

구조물의 이력특성에 따른 수직증축형 납-고무 받침 동조질량감쇠기의 성능평가

Performance Evaluation of Vertical Extension Type Rubber Bearing TMD Considering Hysteretic Characteristics of Structures

우성식* · 이상현†

Sung Sik Woo, Sang Hyun Lee

1. 서 론

우리나라의 공동주택은 철근콘크리트 벽식 구조가 다수를 이루고 있다. 그 중에서도 1988년 이전에 건설된 아파트는 시공의 용이성 등의 이유로 대부분 장변방향으로 내력벽이 배치되어 있지 않아 내진성능이 크게 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 때문에 최근에는 공동주택의 리모델링 시 평면변경과 함께 부족한 내진성능을 보강하기 위하여 전단벽을 사용한 보강이 주를 이루고 있다. 이러한 전단벽 보강은 비용을 고려할 때, 강도와 강성을 동시에 증가시키는데 있어 가장 효율적이고 전통적인 보강방법이나, 많은 양의 전단벽을 설치함에 따라 질량이 증가하게 되고, 이는 지진하중의 증가하여 요구 강도 및 기초에 전달되는 하중이 증가되어 기초 보강량도 함께 증가하게 된다.

따라서 본 연구에서는 전단벽식 노후공동주택의 내진성능 향상방안으로 구조물에 별도의 질량체를 추가하지 않고, 1개 층을 납-고무 받침을 접합부에 설치하여 동조질량감쇠기와 동일한 효과를 발휘하는 방안을 검토하였다. 이를 위해 Bouc-Wen 모델을 이용하여 구조물과 납-고무 받침의 이력특성을 모사하였고, 구조물의 항복 후 강성비와 항복 강도비에 따라 수동형 동조질량감쇠기와 증축형 동조질량감쇠기의 이력거동에 의한 응답제어 성능을 비교 평가하였다.

2. 구조물-수직증축형 동조질량감쇠기 운동방정식

구조물이 항복하는 경우에 발생하는 이력거동은 잘 알려진 Bouc-Wen 모델을 사용하여 모사될 수 있다. 납-고무 받침이 사용된 수직증축형 동조질량감쇠기가 설

치된 비선형 이력 구조물의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} m_s & 0 \\ m_t & m_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_s & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_s k_s & -\alpha_t k_t \\ 0 & \alpha_t k_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ x_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(1-\alpha_s)k_s D_{ys} & (1-\alpha_t)k_t D_{yt} \\ 0 & -(1-\alpha_t)k_t D_{yt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_s \\ \eta_t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m_s \\ m_t \end{bmatrix} \ddot{x}_g \quad (1)$$

여기서, m_s , c_s , k_s 는 구조물의 질량, 점성, 그리고 초기강성을 나타내고, m_t , k_t 는 TMD의 질량과 면진고무의 강성을 나타낸다. x_s , x_t , 그리고 \ddot{x}_g 는 각각 구조물 변위, TMD의 설치층에 대한 상대변위, 그리고 지반가속도를 나타낸다.

α 와 D_y 는 구조물 및 납-고무 받침 이력시스템의 항복후 강성비와 항복변위를 나타내고, η 는 이력거동을 모사하기 위해 도입된 변수이고 아래첨자 s와 t는 각각 구조물과 납-고무 받침을 나타낸다. η_s 와 η_t 는 다음 미분 방정식에 의해 결정된다.

$$D_{ys} \dot{\eta}_s + \gamma_s |\dot{x}_s| \eta_s |\eta_s|^{n-1} + \beta_s \dot{x}_s \eta_s^{n-1} - A_s \dot{x}_s = 0 \quad (2)$$

$$D_{yt} \dot{\eta}_t + \gamma_t |\dot{x}_t| \eta_t |\eta_t|^{n-1} + \beta_t \dot{x}_t \eta_t^{n-1} - A_t \dot{x}_t = 0 \quad (3)$$

여기서, γ , β , n , 그리고 A 는 이력곡선의 크기, 형상, 그리고 곡선의 변화구간에서의 부드러움을 결정하는 변수이다. (2), (3) 식의 $\alpha=1$ 인 경우는 구조물이 탄성으로 거동하는 것을 의미한다.

본 연구에서는 이선형 거동을 보이는 구조물의 이력을 모델링하기 위하여 Whittaker등이 제시한 수치를 사용하여 모델링을 하였다.

3. 수치해석 예제

본 연구에서 제안하는 납-고무 받침이 설치된 증축형 동조질량감쇠기의 성능을 검증하기 위하여 1초의 주기(T)를 갖는 구조물에 2%의 감쇠비를 가지도록 감쇠를 설정하였다. 해석에 사용한 지진하중은 최대가속도를

† 교신저자 : 단국대학교 건축공학과
E-mail : lshyun00@dankook.ac.kr
Tel : (031) 8005-3735, Fax : (031) 8005-2643

* 단국대학교 대학원 건축공학과

0.3g로 조정된 El Centro(1940, NS성분) 지진파를 사용하였고, 구조물과 납-고무 받침에 발생하는 이력거동은 항복강도비를 0.2~0.9까지 0.1간격으로 구분하고, 항복 후 강성비를 0.5, 0.15, 0.05, 0으로 구분하였으며, 증축형 동조질량감쇠기가 설치되지 않은 이력구조물을 탄성 및 비탄성 이력 거동으로 구분하고, 각각의 거동특성에 따라 최적 감쇠비로 설계된 수동형 동조질량감쇠기, 납-고무 받침이 설치된 이력구조물로 구분하여 시간 이력해석을 수행하였다. 해석을 통해 파악된 각각의 제어방법별 최대변위응답(Peak Response)을 비교하여 감소효과를 평가하였다.

3.1 구조물의 탄성 거동시

구조물이 탄성거동을 할 때, 기존의 수동형 동조질량감쇠기와 이력시스템을 갖는 동조질량감쇠기의 변위응답 제어성능을 Fig. 2와 같이 시간이력으로 나타내었다.

항복 강도비와 항복 후 강성비가 각각 0.9, 0.5 일 때, 기존 수동형과 증축형 동조질량감쇠기 모두 초기 응답저감 효과는 크지 않은 것으로 나타났으나, 최대응답 구간에서의 변위응답제어 성능을 발휘하는 것을 알 수 있다. Fig. 3은 각각의 제어방법별 변위응답 성능지수를 나타낸 것으로, 항복 후 강성비(α)를 1.0으로 설계한 증축형 동조질량감쇠기는 기존 수동형 동조질량감쇠기보다 높은 응답저감 효과를 발휘하는 것으로 나타났으며, 이후 납-고무 받침의 항복강도비가 구조물의 항복강도비에 70% 수준으로 저감되어도 충분한 응답저감 성능을 발휘할 것으로 판단된다.

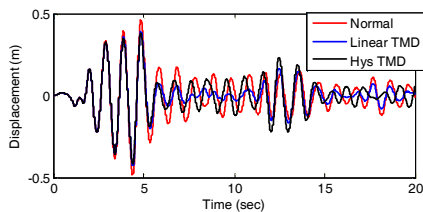


Fig. 1 Time History of Displacement

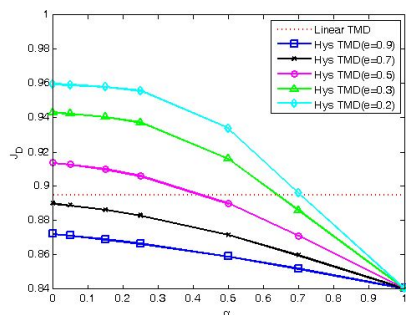


Fig. 2 Performance index of displacement

3.2 구조물의 비탄성 거동시

구조물의 비탄성 거동시 최대변위응답성능을 Fig. 4에 나타내었다.

그림에서와 같이 비탄성 거동을 보이는 구조물에 설치된 수동형 동조질량감쇠기의 변위응답성능은 10%이하로 감소되는 것을 알 수 있다. 하지만 증축형 동조질량감쇠기는 수동형 동조질량감쇠기보다 크지 않지만 응답저감성능이 우수한 것을 알 수 있다. 또한 대상 구조물의 항복 후 강도비가 감소하여도 이러한 현상은 동일하게 발휘되는 것을 알 수 있다.

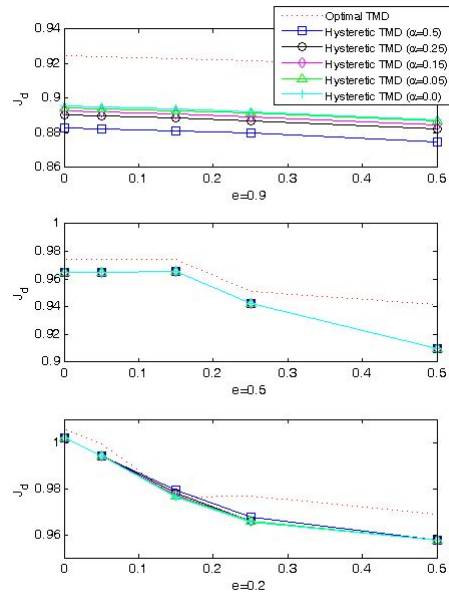


그림 3 Performance index of displacement

4. 결 론

본 연구에서는 수직 증축층에 납-고무 받침을 설치한 증축형 동조질량감쇠기에 대한 변위응답성능을 기존 수동 동조질량감쇠기와 비교, 검토하였고, 검토결과 증축형 동조질량감쇠기가 충분한 이력거동을 확보한 경우에는 탄성 및 비탄성 거동 모두에서 기존 수동형 동조질량감쇠기보다 우수한 응답저감 성능을 보이고 있다. 이를 통해 추가의 질량체를 사용하지 않고도 내진성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(과제번호 : 05 건설 핵심 D06)과 과학기술부 특정기초연구사업(과제번호 R01-2007-000-10872-0)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.