

벽식마찰감쇄기의 개발 및 R/C 골조구조물에의 해석적 적용

조창근¹⁾ · 박문호²⁾ · 권민호^{3)*} · 강구수⁴⁾ · 서상길⁵⁾

1) 경북대학교 방재연구소 2) 경북대학교 토목공학과 3) 경상대학교 토목공학과 4) (주)SK건설 도로부 5) 한국도로공사

(2002년 4월 9일 원고접수, 2002년 7월 22일 심사완료)

Development of Frictional Wall Damper and Its Analytical Applications in R/C Frame Structures

Chang-Geun Cho¹⁾, Moon-Ho Park²⁾, Min-Ho Kwon^{3)*}, Goo-Su Kang⁴⁾, and Sang-Gil Seo⁵⁾

1) Research Institute for Disaster Prevention, Kyungpook National University, Daegu, 702-170, Korea

2) Dept. of Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-170, Korea

3) Dept. of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam, 660-701, Korea

4) SK Construction Co, Seoul, 135-736, Korea

5) Korea Highway Co, Seoul, 461-703, Korea

(Received April 9, 2002, Accepted July 22, 2002)

ABSTRACT

A wall type friction damper is newly proposed in this paper to improve the performance of R/C framed structures under earthquake loads. Although traditional dampers are usually placed as bracing members, the application of bracing-type dampers into R/C structures is not as simple as those of steel structures due to the connection between R/C members and dampers and the stress concentration in connection region. Proposed damper is consisted of Teflon-sheet slider and R/C shear wall. The damper can also avoid stress concentration and reduce P-Δ effect.

To evaluate the performance of proposed damper, nonlinear dynamic analyses are carried on 10 story and 3 bay R/C structures with numerical model for the damper. It is shown that the damper reduces the inter-story drifts and the time-historic responses; especially the damper prevents from forming plastic hinges on the lower columns.

Keywords : frictional wall damper, teflon slider, R/C inelastic frame model, seismic retrofit, dynamic analysis

1. 서 론

20세기 중반이후를 지나면서, 구조부재의 내력 향상에 의한 내진설계 개념은 경비와 더불어 현실적인 측면에서 많은 한계를 갖고 있음이 명확해졌다. 내진설계시 경제적인 요소로 인하여 지진에 대한 어느 정도의 피해는 감안한 상태에서 설계가 이루어진다. 따라서 확률적으로 최악의 지진이 발생할 경우 구조물의 붕괴가 일어나지 않는 범위 내에서 설계하여야 하므로 구조 부재에서의 비선형 변형을 피할 수 없으며, 이러한 비선형 변형에 의하여 지진 에너지가 소산된다. 이때 구조 부재간에 각종 감쇄기를 설치하여 보강할 경우, 구조 부재의 단면을 줄일 수 있고 경비와 시공방법 및 지진에 대한 구조물 피해에 대해서도 뛰어난 내진 효과를 기대할 수 있다. 감쇄기 도입에 의한 변형에너지 및 감쇄에너지를 이용한 성능설계개념이 현실적으로 보다 타당성 있음이 기존의 여러 연구에서 이

미 밝혀졌으며(조창근 외, 2001)^{1,2)}, 또한 실제 적용되어지고 있다.

본 연구에서는 철근콘크리트(R/C) 골조구조물에 대한 내진 보강책으로서, 전단벽식 점성마찰 감쇄기 모델을 새롭게 제안하였다. 기존의 감쇄장치가 일반적으로 브레이스 부재 형태를 취하고 있으나, 브레이스형 감쇄장치는 시공상 강골구조물에 적용하기에는 용이한 반면에 R/C 골조구조물에 적용하기에는 시공의 여러 문제점을 갖고 있다. 브레이스형 감쇄기를 사용할 경우 R/C 구조부재와 감쇄기 간의 연결 면에서 응력집중에 의한 콘크리트 파손과 R/C 부재의 손상을 피할 수 없는 단점이 있다. 이를 피하기 위하여, 감쇄기와 R/C 부재간 연결 면이 한 점에 집중하여 응력이 집중되는 형태보다는 여러 면이 고루게 분산되도록 R/C 부재와 감쇄기 간 연결을 이를 경우 콘크리트 부재의 손상을 억제할 수 있을 것이다.

본 연구에서 제안코자 하는 전단벽식 마찰 감쇄기는 R/C 골조구조물의 내진 보강에 적용할 경우 구조부재들과의 연결부 파손을 억제할 뿐만 아니라 상부 하중으로 인한 P-Δ효과를 동시에 격감시키면서 감쇄장치로서의 효

* Corresponding author

Tel : 055-751-5382 Fax : 055-751-5374
E-mail : kwonm@nongae.gsnu.ac.kr

과를 최대한 발휘할 수 있도록 한 것이다.

2. 전단벽식 마찰 감쇄기 장치

본 연구에서 제안하는 전단벽식 점성마찰 감쇄기 장치는 Fig. 1과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 철근콘크리트 전단벽의 상부에 요철형 강재가 부착되어 있다. 강재의 요철면 사이에 테프론 슬라이더가 부착되어 있으며, 테프론 슬라이더(teflon slider)의 점성마찰에 의해서 수평의 지진하중에 대한 감쇄효과를 발휘하도록 하였다. 감쇄력의 크기와 감쇄장치의 변위조절은 강재가 테프론 슬라이더에 작용하는 수직력의 조절 및 테프론 슬라이더의 재원에 따라서 설계할 수 있도록 하였다. 한편 상층부의 수직력에 대해서는 감쇄장치의 수직변형을 억제할 수 있도록 하면서 수평방향에 대한 미끄럼현상을 유발할 수 있도록 하기 위하여 요철형 강재의 상하면 사이에는 베어링을 설치하도록 하였다. 감쇄장치의 상부 면은 상층부 보 부재의 하면에 연결하여 설치하도록 하였으며, R/C 전단벽 부분을 골조구조물의 경간에 시공하도록 하여, 상층부와 하층부 사이의 충간변위에 대해서 전단벽식 감쇄기가 제어효과를 나타낼 수 있도록 고안하였다.

3. 테프론 슬라이더의 마찰거동특성 및 수치모델

테프론 슬라이더는 구조물의 면진장치 및 교량받침에 널리 사용되어 왔다. 테프론 쉬트의 마찰거동특성에 관한 실험연구가 Mohka 와 Constantinou 등(1990)^{3,4)}에 의해 이루어졌다. 본 실험을 통하여, 미끄럼속도, 미끄럼가속도, 테프론에 작용하는 압축력 및 테프론의 형태에 따른 테프론 슬라이더의 마찰거동특성에 미치는 영향에 관하여 검토하였다. 실험결과로부터 미끄럼속도와 베어링에 작용하는 압축력은 테프론 슬라이더의 마찰력에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 반면에 미끄럼가속도는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 마찰력은 미끄럼속도가 증

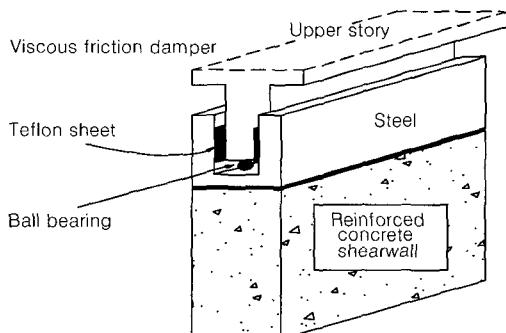


Fig. 1 Proposed frictional wall damper

벽식마찰감쇄기의 개발 및 R/C 골조구조물에의 해석적 적용

가함에 따라 점차적으로 증가하여 일정한 미끄럼속도를 넘어서는 더 이상 증가하지 않고 일정한 마찰력의 크기를 발휘하였다. 한편 작용하는 압축력이 증가함에 따라서 미끄럼속도에 크게 의존하면서 마찰력의 크기는 감소하였다.

이상과 같은 실험결과에 근거하여 테프론 슬라이더의 미끄럼마찰계수 μ_s 는 미끄럼속도 \dot{U} 에 의해 식 (1)과 같이 근사화 시킬 수 있다(Mohka, et al., 1990)⁴⁾.

$$\mu_s = f_{\max} - Df \exp(-a|\dot{U}|) \quad (1)$$

여기서, f_{\max} 는 미끄럼속도가 큰 경우에서의 최대마찰계수, Df 는 f_{\max} 과 미끄럼속도가 매우 작은 경우에서의 마찰값과의 차이, a 는 테프론 슬라이더에 작용하는 압축력과 경계면 조건에 따른 상수이다.

이때 테프론 슬라이더 면에 작용하는 마찰력 f_D 는 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$f_D = \mu_s N \operatorname{sgn}(\dot{U}) \quad (2)$$

여기서, N 은 테프론 슬라이더에 작용하는 압축력을 나타낸다.

한편, 전단벽식 마찰 감쇄기 장치에서 전단벽 부분은 R/C 전단벽으로서 설계하도록 한다. 이때 지진하중이 작용할 경우 테프론 슬라이더에서 대부분의 횡방향 변위가 발생하게 되므로 전단벽은 횡방향 변위가 거의 무시할 정도로 작게 전달되어 지진하중에 대해 거의 탄성거동 하에 있다고 볼 수 있다. 따라서, 본 해석모델에서는 R/C 전단벽 부분은 탄성거동을 하는 것으로 가정하여, 두 절점을 갖는 선 요소로 모델링하였으며, 콘크리트 균열발생전 R/C 평면응력상태에 대하여 트러스모델을 이용하여 전단벽의 수평 및 수직방향 단면강성을 산정하였다. 식(2)의 구성관계를 갖는 테프론 슬라이더 요소는 요소길이가 0인 연결요소를 사용하여, 전단벽인 선요소의 상부 절점의 수평자유도와 위 층 R/C 보 사이에 놓아두고, 전단벽 선요소의 하부 절점 수평자유도는 아래 층 보의 대응 자유도와 적합조건을 일치시켜 요소 연결을 이루도록 하였다. 이로서 복합요소로 모델링된 감쇄기 요소가 R/C 비탄성 부재의 요소와 연결되도록 하였다.

4. R/C 골조 구조물의 비탄성모델

R/C 부재의 이력거동특성을 포함한 비선형 모델을 정확하게 고려하기 위해서는 수치해석적인 접근이 필요하다. 또한 구조물의 전반적인 손상이나 구조물 내의 각 부재에 누적되는 손상을 나타내 주는 변수들을 정의해야 할 필요

성이 있다. R/C 휨 부재의 이력거동에 있어서 강성저하, 강도저하 및 전단력 저하의 영향은 실험으로부터 정식화되며, 구조물에 하중이 재하되는 동안 부재의 양단 모멘트와 곡률에 의해 비탄성 강성 행렬이 계산된다.

4.1 응력 및 변형률 관계

철근의 응력-변형률 관계는 철근의 항복이후 강성을 고려하여 이원선형으로 이상화 하였다.

콘크리트의 응력-변형률 관계는 콘크리트의 일축압축강도까지의 압축상승부분은 Hognestad(1951)의식을 사용하였으며⁵⁾, 그 이후 극한 응력점까지의 압축하강부분은 선형적으로 감소하는 것으로 가정하였다. 전단철근 내부의 구속된 콘크리트의 응력 및 변형률 관계를 고려하기 위하여 Kent와 Park(1971)의 제안식을 사용하였다⁶⁾. 인장측 콘크리트는 응력-변형률 관계가 선형관계이며, 균열 발생 후에는 응력을 받지 못하는 것으로 가정하였다.

4.2 R/C 부재의 모멘트-곡률 관계

철근 콘크리트 부재 단면이 콘크리트의 균열 후에도 평면상태를 유지한다는 가정과, 전술한 콘크리트와 철근의 응력-변형률 관계로부터 부재의 모멘트-곡률 관계를 산정할 수가 있다. R/C 보 및 기둥 부재의 모멘트-곡률 관계를 산정하기 위하여 균열한계점, 항복한계점, 극한한계점을 철근 및 콘크리트의 응력-변형률 관계로부터 계산할 수 있다. 여기서 축력 및 휨의 조합하중을 받는 직사각형 R/C 보 및 기둥단면에 대한 모멘트-곡률 관계를 Fig. 2와 같이 총상화 모델(fiber model)을 이용하여 산정하도록 하였다(mander, 1984)⁷⁾. 한편 R/C 부재의 경우, 균열 발생 전후의 강성의 차이가 철근항복이후의 전체 강성변화에 비해 매우 작아 철근의 항복 이전 강성을 균열강성으로 대치하여 모멘트-곡률관계가 이원선형이 되도록 단순화하였다. Ichinose 등(1994)에 의하면⁸⁾ 균열 발생 전의 강성을 무시하여도 부재의 전체 이력거동에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고되었다.

4.3 R/C 부재의 이력모델

반복하중 하에서의 R/C 부재의 거동은 단조하중 하에서의 거동과는 다른 양상을 나타내게 된다. 반복하중을 받는 부재의 강성은 콘크리트의 균열과 철근 및 콘크리트의 미끄럼현상 등으로 강성이 저하되는 현상을 나타내게 된다. 본 연구에서는 반복하중을 받는 R/C 부재의 강성저하현상을 고려하기 위하여 Fig. 3에 나타난바와 같이, Kunnath 등(1990)⁹⁾이 삼원선형곡선에 기초하여 제안한 이론을 이원선형으로 단순화하여, 이전의 이력단계가 탄성

한계를 초과했을 경우, 균열강성도의 기울기를 갖는 외삽선이 αP_y 의 크기를 갖는 가상점 A에 놓이도록 하여, 제하곡선이 x-축에 도달하기까지 이점을 지향하도록 가정하였다.

반복하중으로 인하여 R/C부재에 손상이 누적되며 이는 R/C부재의 강도 감소로 나타난다. 또한 하중의 반복횟수 증가에 따라 강도 저하는 더욱더 현저하게 일어난다. 실험에 의하면, 임계점은 콘크리트가 최대 변형률 ϵ_m 에 도달할 때의 곡률값인 ϕ_m 과 관련이 있으며, 강도의 저하는 임계곡률이 초과한 양에 비례하는 것으로 나타났다. 이러한 거동을 묘사하기 위하여 Fig. 4와 같이 본 연구에서는 이력곡선의 선상에 가상의 점을 두고 실제의 제하단계에서의 최대하중 지점을 대체하도록 하였다(roufaief 등, 1987)¹⁰⁾. 실험에서는 임계곡률 ϕ_m 값을 초과한 경우 몇 번의 반복하중에서 부재의 파괴가 일어난다는 사실을 보여주었다.

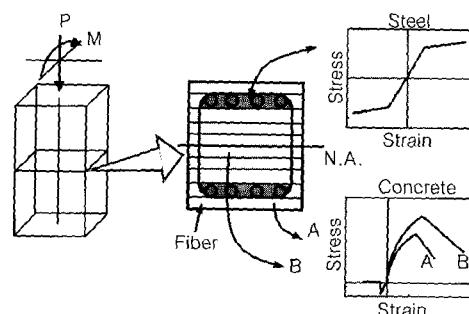


Fig. 2 Fiber model of cross sections

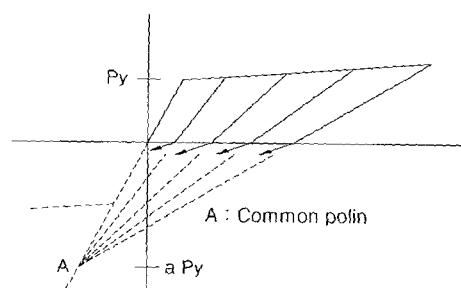


Fig. 3 Stiffness degradation

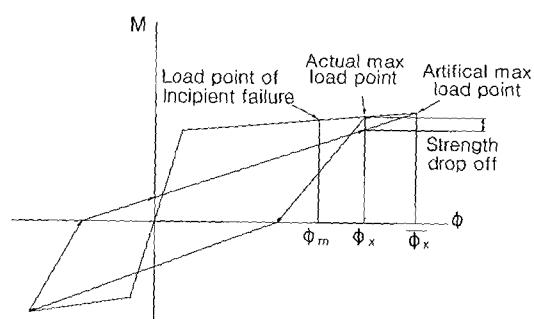


Fig. 4 Strength deterioration

4.4. R/C 부재의 비탄성 모델

R/C 평면골조 부재의 비탄성 접선 강성을 산정하기 위하여, 부재 모멘트가 항복 모멘트에 도달하는 위치에 따라서 Fig. 5와 같이 부재를 양단부의 비탄성 영역과 내측부의 탄성 영역으로 구분하였다(Roufaeil 등, 1987)¹⁰⁾.

절점 i 의 x_i 길이를 갖는 비탄성 영역에서는 단면의 평균강성 (EI_i) _{i} 를 가지며, 절점 j 의 x_j 길이를 갖는 비탄성 영역에서는 단면의 평균강성 (EI_j) _{j} 를 가지며, $(L - x_i - x_j)$ 길이를 갖는 내측부에서는 단면의 초기 강성 (EI_e) _{e} 를 갖는다. 따라서 부재의 비탄성 접선 강성행렬의 산정에서 강성계수값들은 소성한지 발생영역에서의 소성한지 분포길이에 의존하며, 달리 말하면, 강성계수값들은 단부모멘트가 소성모멘트를 초과하는 양의 함수로서 유도된다.

한편, 죽강성계수는 선형탄성으로 가정할 경우, 비탄성 휨강성과 함께 6×6 의 크기를 갖는 R/C 평면골조 부재의 비탄성 접선 강성행렬을 유도할 수 있다.

5. 비선형 동적 알고리즘

철근콘크리트 보 및 기둥부재의 비선형 복원력 특성과
부가적인 전단벽식 감쇄기를 함께 고려한 경우, 비선형 증
분형 운동방정식을 정식화할 수 있다. 비선형 동적 운동
방정식을 갖는 평면골조구조물의 동적해석을 위하여, 지진
하중을 받는 골조구조물의 비선형 동적해석 프로그램인
PC-ANSR 프로그램에¹¹⁾ R/C 부재 및 제안된 감쇄기 요
소의 서브루틴 ELEM7 및 ELEM8을 각각 작성하여 추
가하였다. ELEM7에는 다음 4개의 부프로그램이 있으
며, INEL7은 R/C 부재의 초기 및 입력데이타, STIF7
은 접선강성행렬의 개선, RESP7은 R/C 부재의 이력관
계거동의 산정, OUT7은 부재 거동결과를 출력하는 부
프로그램들로 이루어져있다. ELEM8에도 다음 4개의
부프로그램이 있으며, INEL8은 감쇄기의 초기 및 입력
데이타, STIF8은 접선강성행렬의 개선, RESP8은 감쇄
기 요소의 이력관계거동의 산정, OUT8은 감쇄기 거동
결과를 출력하는 부프로그램들로 이루어져있다.

6. R/C 골조구조물에 대한 적용 예

지금까지 기술한 내용에 기초하여, 기존의 R/C 골조구 조물에 제안된 전단벽식 마찰 감쇄기의 모델을 적용하여, 지진하중을 받는 경우에 대한 전단벽식 감쇄기 보강으로 인한 내진성능 개선에 관하여 적용 예를 통하여 비교·검토하도록 하였다.

6.1 적용 대상 구조물

본 연구에서 고려한 적용 대상 구조물은 10층 3경간 R/C 평면골조구조물로서, Healey 와 Sozen (1978)의 실험에 적용된 구조물이다¹²⁾. 경간 및 층 높이 와 보 및 기둥의 단면형상은 Fig. 6과 같다. 대상구조물의 기둥과 보의 단면 콘크리트와 철근의 재료값들을 함께 나타내고 있다.

적용 대상 구조물에 고려될 지진하중은 Fig. 7과 같이 El Centro 1940 N-S 파형의 지진가속도를 사용하여, 최대 지진가속도 a_{\max} 값이 0.34 g (g는 중력가속도)인 경우

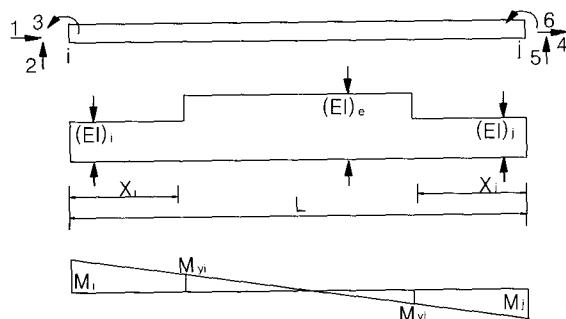


Fig. 5 Inelastic model of R/C member

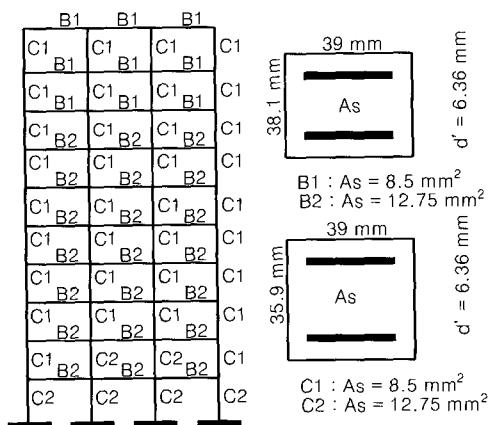


Fig. 6 R/C frame structures

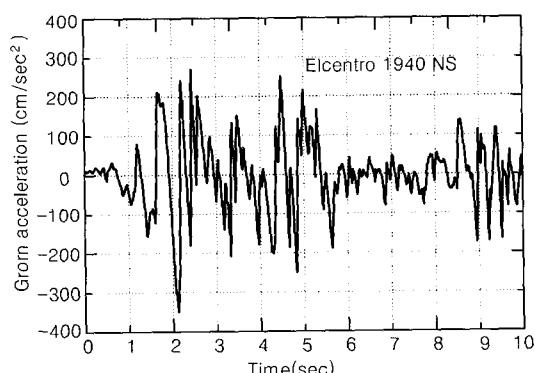


Fig. 7 Elcentro 1940 NS acceleration

로 스케일된 입력지진가속도를 적용하였다. 전체 구조부재들에 대한 감쇄비는 부재의 탄성 및 비탄성 거동에 관계 없이 5%로 일정하게 가정하였다.

이상의 기준 R/C 골조구조물에 본 연구에서 제안된 전단벽식 마찰감쇄기를 설치하였다. Fig. 8과 같이 본 연구에서는 중앙 경간에 제안된 감쇄기가 (a) 3층까지 설치된 경우, (b) 7층까지 설치된 경우, (c) 10층 전 층까지 설치된 경우, 그리고 (d) 감쇄기가 없는 기존구조물의 4가지 경우에 대해서 비교하도록 하였다.

마찰감쇄기에서 테프론 슬라이더의 재료값은, Mohka 와 Constantinou 등(1990)⁴⁾에 의해 실험된 지지력이 6.9MPa 인 경우의 실험 결과로부터, 식(1)에서의 f_{max} 값은 0.1193, Df 값은 0.0927, α 값은 23.62 s/m , 그리고 단면적은 가로 20 cm 및 세로 2 cm로서 모든 감쇄기에 동일하게 적용하였다. 한편, 테프론 슬라이더에 작용하는 수직 압력은 0.56 MPa로서 모든 감쇄기에 동일하게 고려하였다.

전단벽식 마찰 감쇄기의 R/C 전단벽에 사용된 재료값은 다음과 같다. 콘크리트의 압축강도 f_{ck} 은 31.1 MPa, 종방향 철근의 인장허용응력 f_y 는 350 MPa, 종방향 철근 비는 0.0024를 사용하였다. 전단벽의 두께는 보 및 기둥 부재의 폭과 같고, 높이는 각 층의 높이와 같게 보았으며, 폭은 경간 폭의 80%로 가정하여, 수평방향 지진응답거동에 대하여 전단벽과 인접 기둥이 충분히 떨어져 있도록 하였다.

이상과 같은, 대상 구조물의 해석 예를 구성하여, 제안된 전단벽식 마찰 감쇄기로 보강된 R/C 골조구조물에서의 내진성능개선에 관한 우수성을 평가하였다.

6.2 해석결과 및 고찰

10초 동안의 입력지진가속도에 대하여 비선형 시간이력 해석을 수행한 결과, Fig. 9는 감쇄기가 없는 경우와 감쇄기가 설치된 경우에 대한 최종단계에서의 소성한지 발생 분포를 나타내고 있다. 여기서, 소성한지 발생은 R/C 부재의 인장철근이 항복한 경우를 나타낸다. 감쇄기를 1~3 층에 걸쳐 설치한 경우에는 4~5층 기둥, 감쇄기를 1~7 층에 걸쳐 설치한 경우에는 8층 기둥에서 각각 주철근이 항복하였으며, 전 층에 걸쳐 감쇄기를 설치한 경우에는 모든 부재에서 인장철근의 항복에 도달하지 않은 것으로 나타났다. 그러나, 감쇄기가 없는 기존 구조물의 경우, 최하층에서부터 7층까지 거의 모든 기둥과 보에서 인장철근의 항복으로 소성한지가 발생된 것으로 나타났다.

감쇄기가 없는 기존 구조물과 각 감쇄기 배치에 따른 최상층부의 시간이력-변위 관계를 각각 Fig. 10에서 나타내었다. 감쇄기 배치로 인한 시간이력-변위의 비교에서,

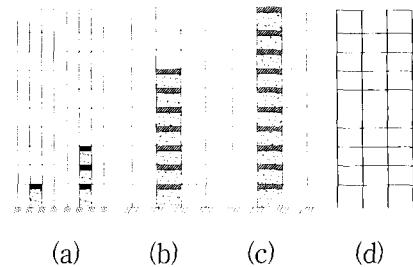


Fig. 8 Analysis models with dampers

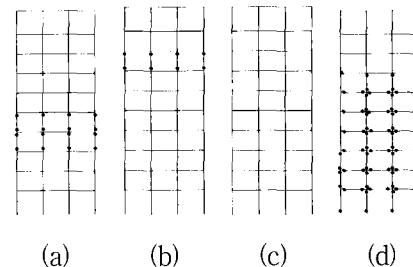


Fig. 9 Location of plastic hinges

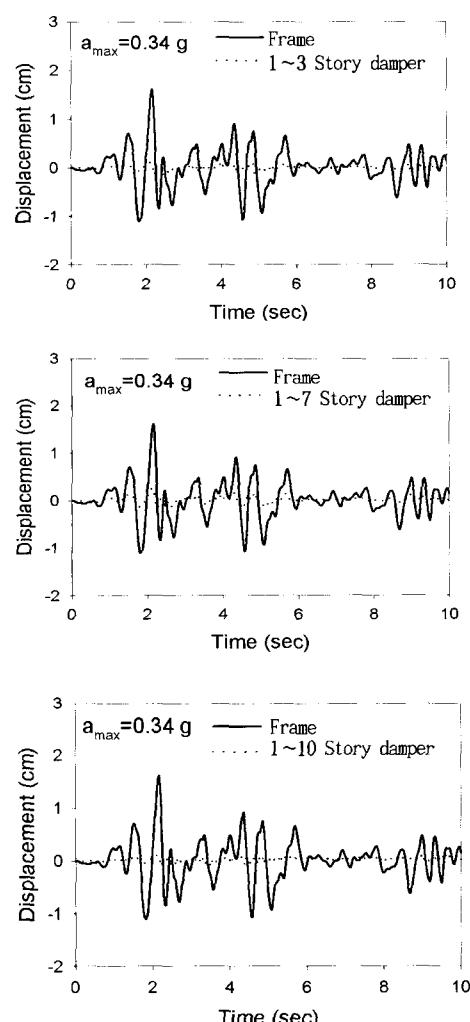


Fig. 10 Time history responses at roof

제안된 감쇄기로 인한 기존구조물의 지진응답에 대한 제어효과가 뚜렷하게 향상됨을 파악할 수 있으며, 감쇄기를 1~3층까지 설치한 경우에서도 기존구조물에 비해서 응답 제어에 우수한 효과를 나타내는 것으로 평가할 수 있다.

이와 같은 감쇄기의 제어효과는 충간변위 비교에서도 파악 할수 있듯이 Fig. 11은 기존구조물과 각 감쇄기 배치에 따른 최대 충간변위를 나타내고 있다. 최대충간변위의 비교에서, 기존구조물에 비해 1~3층까지 감쇄기를 설치한 경우 4.2배, 1~10층까지 감쇄기를 설치한 경우 8.7배 충간변위를 억제할 수 있었다. 그림에서 알 수 있듯이, 기존구조물에서는 저층부에서 상대적으로 큰 충간변위 분포를 나타내었으나 감쇄기 도입으로 인하여 저층부의 충간변위를 크게 줄여주는 효과를 나타내었다.

이는 저층부의 기둥 부재가 부담해야 할 변형에너지를 크게 줄여줌으로서 전체구조물에 대한 안정성을 크게 개선해 주는 것으로서 Fig. 12에서처럼 기둥 부재의 모멘트-곡률 관계의 이력거동을 통해서 비교·평가할 수 있다.

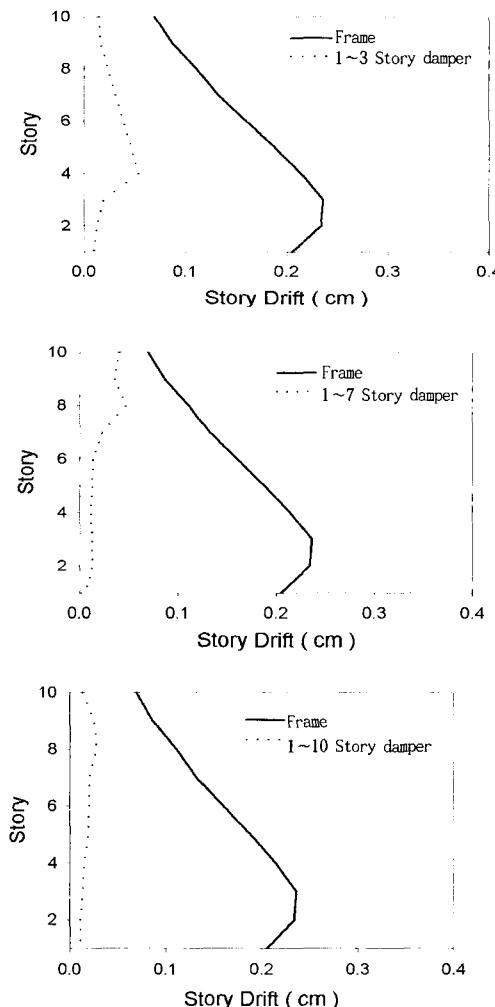


Fig. 11 Story drift

그림에서 (a)는 1~3층까지 감쇄기를 배치한 구조물의 4층 기둥 부재, (b)는 1~7층까지 감쇄기를 배치한 구조물의 8층 기둥 부재, (c)와 (d)는 각각 전 층에 감쇄기를 배치한 경우와 감쇄기를 배치하지 않은 기존구조물의 1층 기둥 부재에 관한 모멘트-곡률 관계이다. 1층 기둥 부재의 철근 항복 및 소성한지 발생으로 인한 변형에너지 증가는 기존구조물에서만 나타났으며, 1~10층까지 감쇄기를 설치한 경우에는 소성한지 발생 부재가 없었다. 그 외의 경우에는 감쇄기가 설치된 바로 위 층 기둥 부재에서 소성한지가 발생하였으나, 그림에서처럼, 철근항복 이후 소성비 및 부재 변형량은 기존구조물에 비해서 매우 작게 나타났다.

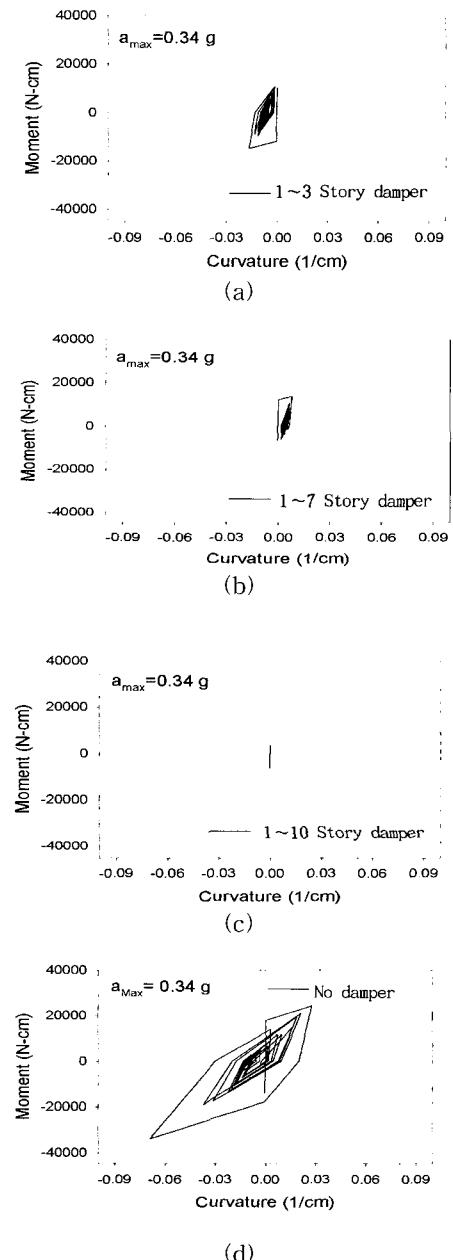


Fig. 12 Moment-curvature in columns

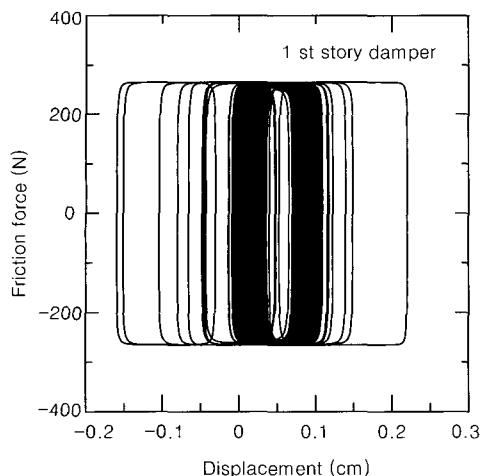


Fig. 13 Force-displacement at damper

이는 Fig. 13에서 나타난바와 같이 지진 입력에너지로 인한 구조 부재의 변형에너지 증가량을 도입된 감쇄기의 감쇄 및 변형에너지로 흡수함으로서 전체구조물에 대한 손상을 억제시켜 주는 것으로 평가할 수 있다. Fig. 13은 1~10층까지 감쇄기를 배치한 경우의 1층 감쇄기의 마찰력-변위 이력거동 관계를 나타내고 있다. 이력거동 곡선의 면적은 감쇄기가 소산시킨 에너지를 나타내는 것으로, 각 층의 감쇄기가 소산시킨 에너지만큼 구조물의 손상을 억제시켜 주는 것으로 평가되었다.

7. 결 론

본 연구에서 제안된 감쇄기 모델을 R/C 골조구조물의 비선형 해석에 적용함으로서, 감쇄기가 보강되지 않은 경우와 보강된 경우와의 비교·분석을 통해, 제안된 전단벽식 마찰 감쇄기의 지진응답제어 및 구조부재에 대한 손상 억제에 우수성을 확인할 수 있었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 본 논문에서는, R/C 부재와 감쇄기 간 연결부의 응력집중 및 파손과 P-Δ 효과를 억제할 수 있는 장점을 고려하여, 전단벽식 마찰 감쇄기 장치를 제안하였으며, 제안된 장치에 기초하여 전단벽식 마찰 감쇄기의 이력거동을 고려한 수치해석모델을 제시하여 감쇄기를 포함한 R/C 부재의 비선형 골조구조물에 관한 동적해석모델을 소개하였다.

2) 감쇄기가 보강되지 않은 경우와 감쇄기로 보강된 구조물을 비교했을 때, 감쇄기를 대상구조물에 적용한 경우, 최상층부의 변위이력-변위 관계 및 층간변위 억제에서 탁월한 제어효과를 보이는 동시에 전 층에 걸쳐 고른 변위 분포를 나타내어 지진하중에 대해서 보다 안정적인 거동을 나타냄을 알 수 있다.

3) 감쇄기 보강으로 인하여 1층 및 저층 기둥 부재의 철근항복 및 소성한지 발생을 억제하여 기둥 부재의 손상을 감쇄기의 소산에너지로 흡수하여 전체 구조물에 대한 붕괴를 방지하는 한편, 지진 발생후의 건물의 보수보강에도 큰 도움이 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- 조창근, 박문호, “수동제어용 유체점성 감쇄기로 보강된 철근콘크리트 빼대구조물의 비선형 동적해석,” 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제21권 1-A호, pp.21~32, 2001.
- 조창근, 박문호, 곽진순, “물리·역학적 특성을 고려한 점탄성 감쇄기 모델에 의한 강뼈대구조물의 지진응답 개선,” 한국전산구조공학회 논문집, 제14권 2호, pp.225~236, 2001.
- Mohka, A., Constantinou, M. C., and Reinhorn, A. M., “Teflon Bearing in Base Isolation, Part I : Testing,” *J. of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 116, No. 2, pp.438~454, 1990.
- Mohka, A., Constantinou, M. C., and Reinhorn, A. M., “Teflon Bearing in Base Isolation, Part II : Modeling,” *J. of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 116, No. 2, pp.455~474, 1990.
- Hognestad, E., “A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members,” Univ. of Illinois Eng. Experimental Station, Bulletin Series No. 399, pp.128, 1951.
- Kent, D. C. and Park, R., “Flexural Members With Confined Concrete,” *J. of the Struct. Div., ASCE*, Vol. 97, ST7, pp.1969~1990, 1971.
- Mander, J. B., “Seismic Design of Bridge Piers,” Ph.D. Dissertation. Dept. of Civil Eng., Univ. of Canterbury, New Zealand, 1984.
- Ichinose, T. and Takiguchi, K., “Experimental Verification of Beam Models of RC,” *J. of the Struct. Eng., ASCE*, Vol. 120, No. 8, pp.2261~2280, 1994.
- Kunnath, S. K., Reinhorn, A. M., and Park, Y. J., “Analytical Modeling of Inelastic Seismic Response of R/C Structures,” *J. of the Struct. Eng., ASCE*, Vol. 116, pp.996~1017, 1990.
- Roufaeil, M. S. and Meyer, C., “Analytical Modeling of Hysteretic Behavior of R/C Frames,” *J. of the Struct. Eng., ASCE*, Vol. 113, pp.429~444, 1987.
- Maison, B. F., “PC-ANSR : Micro Computer Program for NISEE.” University of California, Berkeley, 1992.
- Healey, T. J. and Sozen, M. A., “Experimental Study of the Dynamic Response of a Ten-Story Reinforced Concrete Frame with a Tall First

- Story*," Structural Research Series No. 450, Univ. of Illinois, Urbana, 1978.
13. Kwon, M. and Spacone, E., "Three-Dimensional Finite Element Analyses of Reinforced Concrete Columns," *Computers and Structures*, Vol. 80, pp.199~212, 2002.

요 약

본 연구에서는 R/C 골조구조물에 대한 내진성능개선 방법으로서, 벽식 마찰 감쇄기 모델을 새롭게 제안하였다. 기존의 감쇄 장치가 일반적으로 브레이스 부재 형태를 취하고 있으나, 브레이스형 감쇄장치는 시공상 강골조구조물에는 적용하기 용이한 반면 R/C 골조구조물에 적용 시에는 R/C 구조부재와 감쇄기 간의 연결 문제, 감쇄기와 R/C 부재 연결부에서의 응력집중으로 인한 R/C 구조부재의 파손 우려 등의 단점이 있다. 제안된 감쇄기는 감쇄기 연결부의 R/C 구조부재 파손 및 구조물의 P-Δ효과를 줄이는 데 장점을 가지면서 감쇄기로서의 역할을 발휘하도록 한 테프론 슬라이더와 R/C 전단벽 조합형 감쇄기이다.

제안된 감쇄기의 내진성능개선 능력을 평가하기 위하여, 감쇄기의 수치모델을 고려한 R/C 골조구조물의 비선형 동적해석 알고리즘을 제시하였다. 지진하중이 작용하는 기존의 10층 3경간 R/C 골조구조물에 본 감쇄기를 적용한 수치해석 결과, 시간이력 거동 및 충간변위의 억제에서 탁월한 제어효과를 나타내었으며, 저층 기둥 부재의 소성현지 발생 및 구조부재의 손상을 감쇄기의 소산에너지로 억제하여 줌으로서 구조물 내진성능개선에 효과가 우수한 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 벽식마찰감쇄기, 테프론 슬라이더, R/C 비탄성 골조모델, 내진성능개선, 동적해석