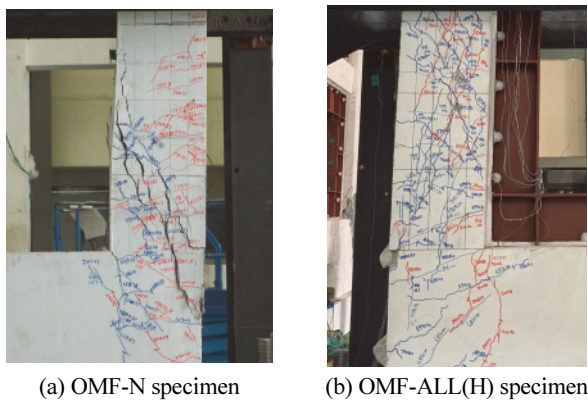


Fig. 8 Crack pattern at drift ratio 1.2%

경우 전단파괴가 발생한 반면, 댐퍼 및 H형강 보강 시 동일 시점에서 더 큰 강도를 가지면서 기존 철근콘크리트 기둥에 전단파괴가 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다. 또한 강도, 강성증진 및 핀칭효과의 감소를 하중-변위관계를 통해 확인하였다. 이에 따라 실험체의 내진성능이 향상되었으며 보강 효과가 유효한 것으로 판단된다.

4.2 WFD 성능이력 곡선

WFD의 변위 및 시간을 측정된 LVDT로부터 1초 동안의 발생하는 변위차이를 통해 속도를 계산하였으며, 식 (1)에 적용하여 WFD 성능이력 곡선을 Fig. 9에 나타내었다. 실험 당시의 외기온도는 20.0°C로 측정되었으며, 해당 값을 식 (1)에 대입하여 계산하면의 마찰력 설계식은 다음과 같다.

$$F = 1.127e^{-0.006 \times 20} \times V^{0.05} = 174.92 \times V^{0.05} \quad (3)$$

위 식을 통해 산출된 1층 WFD의 최대, 최소 마찰력은 각각 189.54kN, 184.49kN이며 187.02kN의 평균 마찰저항력을 발현하였으며, 2층 WFD는 각각 177.37kN, 175.54kN의 최대, 최소 마찰력과 평균 176.46kN의 마찰저항력을 나타내었으며, 설계용량(200kN)에 비해 각각 0.95배, 0.88배 낮은 수치이다. 이는 준정적반복가력 실험이 수행된 것으로 인해 설계용량보다 낮은 성능을 나타내는 것으로 판단된다. 또한 실험 중 철근콘크리트 골조와 내부 H형강 프레임간의 하중을 전달하는 후설치 앵커에서 인장, 전단하중에 의한 큰 피해는 발생하지 않은 것으로 확인되었다. 이에 따라 WFD의 성능이 가력초기 단계부터 정상적으로 발현된 것으로 판단되며, 철근콘크리트골조에 WFD 내진보강공법 적용 시, 효율적인 에너지소산이 가능할 것으로 판단된다.

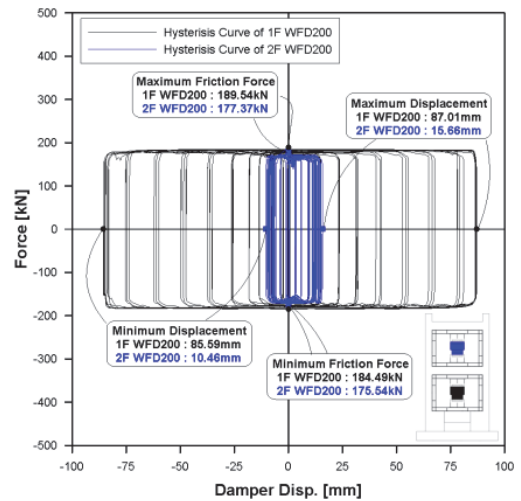


Fig. 9 WFD hysteresis curve of OMF-ALL(H)

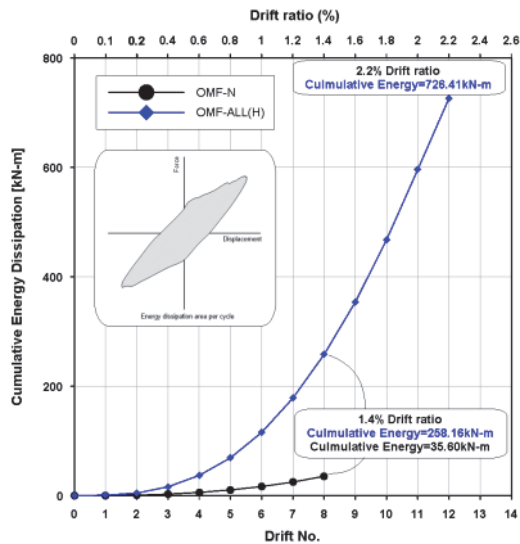


Fig. 10 Cumulative energy dissipation

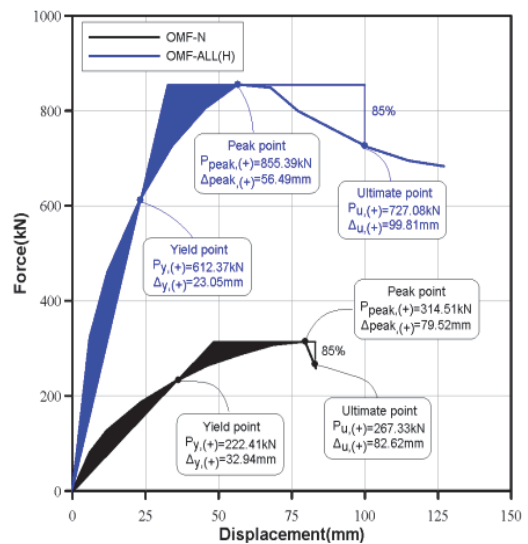


Fig. 11 Defining yield and ultimate displacement

4.3 에너지 소산 능력

에너지 소산능력은 구조물의 비탄성거동 범위에서 지진에너지 흡수하는 능력으로 내진성을 평가하는데 중요한 지표이다. 따라서 본 연구에서는 누적에너지 소산량을 Drift ratio 별 1cycle 하중-변위곡선의 면적을 합산하여 실험체의 최종 파괴시점까지 산출하였으며, 이를 Fig. 10에 나타내었다. 누적에너지 소산량은 가력초기부터 WFD의 성능이 발현됨에 따라 OMF-ALL(H) 실험체가 OMF-N 실험체보다 큰 에너지소산능력을 나타내었다. 각 실험체의 최종파괴시점에서 OMF-N 실험체를 기준으로 누적에너지 소산량을 비교하였을 때, WFD로 보강된 실험체가 20.4배 향상되었으며, OMF-N 실험체의 파괴시점(1.4% Drift ratio, 수평변위=80.8mm)에서 비교할 경우 7.2배 향상된 누적에너지소산능력을 나타내었다. 내부 H형강 프레임에 부착한 철근게이지를 통해 철골이 탄성거동하는 것을 확인하였으며, 이에 따라 향상된 에너지 소산능력은 WFD에 의해 향상된 것으로 판단된다.

4.3 연성능력 평가

내진설계에서 연성은 비탄성영역에서 지진하중으로 발생하는 변형을 견디는 구조물의 능력을 의미한다. 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼(2018)에 따르면 연성 및 에너지소산능력의 보강전략으로 감쇠장치를 사용할 수 있는 것으로 나타내어져 있으며, 본 연구에 적용된 WFD 내진보강공법의 연성증진을 평가하였다. 연성은 항복변위 대 극한변위의 비로 표현되는 변위연성도로 평가하였다.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (4)$$

Table 7 Displacement ductility factor

	OMF-N		OMF-ALL(H)	
	Dis. (mm)	Force (kN)	Dis. (mm)	Force (kN)
Yield point	32.94	222.41	23.05	612.37
Peak point	79.52	314.51	56.49	855.39
Ultimate point	82.62	267.33	99.81	727.08
μ	2.51 (82.62/32.94)		4.33 (99.81/23.05)	

항복변위는 Fig. 11과 같이 실험체의 포락선과 선형탄성-완전소성 모델의 에너지 균형원리를 이용하여 정의하였으며 (Park, 1988), 극한변위는 최대하중 도달 이후 85%에 도달하는 변위로 정의하였다. 또한 OMF-N 실험체의 취성파괴로 인해 부가력방향 최대하중의 85% 저하를 경험하지 못하여 정가력 방향의 변위연성도로 비교하여 Table 7에 나타내었다. OMF-N 실험체의 변위 연성도는 2.51, OMF-ALL(H) 실험체의 변위연성도는 4.33으로 WFD 내진보강 적용으로 인해 1.72배 향상된 것을 확인하였다. 이는 WFD가 성능발현을 함에 따른 에너지 소산량 증가로 인해 실험체의 소성거동에 의한 에너지가 감소하여 피해가 감소함에 따라 연성능력이 증진된 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 비내진 상세를 가진 중-저층 규모의 철근콘크리트 건물의 내진성능 향상을 위해 80년도 다형 학교교사 표준설계도에 따라 실험체를 제작하였다. WFD 내진보강공

법을 적용하여 준정적반복가력을 통해 실험적으로 내진성능을 평가하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) WFD 내진보강공법이 적용된 실험체는 기준실험체와 동일하게 철근콘크리트 기둥의 전단파괴가 발생하였으나, 완만한 내력저하를 보여주며 파괴되었다. 하중-변위 관계에서 최대내력은 609.86kN, 초기강성은 40.85 kN/mm 향상되었다.
- 2) WFD 성능이력곡선에 따라 1층에 설치된 WFD의 평균마찰력은 187.02kN, 2층 WFD의 평균마찰력은 176.46kN으로 산출되었으며, 이는 준정적반복가력으로 실험이 수행됨에 따라 설계용량(200kN)에 비해 각각 0.95배, 0.88배 저하된 수치를 나타낸 것으로 판단된다. 또한 가력초기부터 댐퍼의 성능이 발현한 것을 통해 구조물이 탄성거동하는 시점에도 WFD가 작동하는 것을 확인하였다.
- 3) 에너지소산능력은 기준실험체의 파괴시점을 기준으로 비교하였을 때, WFD 내진보강공법이 적용된 실험체의 누적 에너지소산량이 222.56kN-m 향상되었다. 철근계 이지를 통해 내부 H형강 프레임이 항복하지 않음에 따라 이는 WFD에 의해 에너지 소산능력이 향상된 것으로 판단된다.
- 4) WFD 내진보강공법이 적용된 실험체의 변위 연성도는 기준 실험체에 비해 1.82의 증가량을 나타내었다. 이는 제진장치에 의한 에너지 소산량이 증가함에 따라 실험체의 소성변형에 의한 에너지가 감소하여 피해가 감소되며, 이에 따라 연성도가 증진된 것으로 판단된다.
- 5) 준정적반복가력 실험에 의해 수행되어 보강효과를 보수적으로 평가한 것으로 판단되며, 최대내력, 에너지 소산능력, 연성의 측면에서 WFD 내진보강공법의 보강효과가 유효한 것으로 판단된다. 그러나 실제 지진발생시 WFD 내진보강공법 적용에 따른 강성증진으로 탄성주기가 감소하여 가속도 응답이 증가할 수 있다. 이에 따라 동적응답에 대한 해석적 또는 실험적으로 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부) 연구비 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호: NRF-2020R1A4A1019074).

References

1. Lee, K., Wi, J., Kim, Y., and Lee, H. (2009), Seismic safety evaluation of Korean R/C school buildings built in the 1980s,

- Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 13(5), 149-159.
2. Kaltakci, M., and Ozturk, O. (2012), An experimental study on the strengthening of non-ductile reinforced concrete frames via external shear wall, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16(1), 59-76.
3. Kim, M., Choi, H., Song, S., and Lee, Y. (2013), Seismic capacity of reinforced concrete frames retrofitted with H-beam frame, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 17(3), 127-132.
4. Park, J. (2010), An experimental study on the seismic performance of RC frames with steel dampers, *Land and Housing Institute Journal*, 1(1), 43-50.
5. Jung, H., Jung, J., and Lee, K. (2019), Seismic performance evaluation of internal steel frame connection method for seismic strengthening by cyclic load test and nonlinear analysis, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 31(1), 79-88.
6. Lee, B., Hwang, D., Choi, Y., Kim, Y., and Lee, K. (2019), Seismic capacity evaluation of full-size two-story R/C frame strengthened with HSWF external connection method by pseudo-dynamic test, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 31(1), 89-97.
7. Lee, C. (2015), Structural performance of SAFE dampers combining shear-type friction damper and non-uniform steel strip damper, Ph.D. Dissertation, Korea University.
8. Shin, J. (2004), Behavior of Reinforced Concrete Frame with Steel Plate Slit Damper, Master's Dissertation, Kwangwoon University.
9. Baek, E., Oh, S., and Lee, S. (2013), Performance of seismic retrofit according to the stiffness and strength ratios of steel damper to reinforced concrete frame, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 17(4), 171-180.
10. Korean Agency for Technology and Standards, 1-14.
11. Jo, S. (2013). An experimental study on toggle-rotational friction damper for strengthening R/C buildings, Master's Dissertation, Chonnam National University.
12. Architectural Institute of Korea. (2018), Site Inspection and Damage Investigation of Buildings by Earthquakes in Gyeongju and Pohang, 352.
13. Park, R. (1988), Ductility evaluation from laboratory and analytical testing, *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, 8, 605-616
14. Park, R., and Paulay, T. (1975), Reinforced Concrete Structures, New York, John Wiley & Sons, 769.
15. Lee, J. (2004). Seismic Capacity and Seismic Retrofitting of Low Rise Buildings, Ph.D. Dissertation, Kwangwoon University.
16. KS F 2405 (2010). Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete, Korean Agency for Technology and Standards, 1-16.
17. KS B 0801 (2017). Test pieces for tensile test for metallic materials.

Received : 09/28/2022

Revised : 10/31/2022

Accepted : 11/07/2022

요 지 : 본 연구에서는 WFD(Wall Friction Damper)를 보강한 철근콘크리트 골조의 내진성능을 확인하기 위해 2층 철근콘크리트 골조의 보강방법(무보강, 내부H-형철골과 WFD보강)을 주요 변수로 하였다. WFD 내진 보강 공법은 강도 향상과 에너지 소산 공법을 혼합한 것이다. WFD의 충분한 에너지 소산 이전에 보강재와 기존 구조물의 접합부에서 사전 파괴를 방지하기 위해 내부H형 철골과 보 측면을 관통하는 케미컬 앵커를 사용하여 WFD를 설치하였다. 시험결과 OMF-N 시험체는 최대강도 발현 후 R/C 기둥의 전단력에 의한 취성파괴 양상을 보였다. OMF-ALL(H) 시험체는 펀칭 효과의 감소와 RC 기둥의 파손이 발생함을 보였다. 또한 OMF-ALL(H)의 최대 강도, 누적 에너지 소산 및 연성은 OMF-N의 경우 3.01배, 7.2배 및 1.72배 증가하였다. 그 결과 철근콘크리트 구조물에 시공한 WFD 내진 보강공법이 내진성능을 향상시키고 보강효과가 유효한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 철근콘크리트 골조, 마찰댐퍼, 내부H형강 프레임, 내진보강
