

전단벽식 구조의 휨거동을 이용한 마찰감쇠기의 제어성능 Control Performance of Friction Dampers Using Flexural Behavior of RC Shear Wall System

정 희 산* · 문 병 옥* · 박 지 훈** · 이 성 경* · 민 경 원† · 변 지 석***
Hee-San Chung, Byoung-Wook Moon, Ji-Hun Park, Sung-Kyung Lee,
Kyung-Won Min and Ji-Seok Byeon

(2008년 5월 8일 접수 ; 2008년 7월 29일 심사완료)

Key Words : Friction Damper(마찰감쇠기), Shear Wall(전단벽), Inelastic Time-history Analysis(비선형 시간이력 해석)

ABSTRACT

High-rise apartments of shear wall system are governed by flexural behavior like a cantilever beam. Installation of the damper-brace system in a structure governed by flexural behavior is not suitable. Because of relatively high lateral stiffness of the shear wall, a load is not concentrate on the brace and the brace cannot perform a role as a damping device. In this paper, a friction damper applying flexibility of shear wall is proposed in order to reduce the deformation of a structure. To evaluate performance of the proposed friction damper, nonlinear time history analysis is executed by SeismoStruct analysis program and MVLEM(multi vertical linear element model) be used for simulating flexural behavior of the shear wall. It is found that control performance of the proposed friction damper is superior to one of a coupled wall with rigid beam. In conclusion, this study verified that the optimal control performance of the proposed friction damper is equal to 45 % of the maximum shear force inducing in middle-floor beam with rigid beam.

1. 서 론

우리나라 공동주택의 대부분을 차지하고 있는 전단벽식 아파트는 평면계획의 용의성과 내부 공간의 활용측면에서 뛰어난 구조형식이라 할 수 있다. 하지만 최근에 전단벽식 아파트가 20층 이상의 고층으로 건설되면서 고층화에 따른 전단벽식 아파트의 내진성능확보의 중요성이 강조되고 있다⁽¹⁻³⁾.

이 논문에서는 전단벽식 아파트의 내진성능확보를

위하여 기존의 강성보강법 대신 감쇠장치를 이용한 보강방법을 제시하고자 한다. 감쇠장치는 이력거동에 의한 에너지 소산을 통해 구조물의 진동에너지를 흡수하여 구조물 피해를 최소화 한다⁽⁴⁾. 일반적으로 골조형식의 경우 가새를 이용하여 감쇠장치를 설치하게 된다. 가새시스템은 골조구조에서 전단력이 집중되는 부재로써 지진과 같은 횡하중을 감쇠장치에 전달하는 역할을 하게 된다. 이렇게 가새를 이용한 감쇠장치는 이미 외국에서 많은 연구가 진행되었고 적용된 사례도 많이 있다. 그러나 전단벽식 구조의 경우 감쇠장치를 설치하기 위해 가새를 이용하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 왜냐하면 전단벽의 강성이 커서 설치될 가새에 하중이 집중되기 위해서는 가새강성이 전단벽의 강성보다 커져야 하기 때문이

† 교신저자: 정희원, 단국대학교 건축대학 건축공학과
E-mail : kwmin@darkook.ac.kr
Tel : (031)8005-3734, Fax : (031)8005-3741

* 단국대학교 건축대학 건축공학과

** 정희원, 인천대학교 건축공학과

*** 삼성지구환경연구소

다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 전단벽식 아파트에 적합한 감쇠장치의 개발이 필요하다.

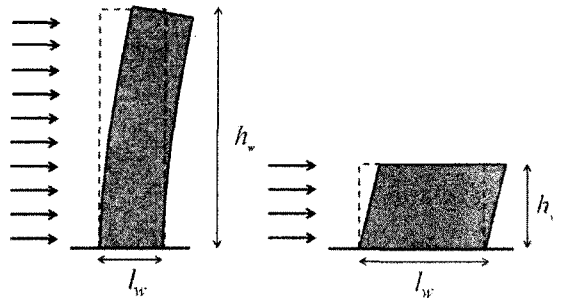
전단벽에 감쇠장치를 이용한 보강방법과 관련된 기존 연구는 다음과 같다. 홍성결과 이지형은 전단벽 보강을 위하여 stayed column의 에너지 소산에 의한 감쇠효과와 강성증대효과가 있음을 확인하였으며⁽⁵⁾, 박지훈과 김길환은 전단벽-골조 시스템에 대한 마찰감쇠기의 성능검증을 위하여 설치 형식 및 마찰력의 크기별로 비선형해석을 수행하였다⁽⁶⁾. Xillin Lu와 Xiaohan Wu는 전단벽의 중앙에 고무패드 혹은 마찰재를 설치하여 에너지소산이 일어나도록 새로운 전단벽시스템을 개발하였다^(7,8). Tony Holden 등은 프리캐스트 콘크리트벽에 설치된 post-tension을 받는 tendon에 의해 이력거동이 발생함을 실험으로 검증하였다⁽⁹⁾.

이 논문에서는 인방보로 연결된 두 개의 인접한 전단벽의 휨변형 특성을 이용한 마찰감쇠기를 개발하고, 마찰감쇠기의 이력거동을 비선형 시간이력해석을 통해 확인하였으며, 전단벽의 강성, 마찰감쇠기의 설치 위치에 따른 내진성능을 검토하였다.

2. 전단벽의 휨변형

횡저항시스템으로 매우 효과적인 전단벽식 구조는 폭과 높이에 따라 휨거동과 전단거동에 의해 저항하게 된다. Fig. 1의 (a)와 같이 h_w/l_w 이 3 이상 전단벽은 외팔보와 같이 주로 휨거동에 의해 지배된다⁽¹⁰⁾.

Fig. 2는 두 개의 전단벽이 인접해 있을 때 횡하중에 의한 휨변형을 나타낸다⁽¹¹⁾. 인접한 전단벽의 경우 휨변형 시 양끝단의 변형에 의해 수직변위와 회전각이 발생하게 된다. 특히 아파트의 경우 개구부 상부에 두 개의 전단벽 사이를 연결하는 인방보에 횡하중이 집중된다. 일반적으로 낮은 층고를 갖는 전단벽식 아파트에서는 개구부 높이에 의해 인방보의 층이 설계상 제한된다. 이렇게 휨 저항능력이 부족한 인방보는 쉽게 항복 모멘트에 도달하게 되어 파괴에 이른다. 휨변위를 줄이는데 효과적인 인방보가 초기에 항복하게 되면 전체적으로 횡저항능력이 감소되고 이에 따라 휨변위가 크게 증가하게 된다. 하지만 이러한 수직변위 또는 회전각이 발생하는 위치에 마찰감쇠기를 설치하여 이력거동을 유도하고 에너지소산을 통한 감쇠효과를 얻을 수 있다면 지진



(a) Flexural deformation (b) Shear deformation

Fig. 1 Influence of the depth and height on the deformation of the shear wall

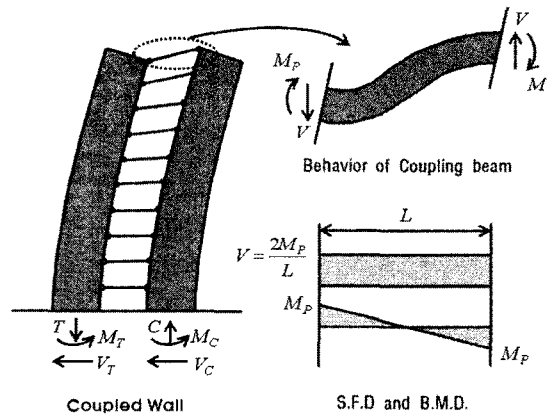


Fig. 2 Behavior of the coupling beam due to the flexure of the shear wall

과 같은 동적하중에 효과적으로 대응하는 시스템으로 설계할 수 있다. 이 연구에서는 인방보를 대신하여 마찰감쇠기를 설치하는 방법을 개발하고 내진성능평가를 수행하고자 한다.

3. 전단벽의 휨변형을 이용한 마찰감쇠기

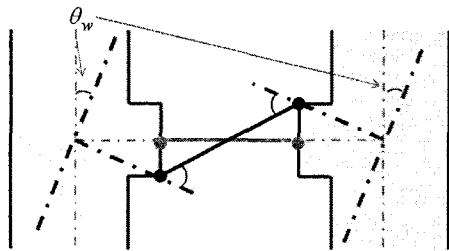
전단벽의 휨변형을 이용한 마찰감쇠기는 Fig. 2와 같이 인접한 벽체에 인방보 형식으로 설치할 수 있다. 인접한 두 벽체는 수평력에 의해 휨변형이 발생되고, 이에 따라 벽체 중심에서 θ_w 의 회전각이 일어난다⁽¹²⁾. Fig. 3과 같이 인접한 벽체가 θ_w 만큼 회전하게 되면 인방보의 집합 조건에 따라 보에는 축방향 변형과 수직방향의 변형이 나타날 수 있다. 인방보 양단이 힌지인 경우 전단벽의 휨변형에 의해 Fig. 3의 (a)와 같이 인방보의 길이방향으로 변형이

발생한다. 인방보의 중앙이 수직방향으로 자유단이라면 Fig. 3의 (b)와 같이 수직 방향의 상대변위가 발생된다. 이렇게 전단벽의 휨변형은 인접한 벽사이의 인방보에 길이방향의 상대변위 또는 수직방향의 상대변위를 발생시키며 이러한 상대변위는 마찰감쇠기의 이력거동에 이용 될 수 있다.

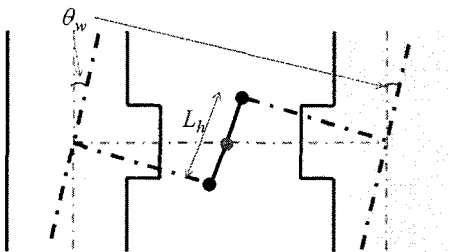
이 논문에서는 Fig. 3의 (b)의 경우와 같이 수직방향의 변위를 이용한 마찰감쇠기를 개발하였다. 마찰

감쇠기는 슬롯형 홈을 이용하여 수직변위가 발생하도록 유도하고 철판과 마찰재인 황동판사이의 마찰계수 μ 와 볼트의 조임력에 T 에 의한 슬립하중이 결정된다. 이때 결정된 슬립하중과 수직변위를 통한 이력거동으로 에너지 소산량이 결정된다.

Fig. 4는 전단벽의 휨거동을 이용한 슬롯형 마찰감쇠기의 설치형상과 변형을 나타낸다. 마찰감쇠기는

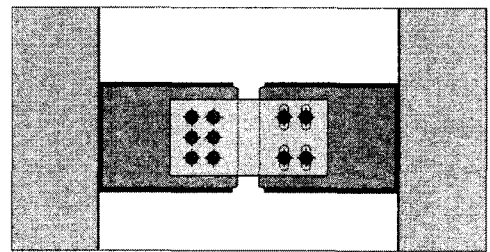


(a) Horizontal deformation of the beam

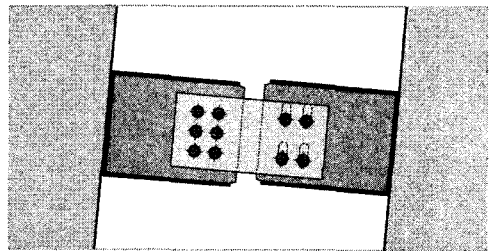


(b) Vertical deformation of the beam

Fig. 3 Deformation of the beam according to flexure of the shear wall



(a) Configuration of friction damper installed at the shear wall



(b) Deformation of the friction damper according to flexure of the shear wall

Fig. 4 Proposed friction damper using flexure of the shear wall

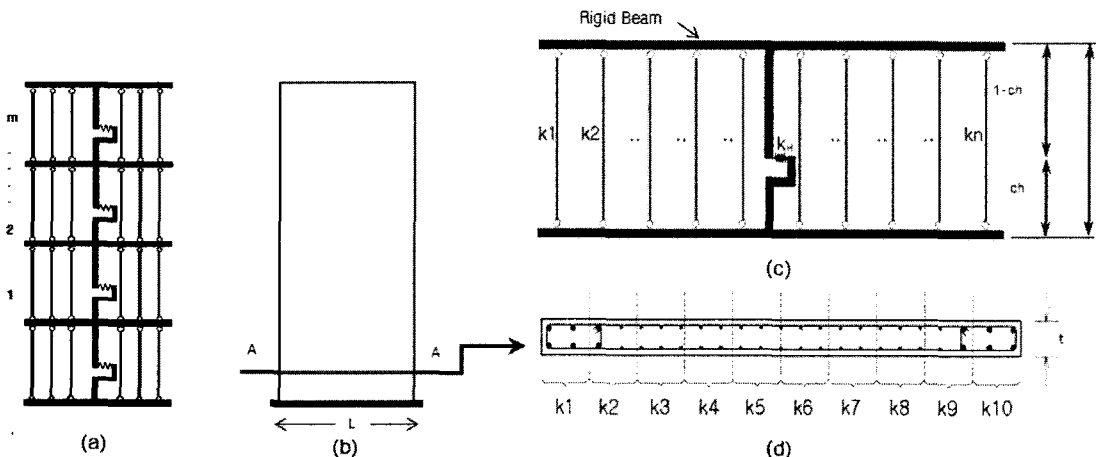


Fig. 5 Multiple-vertical-line-element model : (a) inelastic shear wall model; (b) shear wall; (c) multiple-vertical-line-element model according to A-A section; and (d) A-A section

H형강 2개, 덮판 플레이트 2개, 접합용 강판 2개 그리고 마찰제인 동판 2개로 이루어져 있다. 벽체와 마찰감쇠기는 앵커를 이용하여 접합한다. 마찰감쇠기의 좌측부는 볼트접합부이고 우측부는 슬롯 홀을 이용한 마찰부분이다. Fig. 3의 (b)와 같이 벽체가 휨변형에 의해 θ_w 의 회전각이 발생하면 마찰감쇠기는 Fig. 4의 (b)와 같이 슬롯홀의 길이만큼 변형을 하면서 에너지 소산이 일어나게 된다.

4. 전단벽 해석 모델

벽체의 휨거동을 모사하기 위하여 해석모델은 MVLEM(multiple vertical line element model)를 이용하였다⁽¹³⁾. Fig. 5는 MVLEM을 이용한 모델링 방법을 나타낸다. 구조물의 벽은 Fig. 5의 (a)와 같이 m 개의 요소가 쌓여서 층을 이루고 있고, 구조물의 휨 응답은 n 개의 수직트러스 요소가 상하부의 강체보에 의해 연결되어 나타내게 된다. 여러 개의

트러스 수직부재는 벽체의 철근배근과 콘크리트 단면을 나타내고 벽체의 휨거동에 의한 압축/인장력에 대해 저항한다. 이때 트러스요소는 콘크리트와 철근에 의한 비선형 거동을 위하여 각각의 비선형 물성을 섬유(fiber)요소를 이용하여 모델링하였으며 해석 프로그램은 SeismoStruct를 이용하였다. Fig. 6은 해석에 사용된 철근 재료모델로써 Menegotto와 Pinto⁽¹⁴⁾가 제안하고 Filippou 등⁽¹⁵⁾이 개선한 모델이다. 콘크리트 재료모델은 Enrique Martinez-Rueda와 Elnashai가 제안한 모델로써 재하시와 비재하시의 이력을 고려하였으며, 변형률의 범위를 세 개의 구간으로 구분한 것이 특징이다(Fig. 7).

벽체에 작용하는 전단력은 벽체 중앙에 스프링강성 K_H 로 저항한다. 이 연구에서는 전단강성을 이선형모델로 가정하였다⁽¹⁶⁾.

$$K_H = \frac{GA}{h} \quad (1)$$

여기서 G 는 전단계수, A 는 벽체의 단면적, h 는 벽의 높이를 나타낸다.

5. 해석 예제

휨거동이 지배적인 전단벽을 모사하기 위하여 Priestley의 참고문헌 (12)에 수록된 전단벽 예제를 이용하였고 치수는 Table 1과 같다. 해석모델 전단벽의 철근비(ρ)는 0.56%이고 각 층 질량은 5.75 MN이다.

예제 모델은 마찰감쇠기의 성능을 확인하기 위하여 Fig. 8과 같이 두 개의 전단벽 사이에 아무보강이 없이 각막거동(diaphragm)을 할 때, 마찰감쇠기 설치 시 그리고 강체보(rigid beam) 설치로 구분하여 해석을 수행하였다.

Fig. 9는 해석 모델의 최상층 수평변위 시간이력

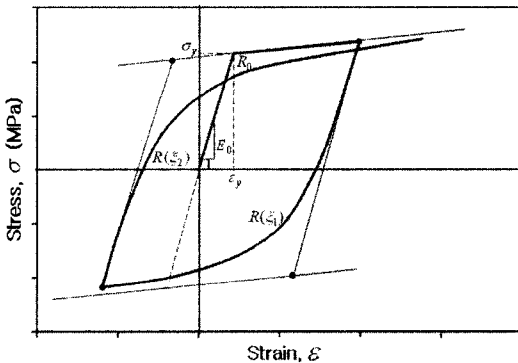


Fig. 6 Constitutive model for steel

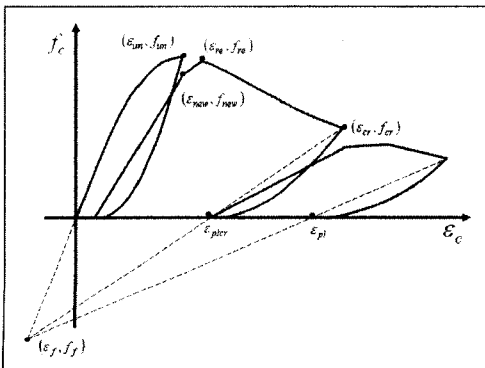


Fig. 7 Constitutive model for concrete

Parameter	Value
Story height	3.2 m
Story	12
Total height	38.4 m
Wall width	5.0 m
Wall thickness	0.25 m
Coupling beam length	1.8 m

을 나타낸다. 두 개의 전단벽을 강체보로 보강한 경우와 마찰감쇠기를 설치한 경우, 두 방법 모두 최상층 변위를 줄여주는 것을 알 수 있다. 하지만 이론적으로 무한한 강성을 갖는 강체보를 연결한 경우보다 마찰감쇠기를 설치한 경우가 더 효과적으로 최상층 변위를 감소시킨다. 이것은 구조물의 감쇠가 증가되면 입력되는 지진하중을 감소시키는 반면 강성을 증가시키면 보강된 부재의 내력은 커지지만 지진에 의한 하중이 동시에 증가되어 기존의 부재의 하중 부담률이 더 커질 수 있음을 보여준다.

이후 해석결과는 강성보강으로 최대의 성능을 갖는 강체보로 보강된 전단벽을 기준으로 마찰감쇠기의 성능을 비교하고자 한다.

마찰감쇠기의 제어성능을 확인 하기위해 마찰감쇠기의 마찰력과 최상층 변위는 각각 강체보가 설치된

경우에 대하여 중간층 보에 작용하는 최대 전단력과 최상층 변위를 기준으로 정규화 하여 식(2)와 같이 N_p 로 나타내었다.

$$N_p = \frac{f_f}{f_{mo}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$$R_d = \frac{|x(t)|_{\max}}{|x_o(t)|_{\max}} \quad (3)$$

$$R_f = \frac{|F(t)|_{\max}}{|F_o(t)|_{\max}} \quad (4)$$

여기서 f_f 와 f_{mo} 는 각각 마찰감쇠기의 최대정지마찰력과 전단벽에 강체보가 설치된 경우 중간층 보에 작용하는 최대 전단력을 나타낸다. 식(3)과(4)에서 R_d 와 R_f 는 각각 강체보가 설치된 구조물로 정규화된 최대변위와 최대밀면전단력의 응답감소를 나타낸다. 여기서 x 와 F 는 최상층 수평변위와 밀면전단력을 나타내고 첨자 'o'는 강체보가 설치된 구조물의 응답을 나타낸다.

Fig. 10은 정규화된 마찰력에 따른 층간변위를 나타낸다. N_p 가 5%에서 45%로 증가됨에 따라 전층의 층간변위비가 고르게 감소되는 것을 알 수 있다. 하지만 N_p 가 55%인 경우는 하부층에서 오히려 증가되는 현상을 확인 할 수 있다.

Fig. 11은 N_p 에 따른 R_d 의 변화를 나타낸다. N_p

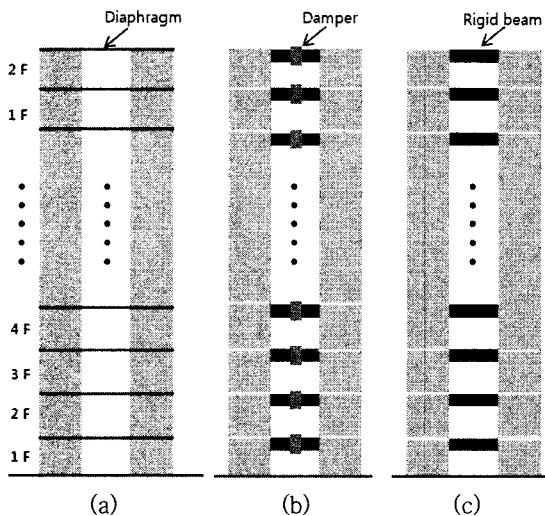


Fig. 8 Analysis example of the shear wall governed by flexural ; (a) original wall, (b) wall with damper, (c) wall with rigid-beam

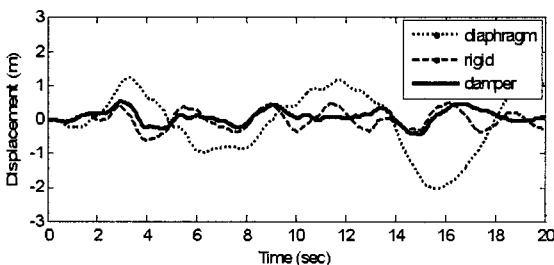


Fig. 9 Time-history response of the top-floor horizontal displacement

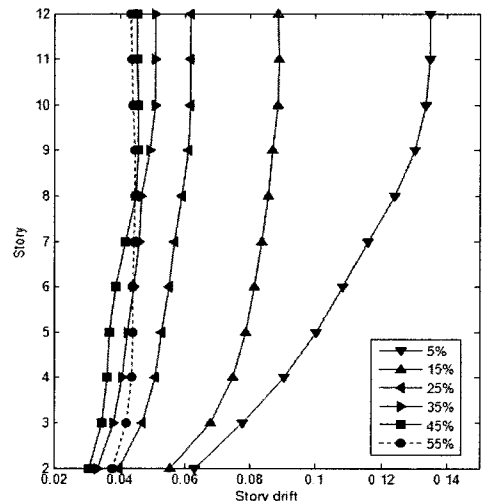


Fig. 10 Normalized story drift according to normalized friction force

가 45 %일 때 R_d 는 0.665로써 최적의 변위제어성능 나타낸다. 하지만 최적의 마찰력은 지진하중의 특성, 목표로 하는 제어 성능, 그리고 구조물의 특성에 따라 달라질 수 있다.

Fig. 12는 N_p 에 따른 R_f 의 변화를 나타낸다. N_p

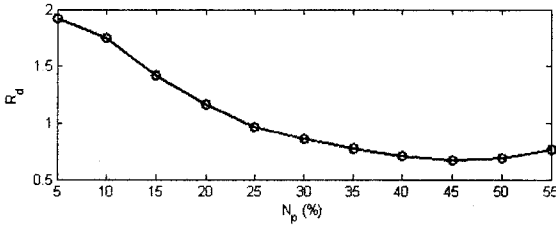


Fig. 11 Normalized top-floor horizontal displacement according to normalized friction force

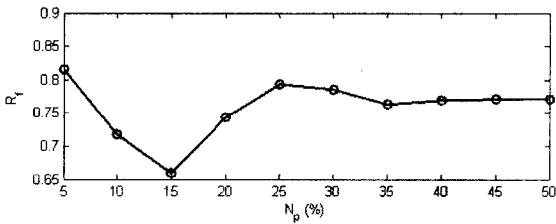


Fig. 12 Normalized base shear force according to normalized friction force

Table 2 Installation location of the damper

	Installation location of the damper
Case 1	Lower (1, 2, 3, 4 story)
Case 2	Middle (5, 6, 7, 8 story)
Case 3	Upper (9, 10, 11, 12 story)
Case 4	Each 2 stories (2, 4, 6, 8, 10, 12 story)

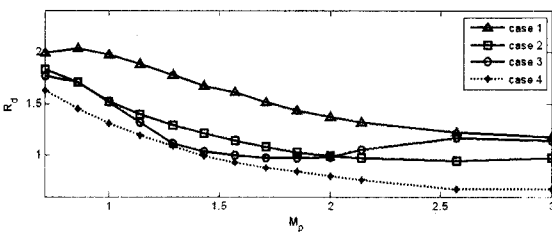


Fig. 13 Top-floor displacement according to installation location of the friction damper and normalized friction force

가 15 %일 때 R_f 가 최소로 나타나지만 Fig. 11과 같이 R_d 는 오히려 증가하게 된다. 하지만 마찰감쇠기의 에너지 소산으로 인해 강체보로 연결된 벽체보다 지진하중에 의해 발생하는 밀면전단력이 항상 작을 것을 알 수 있다.

제한된 마찰감쇠기의 설치 위치에 따른 제어 성능을 검토하기 위하여 Table 2와 같이 마찰감쇠기의 설치 위치를 결정하였다. 진 층에 설치된 마찰감쇠기의 성능과 비교하기 위해 식 (5)와 같이 마찰력을 최적마찰력 f_{opt} 에 대하여 정규화 하였다.

$$M_p = \frac{f_f}{f_{opt}} \quad (5)$$

여기서 f_{opt} 은 최적마찰력으로써 N_p 가 45 %인 경우이다. 마찰감쇠기가 총 4개씩 설치되는 case 1, 2, 3의 경우 $M_p=3$ 일 때 진 층에 설치된 마찰감쇠기의 총용량과 같다. 마찰감쇠기가 총 6개 설치되는 case 4는 $M_p=2$ 일 때 진 층에 설치된 마찰감쇠기의 총용량과 같다.

Fig. 13은 감쇠장치의 설치위치와 M_p 에 따른 R_d 의 변화를 나타낸다. 하부 4개층(1,2,3,4 story)에 감쇠기가 설치된 case 1은 마찰감쇠기가 설치된 인방보에 전단력이 크게 발생하지만 수직변위응답은 상부에 비해 상대적으로 작게 나타난다. 따라서 감쇠기의 에너지소산에 의한 감쇠효과가 작아지고 변위제어성능은 $M_p=3$ 일 때 R_d 는 1.17로써 강성보강보다 좋지 못하다. 하지만 case 2와 3의 경우 R_d 의 최소값은 각각 0.95와 0.97로써, 중앙과 상부에서 휨변형이 커짐에 따라 마찰감쇠기의 에너지소산량이 증가되고 변위제어성능이 1이하로 나타난다. 이것은 제한된 마찰감쇠기는 일반적인 가새-댐퍼 시스템과 달리 저층부보다 상층부에 설치하는 것이 효과적임을 나타낸다. 특히 case 3의 경우 $M_p=1.71$ 일 때 R_d 가 0.97로써 상부층에 설치된 마찰감쇠기는 작은 용량으로 효과적인 제어성능이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

마찰감쇠기를 두 개 층에 한 개씩 설치한 case 4는 $M_p=3$ 일 때 R_d 가 0.674로써 마찰감쇠기의 전체 용량이 1.5배 이상 커졌을 때 마찰감쇠기를 진 층에 설치한 경우와 비슷한 성능을 나타낸다. 하지만 마찰감쇠기의 설치 위치를 반으로 줄일 수 있다는 것

은 시공 및 비용 측면에서 장점이라고 할 수 있다. 다만 case 4의 경우 마찰감쇠기가 설치되는 인방보의 휨강성과 접합부를 고려하여 마찰감쇠기의 최대 마찰력을 설계할 필요가 있다.

6. 결 론

이 논문에서는 전단벽의 휨거동을 이용한 마찰감쇠기를 개발하고 내진성능평가를 위하여 비선형 시간이력해석을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 전단벽의 휨거동에 의해 발생하는 인방보 중앙의 수직 변위가 마찰감쇠기의 이력거동을 유도하기에 충분한 것으로 나타났다. 그리고 강체보를 이용한 강성 보강보다 제안된 마찰감쇠기에 의한 에너지소산으로 감쇠비를 증가하는 것이 구조물의 손상을 줄이는 것뿐만 아니라 최상층의 변위도 감소시키는 것으로 나타났다.

(2) 제안된 마찰감쇠는 정규화된 최대마찰력이 45%일 때 최상층변위를 최소화 하는 최적의 최대마찰력을 갖는다. 다만 최적의 최대마찰력은 지진하중의 특성, 목표 제어성능 그리고 구조물의 특성에 따라 변할 수 있다.

(3) 제안된 마찰감쇠기의 설치 위치에 따른 제어 성능을 검토한 결과 제안된 마찰감쇠기는 중, 상부에 설치된 경우 효과적인 제어 성능을 나타냈다. 이것은 제안된 마찰감쇠기가 기존의 가새를 이용한 감쇠장치들과 달리 상부층에 설치되었을 때 효과적인 제어성능을 갖는 장점을 나타낸다.

(4) 제안된 마찰감쇠기의 비용절감과 시공성을 위해 2개층에 한 개씩 설치한 경우 전 층에 설치한 경우와 같은 변위제어 성능을 나타내었다. 하지만 전 층에 설치한 마찰감쇠기의 총용량의 1.5배 이상이 필요하며 마찰감쇠기가 설치되는 인방보의 휨강성과 접합부 강성이 고려된 설계가 필요하다.

후 기

이 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Jun, D.-H., Kang, H.-G., Cho, H.-W. and Lee, C.-W., 1998, "Evaluation of Lateral Load Resistance Capacity of a High-rise Shear Wall Apartment Based on Elasto-plastic Analysis", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 2, No. 4, pp. 31~40.

(2) Chang, K.-K., Seo, D.-W. and Chun, Y.-S., 2002, "The Behavior of Reinforced Concrete Coupling Elements in Wall-Dominant System", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 14, No. 1, pp. 83~91.

(3) Chang, K.-K., Churn, Y.-S. and Suh, D.-W., 2001, "The Structural Behavior of Reinforced Concrete R/C Coupling Beams in Wall-Dominant System", Journal of the Korea Concrete Institute Annual Spring Conference, Vol. 13, No. 1, pp. 411~416.

(4) Soong T. T. and Dargush G. F., 1997, "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", John Wiley & Sons.

(5) Hong, S.-G. and Lee, J.-H., 2005, "Retrofitting Device to Increase Seismic Resistant Capacity of Shear Walls", Journal of the Korea Concrete Institute Annual Autumn Conference, Vol. 17, No. 2, pp. 25~28.

(6) Park, J.-H. and Kim, G.-H., 2007, "Vibration Control of Shear Wall-frame System using Energy Dissipation Devices", Proceeding of the KSNVE Annual Spring Conference, KSNVE07S-21-03.

(7) Xilin, L., Xiaohan, W. and Liang, M., 1997, "Seismic Behavior of a New Type of Seismic Energy Dissipation Shear Wall System", Structural Engineering and Mechanics, Vol. 5, No. 2, pp. 167~175.

(8) Xilin, L. and Xiaohan, W., 2000, "Study on a New Shear Wall System with Shaking Table Test and Finite Element Analysis", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 29, pp. 1425~1440.

(9) Tony, H., Jose. R. and John, B. M., 2003, "Seismic Performance of Precast Reinforced and Prestressed Concrete Walls", J. Struct. Engrg., Vol. 129, No. 3, pp. 286~296.

- (10) Paulay, T. and Priestley, M. J. N., 1992, "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", Wiley, New York.
- (11) John, W. W., Associate Member, ASCE, 1994, "New Methodology for Seismic Design of RC Shear Walls", Journal of Structural Engineering, Vol. 120, No. 3, pp. 863~884.
- (12) Priestley, M. J. N., Calvi, G. M. and Kowalsky, M. J., 2007, "Displacement-based Seismic Design of Structures".
- (13) Vulcano, A., Bertero, V. V. and Colotti, V., 1988, "Analytical Modeling of RC Structural Walls", Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol. 6, pp. 41~46.
- (14) Menegotto, M. and Pinto, E., 1973, "Method of Analysis for Cyclically Loaded Reinforced Concrete Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements Under Combined Normal Force and Bending", Proceedings, IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-defined Repeated Loads, Lisbon, pp. 15~22.
- (15) Filippou, F. C., Popov, E. G. and Bertero, V. V., 1983, "Effects of Bond Deterioration on Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Joints", EERC Report No. UCB/EERC-83/19, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Calif., p. 184.
- (16) Ko, D.-W. and Lee, H.-S., 2007, "Correlation of Experimental and Analytical Inelastic Responses of 1:12 Scale Irregular High-rise RC Buildings", Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 11, No. 2, pp. 95~104.