

신축이음부에 설치된 점탄성감쇠기를 이용한 구조물의 진동제어

Vibration Control of Structures Using Viscoelastic Dampers Installed in Expansion Joints

김진구* 류진국*
Kim, Jin-koo Ryou, Jin-Gook

국문요약

점탄성감쇠기 (VED)를 건물의 내부에 가새의 형태로 설치하는 기존의 방법은 공간 이용에 제약이 되며, 내부 동선을 방해할 수 있다. 이러한 단점은 VED를 건물 사이의 신축이음부 (신축줄눈)나 지진줄눈 사이에 설치함으로써 해결할 수 있다. 본 연구에서는 신축이음부에 설치된 VED의 내진성능 향상 효과에 관하여 연구하였다. 이를 위하여 VED로 연결된 3자유도 구조물의 지진하중에 대한 각 설계 변수들의 효과를 파악하고, 제안된 방법의 실용성을 검토하였다. 이를 바탕으로 서로 다른 구조 시스템으로 설계된 5층 구조물을 VED로 연결하고 시간이력 해석을 수행하였다. 해석 결과에 따르면 인접한 구조물의 고유주기가 다르게 설계된 경우, VED로 연결된 구조물의 내진 성능을 상당히 향상할 수 있는 것으로 나타났다.

주요어 : 점탄성감쇠기, 지진줄눈, 신축이음부, 수동제어, 내진설계

ABSTRACT

The usual practice of placing viscoelastic dampers (VED) in the inter-story of building structures frequently interfere with spatial planning and obstruct internal view. These shortcomings can be overcome by installing VED in seismic joints or in expansion joints which are usually hidden under a cover. This study investigates the effect of installing VED in seismic joints to reduce earthquake-induced dynamic responses. Parametric studies were conducted using 3-DOF systems connected by VED and subjected to earthquake excitations to investigate the effectiveness of the proposed scheme. Nonlinear dynamic analyses were carried out with five-story structures composed of different structure systems and connected by seismic joints. According to the analysis results the use of VED in seismic joints turned out to be effective as long as the natural frequencies of the connected structures are different enough.

Key words : viscoelastic dampers, seismic joints, expansion joints, passive control, seismic design

1. 서 론

슬래브의 수축 팽창, 기초의 부등침하, 주상복합건물과 같이 고층부와 저층부로 나뉘는 경우 등을 고려할 목적으로 신축이음(expansion joint)을 두어 여러 개의 독립된 건물로 분리시키는 경우가 많다. 또한 지진에 취약한 비대칭 평면을 가진 건물들을 분리하여 대칭 건물로 만들기 위한 목적으로 지진줄눈 (seismic joints)을 두어 건물을 분리하기도 한다. 내진설계기준이 적용되는 건물에서는 신축이음부인 경우에도 지진줄눈에 적용되는 건물간 거리제한 규정의 적용을 받아, 각 건물의 최대변위의 제곱평균값 이상 분리하여야 한다. 이러한 경우에는 신축이음부의 폭은 건물의 높이에 따라 증가하게 되며, 이음부의 폭이 증가함에 따라 그것을 처리하기 위한 경제적인 부담 또한 커지게 된다. 또한 분리된 건물의 고유 진동주기가 서로 다를 경우 지진이 발생할 때 충돌에 의한 파괴가 일어날 위험성이 높다.

본 연구에서는 신축이음부나 지진줄눈에 점탄성감쇠기를 설치하여 구조물의 지진응답을 저감하고 내진성능을 향상 시

키는 방안에 관하여 연구하였다. 점성과 탄성을 동시에 보유하고 있는 점탄성감쇠기는 철판사이에 배치된 점탄성재료의 전단이력거동을 통하여 동적 에너지를 소산하며, 그 동적 거동 특성 및 해석 모델링 방법에 대해서는 그동안 많은 연구가 되어 왔다.⁽¹⁾ 점탄성감쇠기는 건물의 내부 층간변위가 최대로 발생하는 지점에 가새 형태로 설치하는 것이 가장 일반적이지만, 건축계획상의 난점으로 건축주나 건축가에 의해 받아들여지지 않는 경우가 많다. 그러나 신축이음부가 있는 건물인 경우 건물과 건물 사이에 감쇠기를 설치함으로써 진동제어 효과를 거둘 수 있다면 이러한 단점을 극복할 수 있다. 그림 1은 신축이음부에 점탄성감쇠기가 설치되어 있는 건물의 모습을 개략적으로 나타낸 것이다.

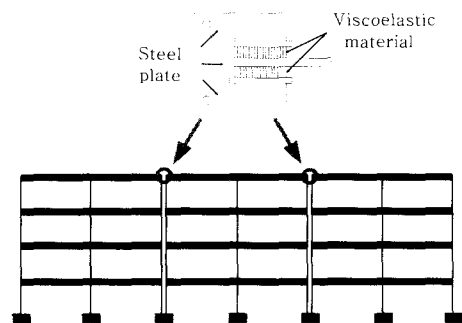


그림 1 신축이음부에 점탄성 감쇠기가 설치된 구조물

* 책임저자, 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 부교수
전화: 031-290-7563; Fax: 031-290-7570, E-mail: jinkoo@skku.ac.kr

* 성균관대학교 건축공학과 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2004년 10월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재 하였습니다. (논문접수일: 2004. 4. 8 / 심사종료일: 2004. 7. 6)

이와 관련하여 Zhang and Xu⁽²⁾는 복소모드중첩법 (complex mode superposition method)을 이용하여 점탄성 감쇠기 (viscoelastic dampers, VED)로 연결된 두 건물의 동적 특성을 분석하였다. 그들의 연구결과에 따르면 VED의 설계변수를 적절히 선택할 경우 전체 시스템의 감쇠비가 증가하며, 따라서 동적 응답을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. Yang 등⁽³⁾은 점성감쇠기 (viscous dampers)로 연결된 5층과 6층 모델 구조물의 진동대를 이용한 실험적 연구를 수행하였으며, 감쇠기의 설치로 인하여 구조물의 고유주기는 거의 변화가 없으나 지진 응답은 대폭 감소하는 것으로 나타났다. Johnson 등⁽⁴⁾은 신축줄눈에 점성감쇠기가 설치된 실제 건물의 동적 거동을 해석적으로 분석하였으며, 내진성능이 상당히 향상됨을 발견하였다. 이러한 연구들은 모두 탄성범위에서 수행되었으며, 구조물이 탄성적으로 거동할 때 제안된 방법이 상당히 효과적임을 입증하였다. 본 연구에서는 VED로 연결된 구조물의 비탄성 시간이력해석을 통하여 VED 설치 전후의 최대변위, 상대변위, 이력에너지, 소성흔지 분포 등을 비교하고 내진성능 향상 효과 및 본 방법의 적용성을 검토하였다.

2. 3자유도 구조물의 지진응답

그림 2는 1층 전단건물 (shear building) 사이의 이음부에 VED가 설치된 3자유도 구조물을 나타낸다. 구조물의 질량은 44 ton이며 원하는 주기에 맞추어 강성을 조정하였다. 연결된 두 구조물의 주기 및 VED의 전단면적의 변화에 따른 응답의 변화를 분석하고 비교하기 위하여 DRAIN-2D⁽⁵⁾ 및 El Centro (NS, PGA=0.348g) 지진을 이용한 비탄성 동적해석을 수행하고 응답의 변화양상을 파악하였다. 일반적으로 점탄성 감쇠기는 탄성 스프링과 점성 dashpot이 병렬로 연결된 Kelvin 모델을 이용하여 모델링하며, 강성과 감쇠상수는 다음과 같이 구할 수 있다.⁽¹⁾

$$k_d = \frac{G(\bar{w})A}{t}, c_d = \frac{G'(\bar{w})A}{\bar{w}t} \quad (1)$$

여기서 G '은 전단저장계수, G' '은 전단손실계수를 나타내며, A , t , \bar{w} 는 각각 점탄성 재료의 면적, 두께, 하중의

진동수이다. 해석에 사용된 점탄성재료의 전단 저장계수는 0.72 MPa, 전단 손실계수는 0.52 MPa, 두께는 5cm로 가정하였다.

그림 3은 내부 구조물의 고유주기가 1.5초이고 양쪽 외부 구조물들의 고유주기가 0.5초 일 때의 El Centro 지진에 대한 응답을 나타낸다. 그림 3 (a)는 VED의 전단면적의 변화에 따른 구조물 최대변위를 나타낸 것으로, 강성이 작은 내부 구조물의 최대변위는 VED의 전단면적이 증가할수록 작아지나, 강성이 큰 외부 구조물의 경우 전단면적이 커질수록 최대변위가 줄어들다가, 최적 전단면적 (500 cm²) 이상 증가하면 오히려 응답이 커지는 것을 알 수 있다. 그림 3 (b)는 (a)에서 결정된 점탄성 감쇠기의 최적전단면을 설치하였을 때 왼쪽 두 구조물간 상대변위를 나타내며, 응답의 크기가 감소할뿐 아니라, 소성변형에 의한 잔류변위도 사라지는 것을 알 수 있다. 그림 3 (c)는 VED의 최적 전단면적을 설치하였을 경우 세 구조물의 입력에너지의 합을 나타낸 것으로, VED가 설치될 경우 추가되는 강성에 의해서 구조물의 고유주기가 짧아지므로 입력되는 에너지가 증가함을 알 수 있다. 그러나 추가되는 VED의 감쇠에 의해서 VED가 설치되지 않았을 경우보다도 감쇠에너지가 증가하는 것을 알 수 있으며 (그림 3 (d)), 입력 에너지의 많은 부분이 감쇠에너지로 소산되어 구조물의 소성변형이 감소하므로, 이력에너지도 줄어 든 것을 알 수 있다 (그림 3 (e)). 그림 3 (f)와 (g)는 구조물의 절대변위의 시간이력을 나타낸 것으로, 강성이 큰 외부구조물의 경우 변위 응답의 크기는 약간 감소하지만 소성변형에 의한 잔류변형은 약간 증가함을 알 수 있다. 그러나 강성이 작은 내부 구조물에서는 구조물의 응답이 상당히 감소하며, 잔류변형도 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그림 3 (h)는 구조물의 밀면전단력 시간이력을 나타낸 것으로, VED가 설치되었을 경우 전체 구조물의 밀면전단력의 크기가 약간 감소하나 큰 차이는 없는 것을 알 수 있다. 이것은 VED의 설치로 변위 응답은 상당히 감소하나 가속도응답은 크게 감소하지 않는 현상에 기인한다고 할 수 있다. 그림 3 (i) 및 (j)에 나타난 VED 설치 전후의 소성흔지크기의 변화를 비교하면, VED를 설치하였을 경우 내부 구조물에서 소성흔지크기가 확연하게 줄어든 것을 알 수 있다.

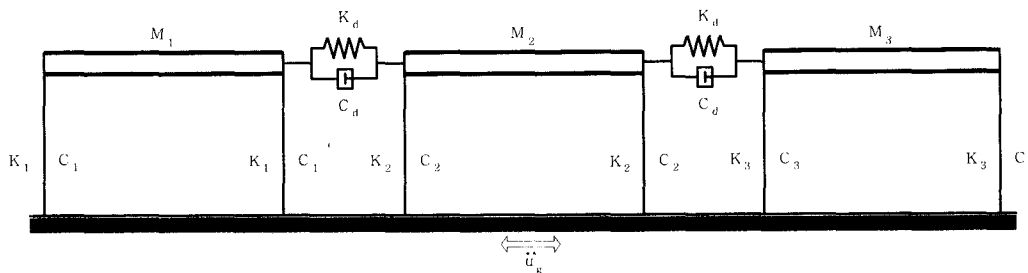
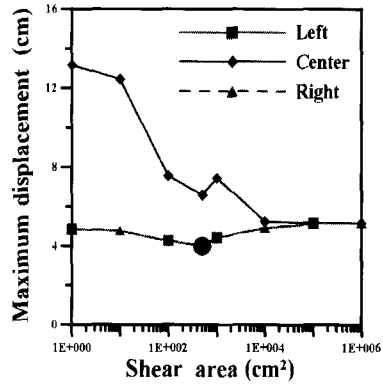
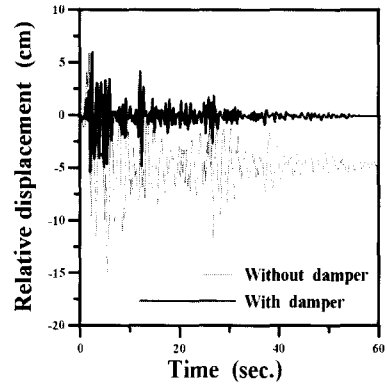


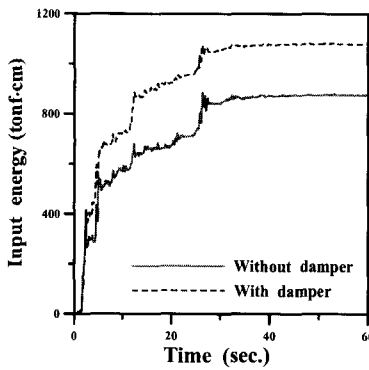
그림 2 점탄성감쇠기가 설치된 3-DOF 구조물의 모델링



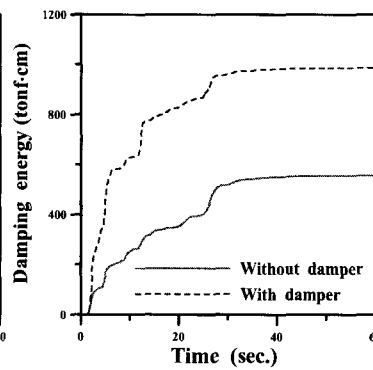
(a) 전단면적에 따른 최대변위의 변화



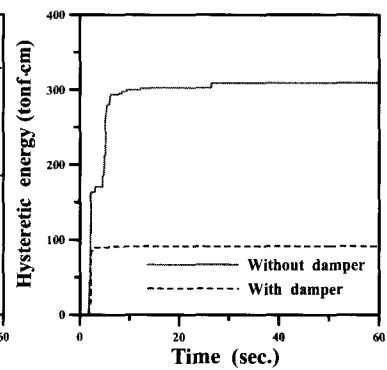
(b) 최상층 상대변위 시간이력



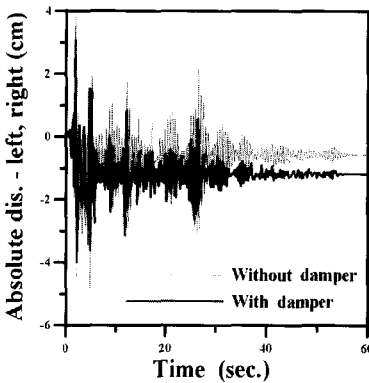
(c) 입력 에너지 시간이력



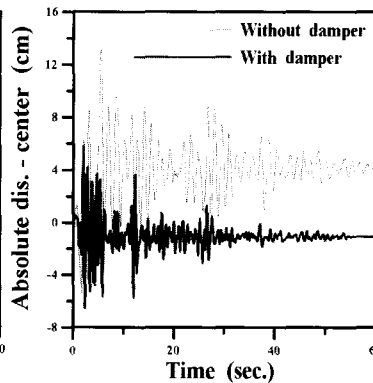
(d) 감쇠 에너지 시간이력



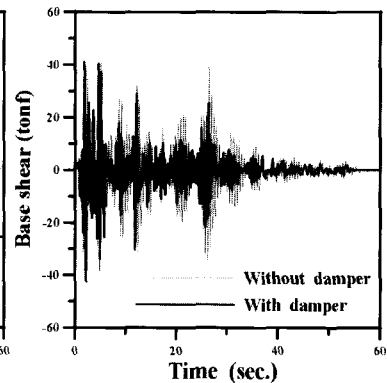
(e) 이력 에너지 시간이력



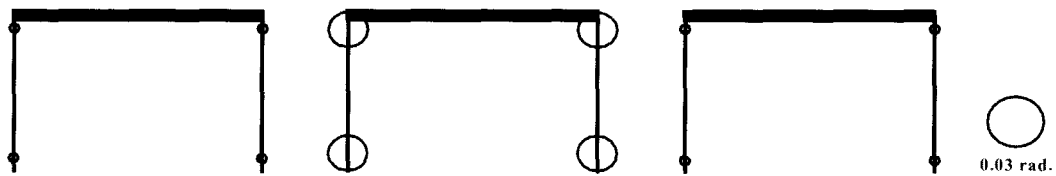
(f) 최상층 변위 시간이력 (외부)



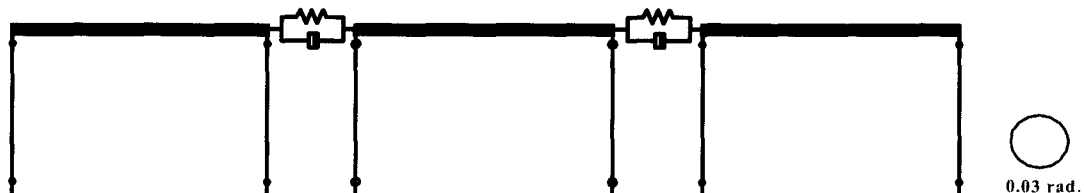
(g) 최상층 변위 시간이력 (내부)



(h) 밑면전단력 시간이력



(i) 소성힌지의 크기 (Without VED)

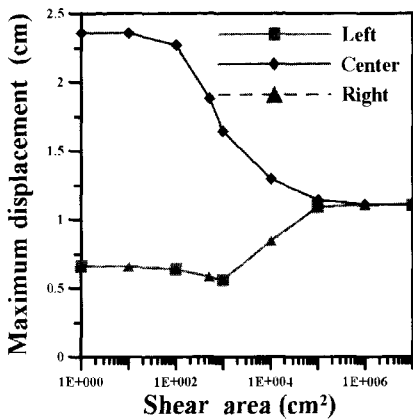


(j) 소성힌지의 크기 (With VED)

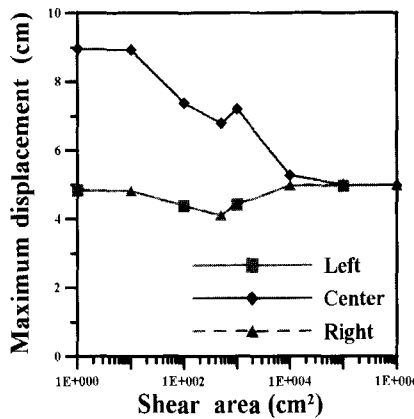
그림 3 주기 0.5-1.5-0.5초 구조물의 지진응답

그림 4는 연결된 구조물의 주기를 다양하게 바꿔가며 VED 전단면적의 변화에 따른 구조물 최대변위의 변화를 나타낸 것으로, 대부분의 경우 구조물의 응답을 최소화하는 적정 전단면적이 존재함을 알 수 있다. 또한 강성이 작은 내부 구조물에서는 구조물의 응답이 대폭 감소하고, 강성이 큰 외부 구조물의 경우 변위 응답의 감소효과가 미미한 것으로 나타났다. VED의 전단면적이 어느 한도 이상 증가하면 VED가 설치되지 않은 경우(그림 4의 왼쪽 끝부분) 보다 변위가 증가하는 경우도 있다. 그러나 rigid link로 연결된 경우(그림 4의 오른쪽 끝부분, 즉 구조물이 분리되지 않은 경우) 보다는 최대변위가 항상 감소함을 알 수 있다. 특히

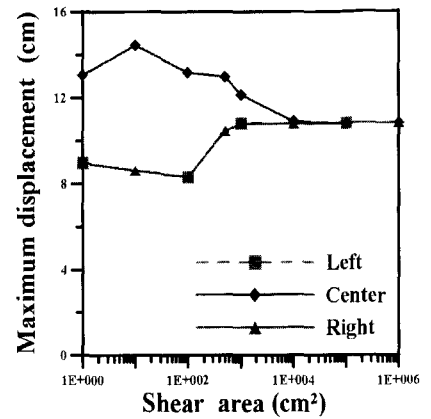
그림 4 (c)에 나타난 바와 같이 내부 구조물의 강성이 작고 내 외부 구조물의 강성 차이가 큰 경우, 적정 크기의 VED를 설치한 결과 모든 구조물의 최대변위의 크기가 상당히 감소함을 알 수 있다. 내부 구조물의 강성이 크고 외부 구조물의 강성이 작은 경우에도 유사한 결과를 보이거나(그림 4 (e)), 외부 구조물의 주기가 큰 경우 외부 구조물의 최대 변위는 감소하지 않거나 오히려 증가하는 것을 알 수 있다(그림 4 (e)). 또한 연결된 세 구조물의 주기가 순차적으로 증가하거나 감소하는 경우(그림 4 (f)), 적정 VED 전단면적을 설치할 경우 모든 구조물의 최대변위를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.



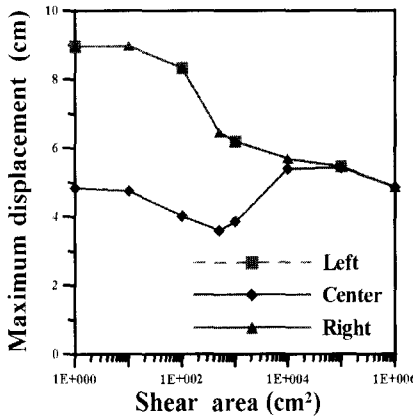
(a) 주기 0.2-0.4-0.2



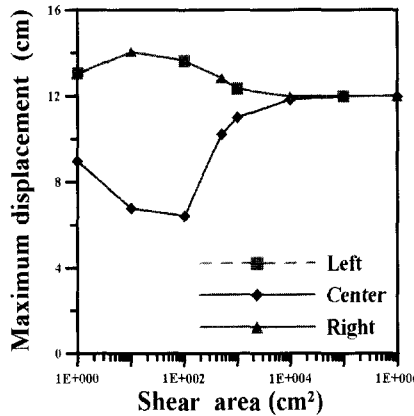
(b) 주기 0.5-1.0-0.5



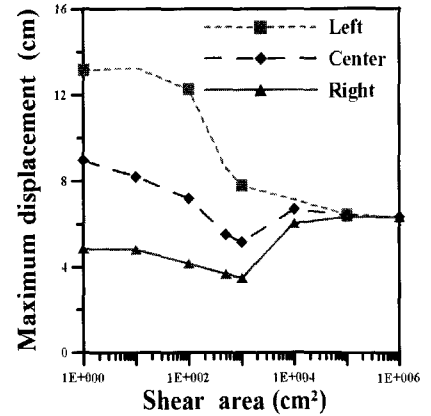
(c) 주기 1.0-3.0-1.0



(d) 주기 1-0.5-1

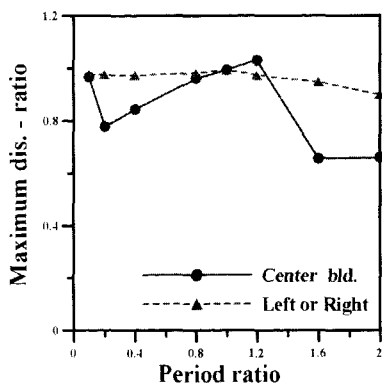


(e) 주기 3-1-3

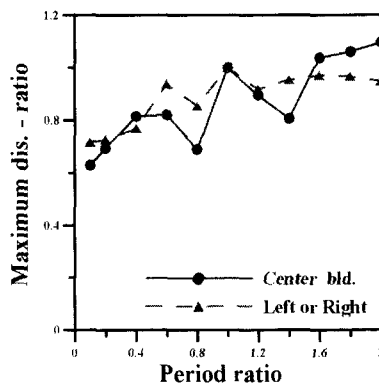


(f) 주기 1.5-1-0.5

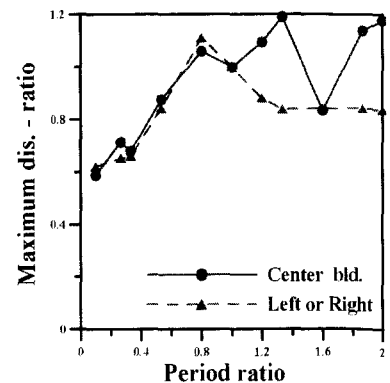
그림 4 VED 전단면적에 따른 최대변위의 변화



(a) T1=0.5 second



(b) T1=1.0 second



(c) T1=1.5 second

그림 5 주기 비에 따른 최대변위응답의 변화

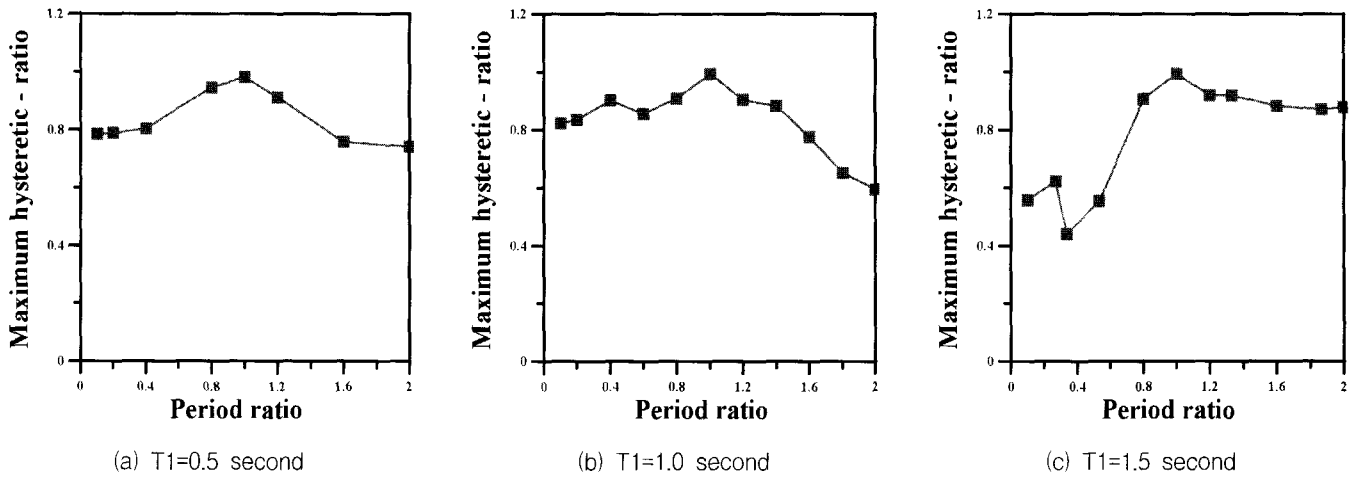


그림 6 주기 비에 따른 이력에너지의 변화

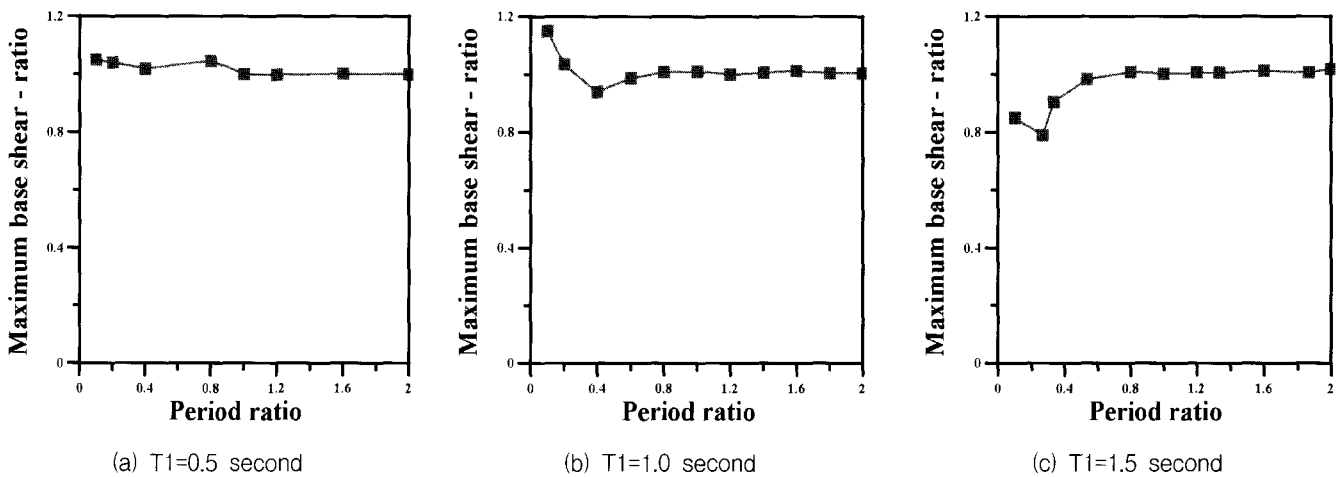


그림 7 주기 비에 따른 밀면전단력의 변화

그림 5~7은 외부 구조물의 주기 T_1 을 0.5, 1.0, 1.5 초로 고정시키고 내부 건물의 주기를 변화시켰을 경우, VED 설치 전후의 최대변위, 이력에너지, 그리고 밀면 전단력의 비를 나타낸다. El Centro 지진을 이용하여 시간이력해석을 수행하였다. 해석결과에 따르면 주기 비가 1 보다 작아지거나 커질수록 (즉 내 외부 구조물의 강성 차이가 커질수록) VED가 설치되지 않았을 경우 보다 응답 저감 효과가 커지는 것을 알 수 있다. 특히 외부 구조물의 주기가 0.5초일 때 VED가 설치된 경우 대부분의 구간에서 최대 변위 및 이력에너지가 감소하였고, 외부 구조물의 주기가 1.5초일 때는 내부 구조물의 주기가 작아질수록 (강성이 커질수록) 최대변위 및 이력에너지가 더욱 작아짐을 알 수 있다.

3. 예제 해석

2장의 분석 결과에 따르면 신축이음부로 분리된 세 구조물중 내부 구조물의 주기가 외부 구조물의 주기보다 상당히 큰 경우 VED에 의한 구조물의 응답 저감효과가 큰 것을 알 수 있다. 또한 VED의 크기가 증가할수록 구조물의 응

답은 감소하다가 다시 증가하게 되는 것을 관찰하였다. 전 단변형에 의한 에너지소산을 최대화하기 위해서 전단탄성계수를 조정하여 강성을 줄이고 감쇠계수를 증가시키는 방법이 사용될 수 있으나, 본 연구에서는 점탄성재료의 특성을 고정하고 그 크기 (면적)만을 설계변수로 설정하였다. 본 절에서는 VED로 연결된 5층의 세 구조물 중 내부구조물은 모멘트골조로, 외부 구조물은 가새골조로 설계하여 고유주기의 차이를 극대화한 해석모델을 대상으로, 지진하중에 대한 구조물의 최대변위와 상대변위를 최소화하는 VED의 적정 크기를 구하고, 그러한 VED가 설치된 경우의 지진응답을 검토하였다. 또한 VED가 최상층에 집중된 경우와 각 층별로 균등하게 분배하였을 경우에 대한 VED의 진동제어효과를 비교하였다.

3.1. 해석 모델

해석 모델은 그림 8에 나타난 바와 같이 2차원 5층 철골 모멘트골조와 가새골조가 결합된 형태로써, 건축학회의 강구조 계산규준 (극한강도설계법, 1997)에 따라 MIDAS GEN⁽⁶⁾을 이용하여 설계하였다. 설계에 사용된 하중은 고정하중 540 kgf/m^2 , 적재하중 250 kgf/m^2 , 지진하중은 건축물

표 1 해석 모델에 사용된 부재

| 모 델 | 층 | 내 부 기 동 | 외 부 기 동 | 보 | 가 새 |
|-------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 모멘트골조 | 1~2 | H 344×348×10×16 | H 300×300×10×16 | H 386×299×9×14 | - |
| | 3~5 | H 300×300×10×15 | H 300×300×10×15 | | - |
| 가새골조 | 1~2 | H 344×348×10×16 | H 344×348×10×16 | H 606×201×12×20 | H 175×175×7.5×11 |
| | 3~5 | H 344×348×10×16 | H 344×348×10×16 | | H 175×175×7.5×11 |

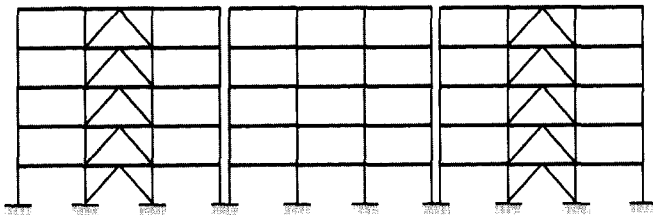


그림 8 예제 구조물

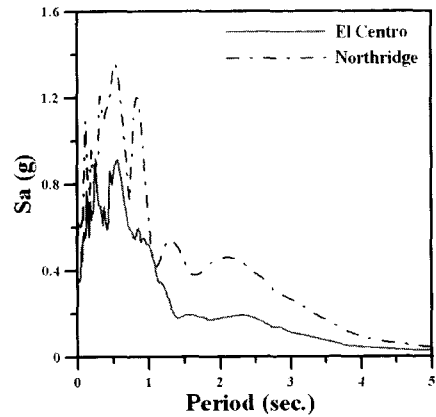


그림 9 사용된 지진하중의 가속도 응답스펙트럼

하중기준의 지역계수 = 0.11, 지반계수 = 1.2, 중요도계수 = 1.0을 사용하여 구하였으며, 풍하중은 기본풍속 30 m/sec, 노풍도 B, 중요도계수 1.0, 가스트 계수 2.2를 사용하여 구하였다. 층고는 전 층을 4 m로, 경간의 길이는 9 m로 설계하였다. 보에는 항복강도 2.4 tonf/cm², 기둥에는 3.3 tonf/cm²인 철골부재를 사용하였고, 부재크기는 표 1에 나타난 바와 같다. 구조물의 1, 2차 모드 감쇠비는 5%로 가정하였고, 모멘트골조의 고유주기는 1.53초, 가새골조의 고유주기는 0.43초이다. 신축이음에 설치된 점탄성재료 (single layer)의 두께(t)는 7cm, 점탄성 재료의 전단저장계수(G')는 0.72 MPa, 전단손실계수(G'')는 0.52 MPa이다.

3.2 지진하중

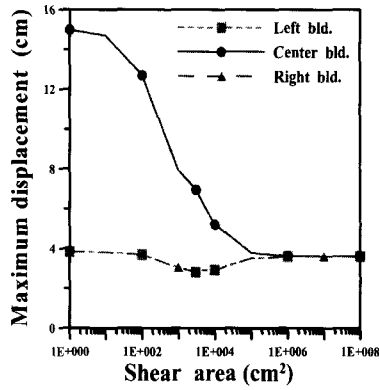
최대 지반가속도 (PGA)가 0.348g인 El Centro 지진 (NS, 1940)과 Northridge 지진 (PGA=0.6047g, 1994)을 이용하여 비탄성 동적해석을 수행하고, 두 지진에 대한 응답을 비교하였다. 그림 9는 사용된 지진기록의 가속도 응답스펙트럼을 나타낸다. 보와 기둥에서 발생하는 소성현지는 부재의 단부에서 발생한다고 가정하였으며, 부재의 이력거동은 항복 후 강성비가 초기 강성의 2%인 이선형(bilinear) 곡선으로 가정하였다.

3.3 El Centro 지진에 의한 동적 응답

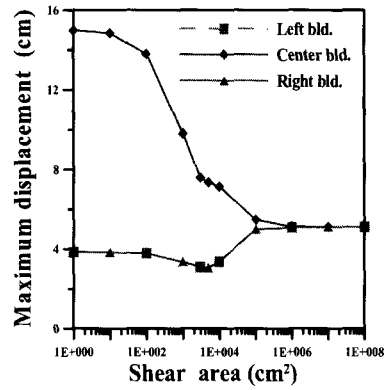
고유치해석으로부터 얻어진 1차 모드의 고유진동수로 감쇠기의 감쇠계수를 결정한 후, 감쇠기의 전단면적을 산정하고 전단면적의 변화에 따른 구조물의 최상층 변위 응답의 변화를 고찰하였다. 그림 10 (a)와 (b)는 각각 VED가 5층 및 전층에 설치되었을 때 VED 전단면적에 따른 각 구조물의 최대변위의 변화를 나타낸 것으로, 5층에만 설치된 경우 VED의 전단면적이 약 3,000 cm²일 때, 전 층에 설치된 경우 전단면적의 합이 약 5,000 cm²일 때 외부 가새골조의 변위가 가장 작아지고, 내부 모멘트골조의 변위도 상당히 감

소하므로 가장 적절한 것으로 판단할 수 있다. VED를 설치한 후 고유치해석을 수행한 결과, 5층에만 감쇠기를 설치하였을 경우에 1차 고유주기는 0.96초이고 전 층에 감쇠기를 설치하였을 경우의 고유주기는 0.93초로 나타나 큰 변화가 없었다. VED를 설치하기 전과 비교하여 가새골조의 주기는 약 50%이상 증가하고, 모멘트골조의 주기는 약 35% 이상 감소하는 것으로 나타났다. 그림 11은 최적 전단면적에 해당하는 VED를 설치하고 각각의 경우에 대한 내부 모멘트골조의 최상층 상대변위 시간이력을 나타낸 것으로, 최상층의 상대변위가 대폭 감소하며, VED의 설치 위치에 관계없이 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

그림 12는 최상층에 VED를 설치한 경우와 설치하지 않았을 경우, VED 대신 rigid link로 연결된 경우의 에너지 시간이력을 나타낸 것으로, VED가 설치된 경우 입력에너지는 약간 증가하나 감쇠에너지가 대폭 증가하므로 구조물의 소성변형이 감소하여, 이력에너지가 반 이상 줄어드는 것을 알 수 있다. 특히 VED 대신에 rigid link로 연결된 경우, 즉 구조물들이 일체로 거동하는 경우 지진에 의한 입력에너지가 상당히 증가하며, 소산되는 이력에너지 및 구조물의 손상도 구조물들이 서로 분리되어 있을 때 보다 증가하는데, 이러한 현상은 특히 모든 층에서 연결된 경우에 심화되는 것을 알 수 있다. 그림 13은 같은 양의 VED를 각 층에 분배하여 설치하였을 때 에너지 시간이력을 나타내며, VED가 최상층에 설치된 경우와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그림 14는 VED가 없을 때, 최상층에 설치되었을 때, 같은 양의 VED를 각 층에 분배하여 설치하였을 때 소성현지의 위치 및 크기를 나타낸다. VED가 설치된 경우 소성현지의 개수 및 크기가 감소하는 것을 알 수 있으며, VED의 위치에 따라서는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

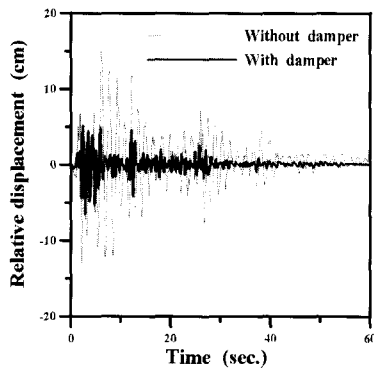


(a) VED가 5층에 설치된 경우

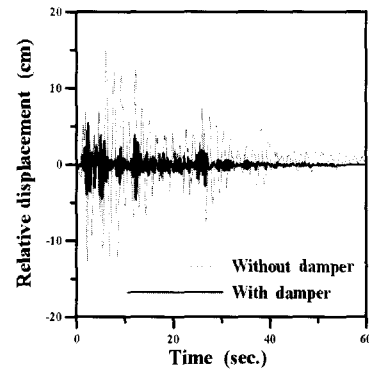


(b) VED가 전 층에 설치된 경우

그림 10 VED 전단면적에 따른 최대변위 응답

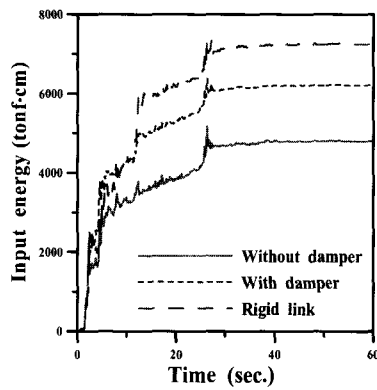


(a) VED가 5층에 설치된 경우

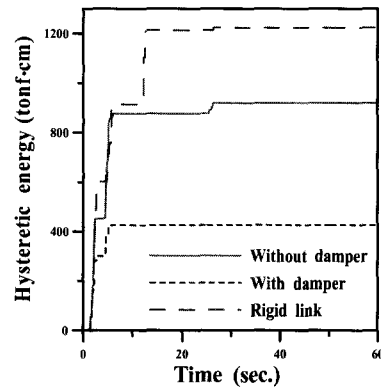


(b) VED가 전 층에 설치된 경우

그림 11 모멘트 골조의 최상층 상대변위 시간이력

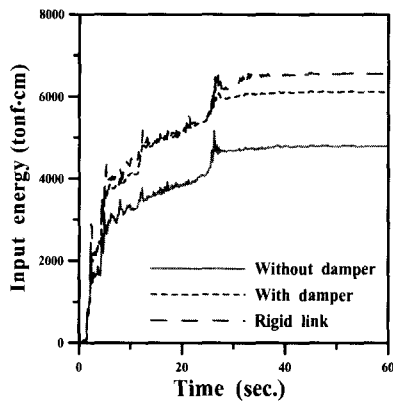


(a) 입력 에너지

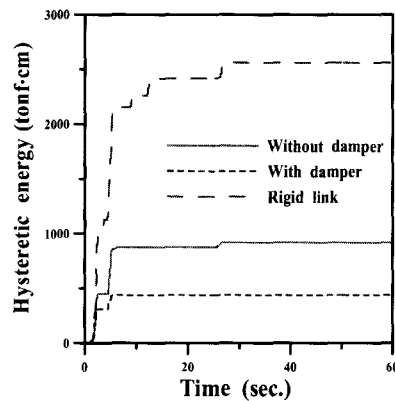


(b) 이력 에너지

그림 12 예제 구조물의 에너지 시간이력 (VED 5층 설치)



(a) 입력 에너지



(b) 이력 에너지

그림 13 예제 구조물의 에너지 시간이력 (VED 전층 설치)

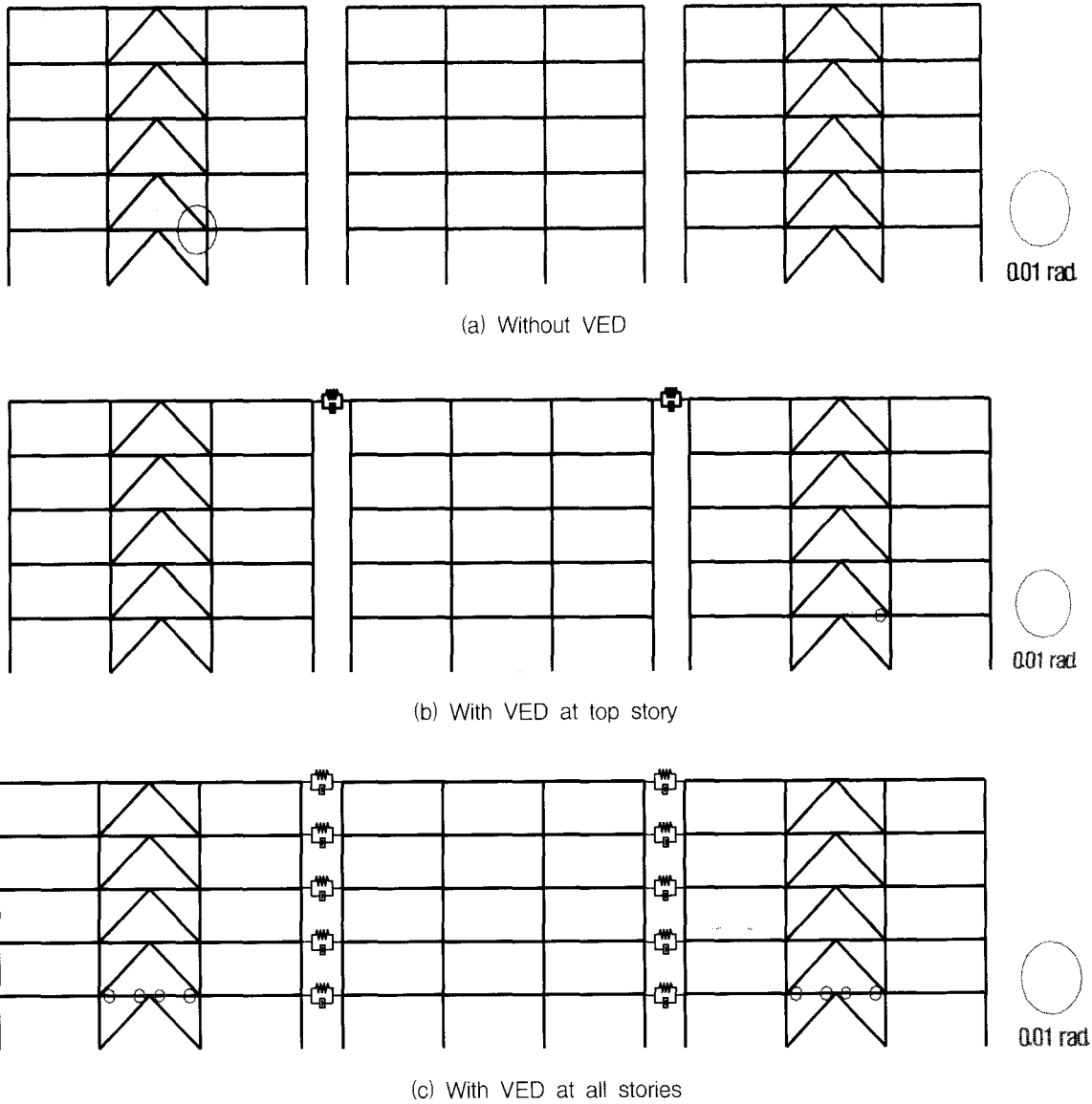


그림 14. El Centro지진에 의한 소성힌지 분포

3.4 Northridge 지진에 의한 동적응답

El Centro 지진하중에 대한 결과와 비교하기 위해서 Northridge 지진 (PGA = 0.6047g)을 이용하여 지진해석을 수행하였다. VED는 최상층에만 설치된 것으로 가정하였다. VED 전단면적의 크기에 따른 최대변위의 변화 (그림 15)에 따르면, El Centro 지진하중에 대한 결과와 동일하게 VED의 전단면적이 3000 cm²일때 외부 가새골조의 응답이 가장 작고, 모든 구조물의 영구변위가 최소화되는 것으로 나타났다. 그림 16과 17은 이러한 VED를 설치하고 시간이력을 수행한 결과 얻어진 가새골조 및 모멘트골조의 상대변위와 모멘트골조의 최대변위의 시간이력을 나타내며, VED의 설치로 변위응답이 크게 줄어드는 것을 알 수 있다. Northridge 지진이 El Centro 지진보다 강도가 크기 때문에 VED를 설치한 후에도 소성변형에 의한 영구변위가 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 그림 18은 예제구조물의 에너지 시간이력을 나타내며, VED가 설치된 후 소성변형에 의한 이력에너지가 반 이상 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 19에 나

타난 소성힌지 분포현황 및 크기에 따르면, 감쇠기가 설치된 경우 세 구조물의 소성힌지의 개수 및 크기가 확연하게 줄어든 것을 알 수 있다.

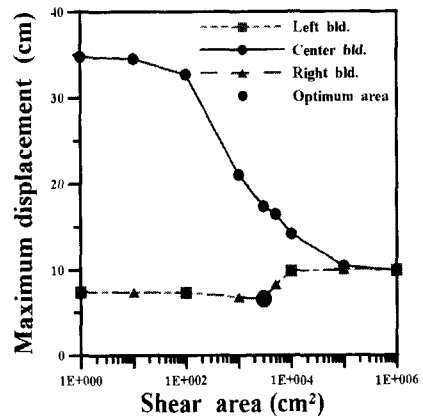


그림 15 VED 전단면적에 따른 최대변위의 변화 (Northridge earthquake)

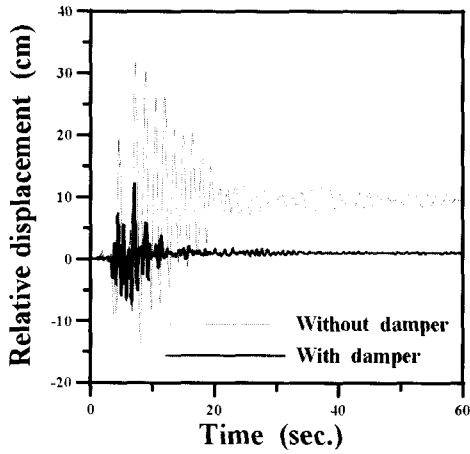


그림 16 지붕층 상대 변위 시간이력

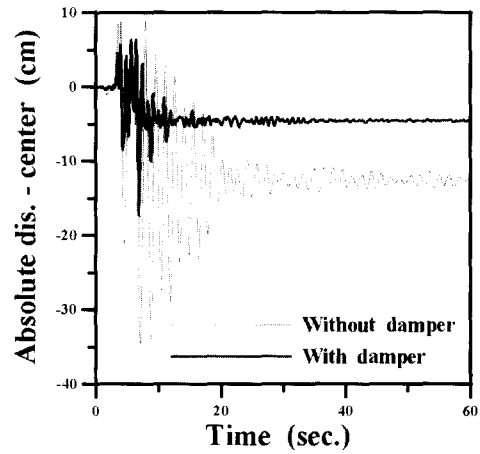
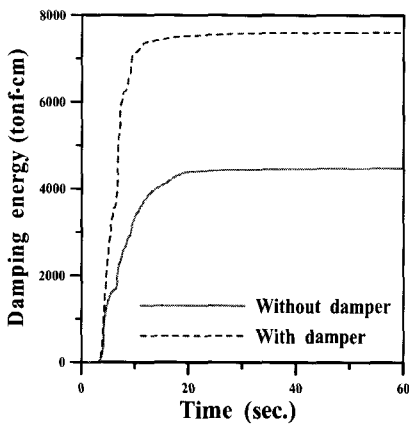
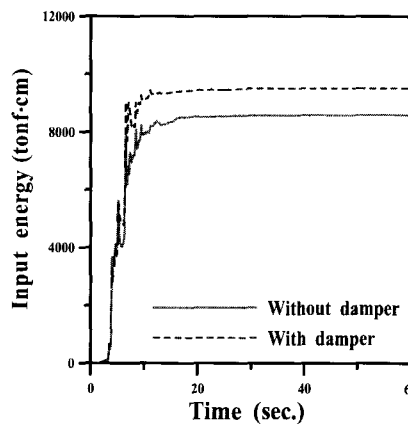


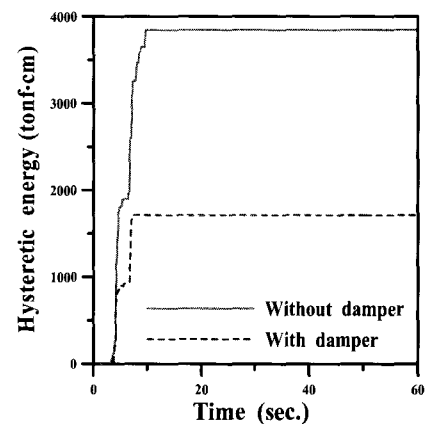
그림 17 모멘트골조의 최대변위 시간이력



(a) 입력 에너지

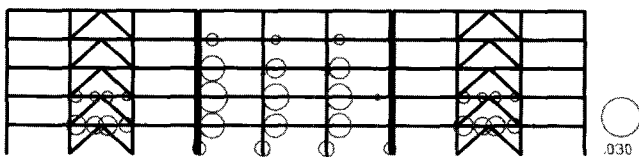


(b) 감쇠 에너지

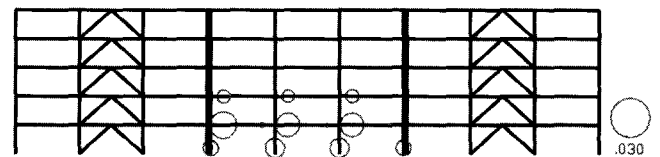


(c) 이력 에너지

그림 18 예제 구조물의 에너지 시간이력



(a) Without damper



(b) With damper

그림 19 소성힌지분포와 크기

4. 결 론

본 논문에서는 신축줄눈 또는 지진줄눈에 설치된 VED를 이용하여, 연결된 건물의 지진응답을 저감할 수 있는 방안 에 관하여 연구하였다. VED로 연결된 1층 전단건물의 동적 해석을 통하여 VED의 전단면적의 변화 및 연결된 구조물의 주기 비에 따른 응답의 변화를 관찰한 결과, 감쇠기의 전단 면적이 증가함에 따라 구조물의 응답이 감소하다가 다시 증가하며, 응답을 최소화하는 감쇠기의 최적 전단 면적이 존재한다는 것을 발견하였다. 또한 주기 차이가 2배 이하인 한정된 해석모델의 결과에 근거한 것이지만, 연결된 구조물들의 주기 차이가 클수록 전체 시스템의 지진 응답이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 밀면전단력의 크기는 큰 변화가 없었다. 이러한 결과를 바탕으로 가새골조 및 모멘트

트골조로 구성된 5층 예제구조물을 설계하고 비탄성 지진해석을 수행하였다.

해석 결과에 따르면 건물 사이에 VED가 설치된 경우 예제 구조물의 최대변위, 상대변위, 이력에너지, 소성힌지의 크기 등의 응답을 대폭 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 방법이 효과를 발휘하기 위해서는 연결된 구조물의 주기가 상당히 달라야한다는 한계가 있으며, 이러한 조건은 예제 구조물의 해석에서 보인 바와 같이 각 구조물의 구조시스템을 달리함으로써 어느 정도 충족할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안하는 방법은 여러 가지 이유로 지진 줄눈이나 신축이음의 설치가 불가피한 경우, 효과적인 진동제어 방안이 될 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 EI Centro 및 Northridge 지진을 이용하였으며, 추후 지진의 특성이 상이한 입력하중에 대한 검증이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연 C103A1040001-03A0204-00110)에 의한 것임.

참 고 문 헌

1. Soong TT. and Dargush GF., "Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering, State University of New York at Buffalo, 1996.
2. Zhang, WS and Xu, YL., "Dynamic characteristics and seismic response of adjacent buildings linked by discrete dampers," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **28**(10), 1999, pp. 1163-1185.
3. Yang Z, Xu YL, and Lu XL, Experimental seismic study of adjacent buildings with fluid dampers, "Journal of Structural Engineering," pp. 129 (2), 2003, pp. 197-205
4. Johnson MW, Erickson TW, and Nakaki DK, "Use of viscous dampers across an expansion joint," *Proceedings of 2002 SEAOC Annual Convention*, Santa Barbara, USA, 2002, pp. 197-201
5. Tsai, K. C. and Li, J. W., "DRAIN2D+, A general purpose computer program for static and dynamic analyses of inelastic 2D structures supplemented with a graphic processor," *Report No. CEER/R86-07*, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 1997.
6. MIDAS/Gen Program, *MIDAS/Gen-General structure design system, MIDAS/Gen Ver.5.7.1 Analysis and Design Manual*, MIDAS Information Technology, Co.,Ltd.