

내진설계 강골조 구조물의 감쇠기 위치 최적화 Optimum of Damper Position for Steel Frame Structure on Seismic Design

박순웅*, 박문호**, 김진규***
Soon-Eung Park*, Moon-Ho Park**, Jin-Kyu Kim***

<Abstract>

This study is performing a seismic analysis on the steel frames structure with dampers and analyzing the dynamic behavior in order to examine their efficiency and study the optimum dampers position to the seismic design steel structure. To improve the ability against an earthquake, this study performed the time history analysis. Controlling an earthquake is the way to minimize the damage of the steel structure by dissipating input energy generated by an earthquake.

Keywords : Seismic design, Steel frame, Damper, Optimum position

1. 서론

최근 국내외에서 발생한 큰 지진으로 인하여 지진의 피해에 대한 경각심과 내진설계의 필요성에 대한 인식이 확산되고 있다. 구조물의 내진성능을 높이기 위해 강성을 증가시키는 방법은 초기 건설비용이 많이 들며 규모가 큰 지진이 발생하였을 경우에는 구조물이 붕괴될 우려가 있다. 연성능력을 증가시키는 방법은 구조물의 붕괴를 방지할 수 있으나 발생한 소성힌지를 보수, 보강하기가 쉽지 않으며 비구조 부재의 피해로 인하여 보수비용이 많이 소요되는 등 이차적인 피해를 일으킬 수 있다.

진동제어 장치는 건물에 부가적인 장치를 설치하여 부재의 손상을 방지하고 동적응답을 줄이는 방법으로 예측된 건물의 응답에 따라 건물을 실시간 제어하는 능동제어 방식과 기초분

리 장치나 각종 설치형 감쇠기 등에 의한 수동 제어 방식이 있다. 구조물의 내진성능을 향상시키기 위해 감쇠기를 부착하여 시간이력해석을 수행하며, 진동제어 중에서 감쇠기가 부착된 제진은 지진에 의한 입력에너지를 감쇠기를 이용하여 효율적으로 소산함으로써 건물의 피해를 최소화하는 방법이다. 또한 감쇠기와 같은 수동형 에너지 소산장치를 설치하는 것이 다른 방법에 비하여 비교적 장치의 설계 및 시공이 간편하고 소요비용에 비하여 그 효과가 크다.

본 연구에서는 강골조 구조물에 대하여 지진 해석을 수행하여 감쇠기의 위치와 감쇠기를 이용한 강골조 구조물의 동적거동을 분석하여 효율성을 검토하고 내진설계 강골조 구조물의 댐퍼부착위치의 최적화를 연구한 것이다.

2. 제진장치

* 정희원, 영남이공대학 토목과 겸임교수, 工博
** 교신저자, 정희원, 경북대학교 토목공학과 교수, 工博
*** 정희원, 영남이공대학 토목과 교수, 工博
E-mail : jkkim@ync.ac.kr.

* Adjunct Professor Dept. of Civil Eng, Yeungnam College of Science & Technology, Ph. D.
** Corresponding Author, Professor, Dept. of Civil Eng, Kyungpook National University, Ph. D.
***Professor Dept. of Civil Eng, Yeungnam College of Science & Technology, Ph. D.

2.1 제진장치의 개요

제진장치는 에너지 소산작용에 의해 구조물에 유입되는 지진 에너지를 흡수함으로써 구조물에 발생하는 변형을 감소시키는 역할을 한다. 이를 동역학적으로 해석하자면 전체의 감쇠 능력을 향상시키는 것이고 결과적으로 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 응답스펙트럼 상에서 변위 감소의 효과를 얻게 된다.

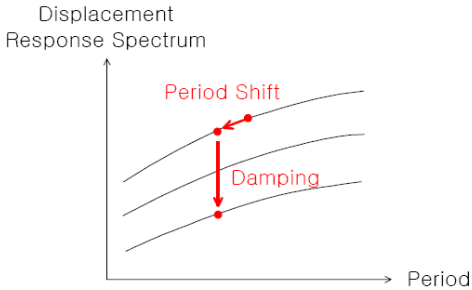


Fig. 1. Effect of the damper.

제진장치는 면진장치와는 달리 감쇠 능력의 증대를 통해 응답을 감소시키는 작용을 한다. 따라서 고층구조물에서도 충분한 효과를 얻을 수 있다. 제진장치의 에너지 소산능력은 등가의 감쇠비를 통해서 표현될 수 있으며 이는 에너지 소산 량을 나타내는 이력곡선의 면적에 비례한다. Fig. 2는 조화하중을 받는 단자유도 구조물의 등가감쇠비를 정량화하는 방법을 설명하고 있다.

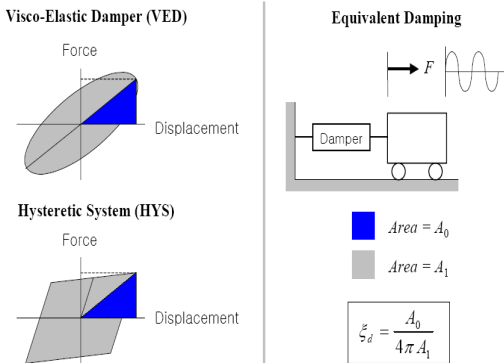


Fig. 2. Control system of damper.

2.2 점탄성 감쇠기

점탄성 감쇠기는 변형의 속도에 비례해서 힘이 발생하는 점성과 변형에 비례해서 힘이 발

생하는 탄성을 동시에 갖고 있으며 구조물의 감쇠능력을 증대시켜 지진에 의해 발생하는 동적응답을 감소시켜 구조물의 안전성과 사용성을 제고하기 위한 목적으로 사용된다.

점탄성 감쇠기의 대표적인 수학적 모델은 선형스프링과 점성감쇠가 직렬로 연결된 Maxwell 모델과 병렬로 연결된 Kelvin 모델이 있다. Fig. 3은 병렬 연결된 점성과 탄성 스프링의 조합이 다른 탄성 스프링과 직렬 연결된 형식을 취하고 있다.

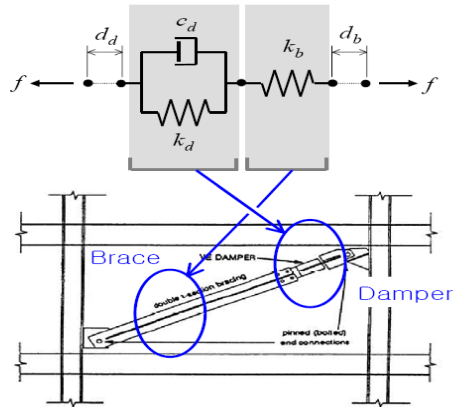


Fig. 3. Principle of control system.

요소의 힘-변형 관계식은 다음 식과 같다.

$$f = k_d d_d + c_d \sin(\dot{d}_d) |\dot{d}_d|^s = k_b d_b$$

$$d = d_d + d_b$$

- 여기서, k_d : 점탄성감쇠기 강성
- k_b : 연결부재의 강성
- c_d : 점탄성감쇠기의 감쇠 상수
- s : 점탄성감쇠기의 비선형 감쇠 특성을 정의하는 지수
- d : 요소의 두 절점 사이의 변형
- d_d : 점탄성감쇠기의 변형
- d_b : 연결부재의 변형

식에서 볼 수 있는 바와 같이 점성감쇠는 변형의 변형률에 비례하는 선형 점성감쇠 뿐만 아니라 변형 변화율의 지수 승에 비례하는 비선형 점성감쇠로 모델링 할 수 있다.

3. 단자유도계 구조물의 비탄성 거동

단자유도계 시스템의 비탄성 거동특성을 분석하고 감쇠기에 의한 에너지 소산효과를 확인하기 위하여 Fig. 4와 같이 감쇠기가 설치된 단자유도계 구조물로 모델링 하였다.

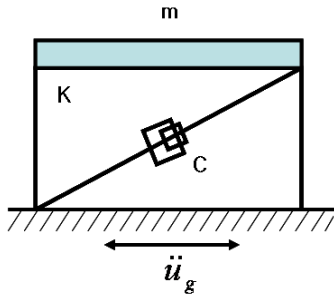


Fig. 4. SDOF model.

지진에 의한 지반 운동을 받는 단자유도계 구조물의 운동방정식은 아래 식과 같다.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + f_s(u, \dot{u}) = -m\ddot{u}_g(t)$$

여기서, $f_s(u, \dot{u})$: 구조물의 강성에 의한 저항력

위 식에서 변위에 대하여 적분하면 단자유도계 시스템의 에너지 관계식은 아래와 같다.

$$\int_0^u m\ddot{u}(t)du + \int_0^u c\dot{u}(t)du + \int_0^u f_s(u, \dot{u})du = - \int_0^u m\ddot{u}_g(t)du$$

단자유도계의 에너지 균형을 식으로 표현할 수 있다.

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_Y(t)$$

여기서, $E_I(t)$: 구조물에 입력되는 에너지
 $E_K(t)$: 구조물이 운동에너지
 $E_D(t)$: 구조물의 감쇠에 의하여 소산되는 에너지
 $E_S(t)$: 구조물의 변형에너지

$E_Y(t)$: 구조물의 소성변형을 통하여 흡수되는 에너지

점탄성 감쇠기가 설치되면 시스템의 에너지 균형은 아래 식과 같으며 구조물의 소성변형 에너지 $E_Y(t)$ 를 대부분 감쇠에너지 $E_{VED}(t)$ 로 소산시키게 되므로 구조물의 소성변형을 방지할 수 있다.

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_{VED}(t) + E_S(t) + E_Y(t)$$

점탄성 감쇠기의 강성값과 감쇠값을 구하면 다음 식으로 표현 할 수 있다.

$$K_d = \frac{G'(\omega)A}{t}$$

$$C_d = \frac{G''(\omega)A}{\omega t}$$

$$\eta = \frac{G''}{G'}$$

여기서, K_d : 감쇠기의 강성
 C_d : 감쇠기의 감쇠
 $G'(\omega)$: 전단저항계수
 $G''(\omega)$: 전단소실계수
 η : 감쇠 소실계수

전단저항계수는 재료의 탄성적인 성질을 나타내고, 전단소실계수는 재료의 점성적인 성질을 나타낸다.

Fig. 5는 본 연구에서 사용되어진 강골조 구조물에 작용하는 EI centro 지진의 시간-가속도 그래프를 보여주고 있다.

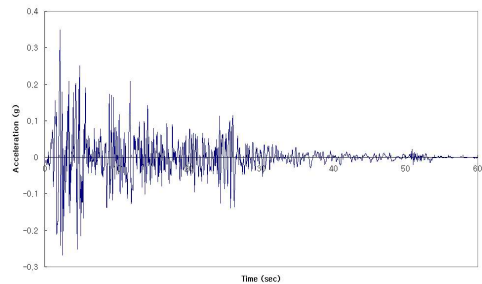


Fig. 5. EI centro date.

4. 감쇠기를 사용한 강골조 구조물의 해석

본 연구에서 사용한 구조물의 형식은 층간변위에 의한 최적 위치 선정을 위해 Fig. 6과 같은 5층 구조물에 감쇠기가 설치되지 않은 경우와 감쇠기가 1개~5개 설치된 경우에 대해서 모델링 하였다. 강골조 구조물의 총높이 15.0 m, 층고 3.0 m, 폭 6.0 m인 구조물에 Type 별로 감쇠기를 설치한 수치모델을 완성하였다. Table 1은 재료의 특성을 나타내고 있다.

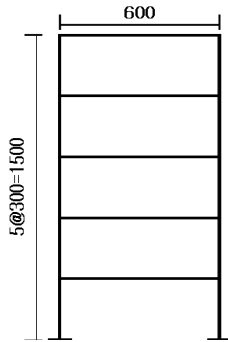


Fig. 6. Structure Analysis Model.

Table 1. Material Property

질량	감쇠기의 강성	감쇠비
44KN·sec ² /m	175126KN	0.5

4.1 해석결과

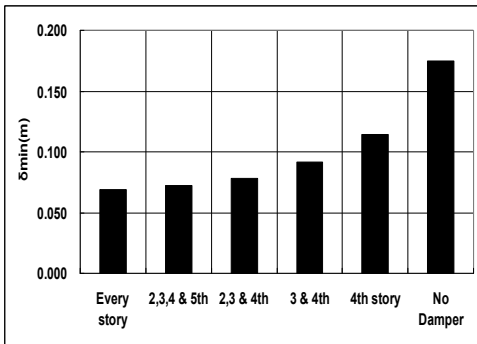


Fig. 7. Displacement on Added Dampers.

Fig. 7은 감쇠기 설치에 따른 최소 변위를 나타내고 있으며 감쇠기를 전층에 설치했을 경우 7 cm, 4개 설치했을 경우 7.2 cm, 3개 설치했을 경우 7.8 cm, 2개 설치했을 경우 9.2 cm, 1개 설치했을 경우 11.5 cm, 설치하지 않았을 경

우 17.5 cm로 나타났다. 감쇠기 1개를 설치했을 경우 변위는 약 34 % 감소하는 것으로 나타났으며, 1개를 추가 설치했을 경우 변위는 15 % 감소하는 것으로 관찰되었다.

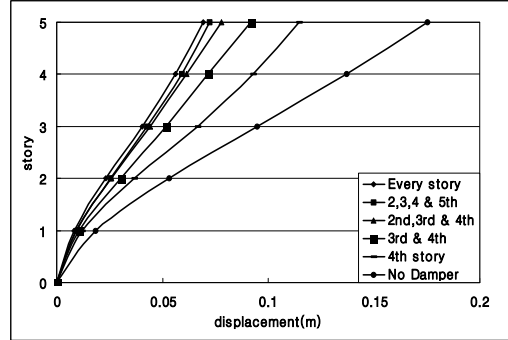


Fig. 8. Story Displacement on Added Dampers.

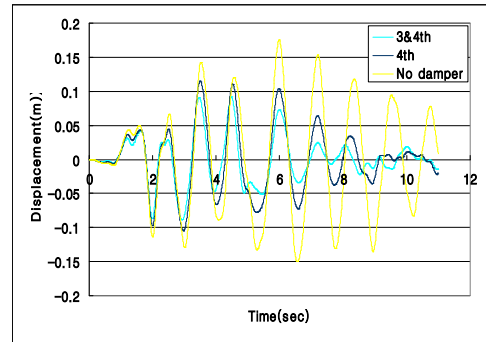


Fig. 9. Time History Analysis on Damper Number (0,1,2).

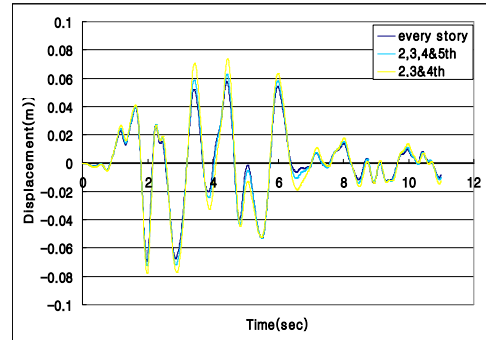


Fig. 10. Time History Analysis on Damper Number (3,4,5).

Fig. 8은 감쇠기 설치에 따른 층별 변위를 나타내고 있다. Fig. 9~10은 감쇠기 설치에 따른 시간이력해석에 대한 변위를 나타내고 있다.

4.2 감쇠기의 최적위치 선정

구조해석을 통해 최대변위를 기준으로 하여 감쇠기 개수에 따른 감쇠기의 최적위치를 나타내었다.

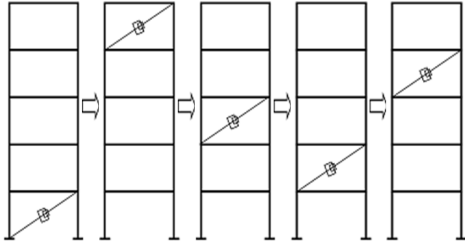


Fig. 11. Optimum of Damper Position on Damper Number(1).

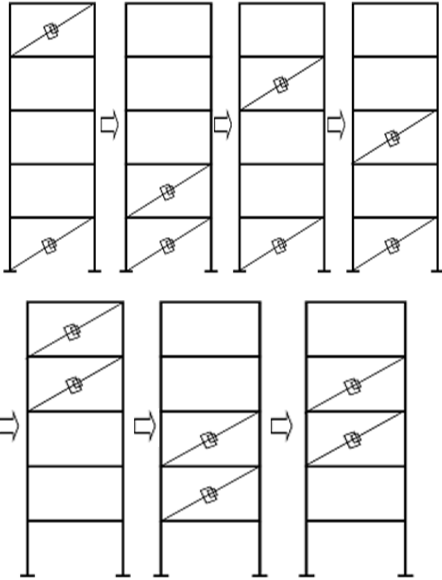


Fig. 12. Optimum of Damper Position on Damper Number(2).

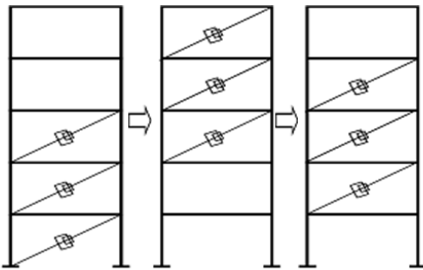


Fig. 13. Optimum of Damper Position on Damper Number(3).

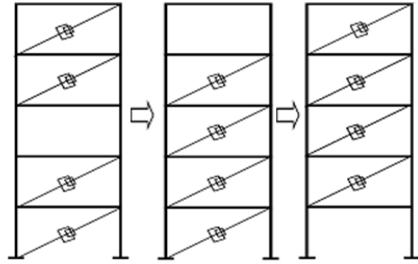


Fig. 14. Optimum of Damper Position on Damper Number(4).

5. 결론

본 연구에서는 감쇠기가 설치된 구조물을 해석하기 위하여 시간이력해석과 감쇠기의 최적위치를 선정하는 방법에 대하여 연구하였다.

1. 강골조 구조물의 내진성능을 향상시키기 위해 감쇠기를 부착하여 시간이력 해석을 수행하였으며, 감쇠기의 위치와 감쇠기를 이용한 강골조 구조물의 거동을 분석하여 감쇠기의 최적위치의 선정과 효율성을 검토하였다.
2. 감쇠기 설치 개수에 따른 변위의 감소율은 감쇠기를 전층에 설치했을 경우 7 cm, 4개 설치했을 경우 7.2 cm, 3개 설치했을 경우 7.8 cm 2개 설치했을 경우 9.2 cm, 1개 설치했을 경우 11.5 cm, 설치하지 않았을 경우 17.5 cm로 나타났다. 감쇠기 1개를 설치했을 경우 변위는 약 34 % 감소하는 것으로 나타났으며, 2개를 설치했을 경우 변위는 20 % 감소, 3개를 설치했을 경우 15 % 감소하는 것으로 관찰되었으며, 4개를 설치했을 경우 8 % 감소, 전층에 설치했을 경우는 3 % 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 감쇠기를 1개 설치했을 경우 변위의 감소율이 최대가 되어 효율성이 좋으며 3개 이상의 감쇠기를 설치했을 경우는 변위의 감소율이 작아 효율성이 떨어지는 것으로 판단된다.
3. 감쇠기의 최적위치의 선정결과를 관찰하면 감쇠기가 1개 설치된 경우 최적위치는 4층에 감쇠기가 설치된 경우 가장 효율성이 좋은 것으로 나타났으며, 2개 설치된 경우

는 3층과 4층에 설치된 경우, 3개 설치된 경우는 2층, 3층, 4층에 설치된 경우, 4개 설치된 경우는 2층, 3층, 4층, 5층에 설치된 경우가 가장 효율성이 좋은 것으로 관찰되었으며 내진설계시 감쇠기 개수와 위치에 따른 경제성을 제시하였다.

참 고 문 헌

- 1) 김진구, 이진수, 방성혁, “비대칭 건물의 거동 개선을 위한 점탄성 감쇠기의 활용에 관한 연구,” *한국전산구조공학회 추계학술발표회 논문집*, p 249-256, (2000)
- 2) 김진구, 홍성일, 이경아, 이동근, *한국지진공학회 논문집*, **4, 1**, (2000)
- 3) 김상태, “점탄성 감쇠기가 설치된 고층 건물의 진동 제어를 위한 효율적인 동적 해석,” 석사학위 논문, 성균관대학교, pp. 4-11. (1997)
- 4) Chopra, A.K., *Dynamics of structures*, Prentice Hall, (1995)
- 5) Kim, Jinkoo and Lee, Changyong, “Analysis of a Building Structure with Added Viscoelastic Damper,” *Proceedings of The First Japan-Korea Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures*, October 29, (1999)

(2009년 6월 17일 접수, 2009년 11월 20일 채택)