

# 철골 구조물의 제진 및 면진성능

## Damping and Isolation Performance of Steel Structure

윤 현 도\*      박 완 신\*\*      한 병 찬\*\*      황 선 경\*\*      이 규\*\*  
Yun, Hyun-Do   Park, Wan-Shin   Han, Byung-Chan   Hwang, Sun-Kyoung   Lee, Giu

### Abstract

In this paper, the dynamic response of a multi-story steel moment resisting frame equipped with viscoelastic dampers or lead rubber bearing type isolators subjected to seismic loads is investigated analytically. The objective of this study is to find the best location of viscoelastic dampers by the maximum stress method and maximum story drifts method from structure analysis. Also, a secondary objective of the study is to compare the member force, combined stress, and natural period of the structure retrofitted with viscoelastic dampers or lead rubber bearing type isolators to find effective vibration control method

### 요 지

본 논문에서는 지진하중 작용시, 점탄성 감쇠기 및 면진장치를 설치한 다층 철골 모멘트 저항 골조의 동적 응답을 해석적으로 규명하였다. 본 연구의 목적은 구조해석을 수행하여 최대 층간변위 및 최대응력법에 의해 효율적인 점탄성 감쇠기의 위치를 결정하는 것이다. 또한, 효율적인 진동 제어방법을 모색하기 위하여 점탄성 감쇠기 및 납삽입고무베어링형 면진장치에 의한 제어효과를 부재력, 조합응력, 그리고 구조물의 고유주기 등을 이용하여 상호 비교·분석하였다.

**Keywords :** Viscoelastic Damper, Lead Rubber Bearing Type Isolators, Maximum Stress Method, Story-Drift Method

**핵심 용어 :** 점탄성 감쇠기, 납삽입고무베어링형 면진장치, 최대응력 방법, 층간변위 방법

\* 정희원, 충남대 공과대학 건축공학과 교수  
\*\* 정희원, 충남대 공과대학 건축공학과 강사

E-mail : wiseroad@cnu.ac.kr 011-307-4663

• 본 논문에 대한 토의를 2004년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2004년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

최근 건설 시공기술 및 설계기술이 빠르게 발전하면서 건물은 초고층, 초대형화 되어가고 있으며 이러한 구조물은 높은 유연도를 갖기 때문에 지진 등의 동적 하중에 의한 진동이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이와 같은 구조물의 과도한 진동과 거주자의 불안감을 해소하고자 하는 노력의 일환으로 면진 및 제진 구조에 대한 연구가 국내·외적으로 활발하게 진행되고 있다.<sup>(1),(2)</sup>

면진 및 제진구조는 구조물에 유입되는 진동에너지를 부가적인 제진장치나 면진장치에 집중시킴으로써 구조물의 진동을 억제하도록 하는 시스템이다. 면진기술은 저층 건물의 내진설계에서 잘 알려진 접근법의 하나로 건물과 기초 사이에 납삽입 적층 고무베어링형과 같은 면진장치를 설치하여 상부로 전달되는 지진에너지를 효과적으로 감소시킨다. 그러나 이와 같은 방법은 중층 이상의 구조물에 그대로 적용하기에 여러 가지 기술적 문제가 발생하기 때문에 점탄성 감쇠기 등의 제진장치가 그 대안이 될 수 있다.<sup>(3)</sup> 점탄성 감쇠기에 의한 수동형 제어는 구조물의 점성을 증가시켜 진동에너지를 소산시키므로써 효과적으로 진동을 제어할 수 있는 방법<sup>(4)</sup> 중의 하나로 진동 제어효과에 비해 비용이 저렴하고, 기존 구조물에 부가적인 설치가 용이한 장점이 있어 구조물의 적용가능성이 매우 높다. 그러나 일반적인 다층 구조물에 수동형 감쇠기를 설치하는 경우 효과적인 진동 제어 성능을 발휘할 수 있는 감쇠기의 배치가 중요하다. 이들은 주로 구조물의 편심으로 인한 비틀림 응답을 효과적으로 제어하기 위한 감쇠기의 배치문제나 각층에 동일한 물량을 설치할 때에 목표 성능을 만족시키기 위한 최적 설계와 최적위치 선정 등에 대한 문제 등이 연구되고 있다.<sup>(5)~(8)</sup>

후자의 경우, 여러 연구자들이 층간변위를 가제어성 지수로 정의하여 이 값이 가장 큰 층에 순차적으로 배치해나가는 위치선정 방법을 제시하고 있다.<sup>(9),(10)</sup> 이러한 감쇠기의 배치문제들은 대부분 층간변위에 대한 구속조건을 도입하고 있지만, 외부 진동에 의해 발생하는 변형으로 인한 최대응력 발생지점이 감쇠기의 배치문제에 대한 효과적인 구속조건이 될 가능성이 있다.

본 연구에서는 3, 5, 10 및 20층의 중·저층 철골 구조물을 대상으로 점탄성 감쇠기의 배치문제를 해결하기 위해서 최대 층간변위점과 최대 응력점을 각각 고려하여 최적 제어위치를 선정하고, 납삽입 적층 고무베어링형의 면진장치와 점탄성 감쇠기에 의한 제진 성능을 서로 비교·분석함으로써 진동제어 기법에 대한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 점탄성 감쇠기의 위치 선정

### 2.1 층간변위법

층간변위법<sup>(11)</sup>은 기존의 연구자들에 의해 최적 감쇠기 위치 문제를 해결하기 위해 도입되었던 기법이다. 이 기법은 적은 수의 감쇠기를 사용하여 효과적인 진동 제어성능을 발휘하게 하기 위해 층간변위가 크게 발생하는 층에 점탄성 감쇠기를 설치하는 방법으로 다음과 같다.

- ① 구조물에 대한 시간이력해석 수행
- ② 층간변위가 최대인 절점 선택
- ③ X방향 또는 Y방향 또는 X, Y방향의 점탄성 감쇠기 설치
- ④ 층간변위는 외곽 경간에 발생하므로 외곽에 점탄성 감쇠기를 X, Y축 대칭 배치
- ⑤ 감쇠기가 설치된 구조물의 시간이력 해석
- ⑥ 최대 횡변위를 비교하여 요구되는 성능점 이하가 될 때까지 반복 수행

### 2.2 응력법

본 연구에서 제안된 응력법은 최적 감쇠기의 위치 문제를 해결하기 위해 시간이력 해석의 결과로 나타난 최대응력 발생 지점에 점탄성 감쇠기를 배치시키는 방법이다. 층간변위법과 같이 단순한 이치에 근거를 둔 방법이지만, 최적 위치 문제에 적용되어 그 효율성이 검토되어야 한다. 최대응력 발생점을 이용하는 응력법의 적용과정은 다음에 나타난 단계로 정리할 수 있다.

- ① 구조물에 대한 시간이력해석 수행
- ② 최대응력이 발생하는 부재 선정

- ③ 부재가 속한 층을 결정
- ④ 횡방향 중간 경간에 X방향 또는 Y방향 또는 X, Y방향의 점탄성 감쇠기 설치
- ⑤ X, Y축 대칭 배치
- ⑥ 감쇠기가 설치된 구조물에 대한 시간이력 해석 수행
- ⑦ 최대 횡변위를 비교하여 요구되는 성능점 이하가 될 때까지 반복 수행

### 3. 선정구조물

#### 3.1 해석모델

층규모에 따른 점탄성 감쇠기의 최적위치를 선정하기 위하여 본 연구에서 선정한 가로 3경간 및 세로 2경간의 구조물은 Fig. 1과 같으며 해석모델에 사용된 기둥과 보 부재의 크기는 Table 1과 같다. 또한 중력하중, 풍하중 및 El Centro(1940)지진하중을 고려하여 시간이력해석을 수행하였다.

#### 3.2 하중조합

본 연구에서 하중조합은 지진 등의 동적하중이 작용하는 동안 정적하중이 지속적으로 재하된 상태를 재현하기 위해 정적하중은 Fig. 2 (a)와 같이 0초부터 5

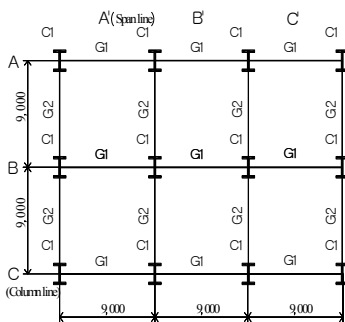


Fig. 1 대상 건물의 기준층 평면도 (Unit: mm)

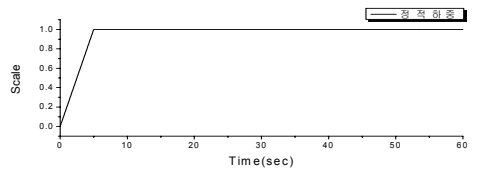
Table 1 철골 부재의 크기

층 규모 부재	3층	5층	10층	20층
G1	H440x300 x11/18	H440x300 x11/18	H440x300 x11/18	H400x408 x21/21
G2	H350x175 x7/11	H350x175 x7/11	H310x310 x20/20	H428x407 x20/35
C1	H414x405 x18/28	H428x407 x20/35	H458x417 x30/50	H600x600 x45/7
C2	-	-	-	H498x432 x45/70

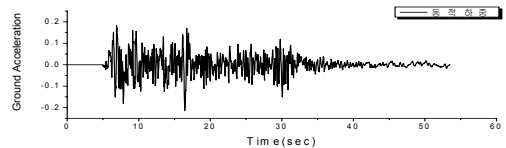
초까지는 하중계수를 0에서부터 1까지 점진적으로 재하된 뒤 일정하게 지속시키며, 동적하중은 Fig. 2 (b)와 같은 El Centro지진파를 5초 이후부터 재하하였다. 또한 정적하중과 동적하중은 시간이력해석을 위해 60초까지 재하하였다.

#### 3.3 시간이력해석

면진 및 제진장치는 구조물의 소성변형을 방지하거나 낮은 수준에 머물게 하는 것이기 때문에 비선형 거동은 이들 장치에서만 발생하고 그 이외의 부재들은 탄성체로 가정하여 해석하는 것이 전체 구조물을 비선형 구조로 가정하여 해석하는 것보다 합리적이며 효율적이다. 그러므로 본 연구에서는 해석시 납압입 적층 고무 베어링형과 점탄성 감쇠기는 비선형 연결요소로, 그 이외의 구조부재들은 모두 선형탄성요소로 고려하였다.



(a) 정적하중



(b) 동적하중

Fig. 2 재하 하중

경계비선형 시간이력해석은 전체구조물을 선형계와 비선형계로 나누고 비선형계에서 발생하는 비선형부재력을 선형계에 가해지는 외부 동적하중으로 치환하여 해석을 수행하며 강성행렬식은 식 (1)과 같다.

$$Mu''(t) + Cu'(t) + (K_s + K_N)u(t) = B_p d(t) + B_N [(f_L(t) - f_N(t))] \quad (1)$$

#### 4. 감쇠기의 위치에 따른 해석결과

##### 4.1 점탄성 감쇠기의 최적위치 선정

각 층규모에 따라 점탄성 감쇠기를 사용한 경우 최대 횡변위 감소율은 Table 2와 같다. 표에 나타난 바와 같이 구조물에 감쇠기를 설치하지 않은 경우 횡변위는 16.35~57.31cm범위이며, 감쇠기를 설치한 경우 층간변위법 및 응력법에 의한 감쇠효과는 X방향에 대해서는 각각 25.62~58.32% 및 24.20~69.60% 범위이며, Y방향에 경우 23.31~48.09% 및 23.99~50.89% 범위로 점탄성 감쇠기를 설치하는 것이 횡변위 제어에 탁월한 것으로 나타났다. 또한 층규모가 증가할수록 감쇠효과가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 20층 구조물에서는 층간변위법 및 응력법에 의해 X 및 Y방향에 점탄성 감쇠기 설치시 감쇠효과가 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

층 규모에 따른 정해진 감쇠기의 최적 설치위치를 설정하기 위한 반복해석순서는 Table 3과 같다. 또한, 3층 및 5층 구조물의 X방향에 대하여 층간변위법 및 응력법에 의한 점탄성 감쇠기의 최적위치는 Fig. 3

과 같다. 특히, Table 3에 나타난 바와 같이 응력법에 의한 점탄성 감쇠기의 최적위치는 하부층에 집중시킬수록 감소효과가 현저하게 나타났다.

Table 2 최대 횡변위 감소율

층 규모	감쇠기 개수	감쇠기 설치방향	미설치시 횡변위 (cm)	층간변위법		응력법	
				횡변위 (cm)	감쇠율 (%)	횡변위 (cm)	감쇠율 (%)
3층	4개	X방향	16.35	6.78	58.32	4.97	69.60
		Y방향		8.65	47.09	8.03	50.89
5층	8개	X방향	15.79	9.41	40.41	7.77	50.79
		Y방향		12.11	23.31	11.73	25.71
		X,Y방향		11.09	29.77	12.12	23.24
10층	16개	X방향	36.16	17.77	50.86	16.77	53.62
		Y방향		18.77	48.09	19.06	47.29
		X,Y방향		21.08	41.70	20.26	43.97
20층	32개	X방향	57.31	42.63	25.62	43.44	24.20
		Y방향		43.45	24.18	43.56	23.99
		X,Y방향		43.21	24.60	44.11	23.03

\* 감소율=(1-감쇠기 설치구조물의 최대 횡변위/미설치 구조물의 최대 횡변위)×100

Table 3 응력법에 의한 X방향 설치 위치

층 규모	감쇠기 개수	감쇠기 설치위치 (층-행-열)			
3층 구조물	4개	1-B-A'	1-B-C'	2-B-A'	2-B-C'
		3-B-A'	3-B-C'	4-B-A'	4-B-C'
5층 구조물	8개	1-B-A'	1-B-C'	2-B-A'	2-B-C'
		3-B-A'	3-B-C'	3-B-A'	3-B-C'
		4-B-A'	4-B-C'	5-B-A'	5-B-C'
		6-B-A'	6-B-C'	8-B-A'	8-B-A'
10층 구조물	16개	1-B-A'	1-B-B'	1-B-C'	1-B-A'
		1-B-B'	1-B-C'	2-B-A'	2-B-C'
		4-B-A'	4-B-C'	5-B-A'	5-B-C'
		5-B-A'	5-B-C'	6-B-A'	6-B-C'
		7-B-A'	7-B-C'	8-B-A'	8-B-C'
		8-B-A'	8-B-C'	9-B-A'	9-B-C'
		10-B-A'	10-B-C'	11-B-A'	11-B-C'
		12-B-A'	12-B-C'	13-B-A'	13-B-C'

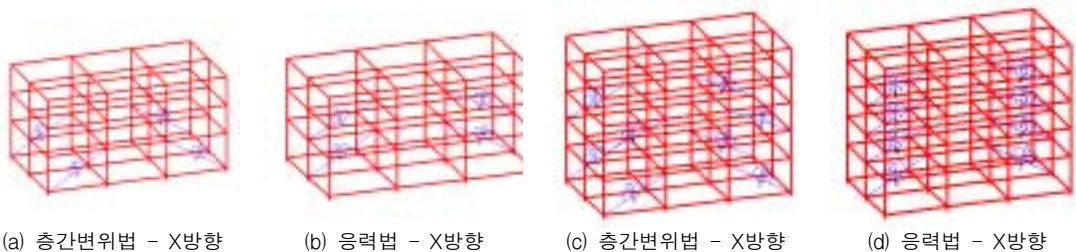


Fig. 3 점탄성 감쇠기를 설치한 3층 및 5층 구조물

## 4.2 부재력

### (1) 기동전단력

층규모에 따라 납삼입 적층고무베어링과 점탄성 감쇠기 설치시 기동의 부(-) 및 정(+) 전단력은 Table 4와 같다. Table 4에 나타난 바와 같이 납삼입 적층고무베어링 및 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물의 경우, 전단력이 각각 3,985~7,635 kgf와 7,753~15,100 kgf범위로 미설치 구조물에 비해 전단력에 대한 감소효과가 각각 56.62~67.15%와 24.67~36.73 %의 범위로 나타났다. 또한, 납삼입 적층고무베어링을 설치한 경우 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물에 비해 1.97~2.33배 전단력 감소효과를 보였다.

### (2) 최대응력

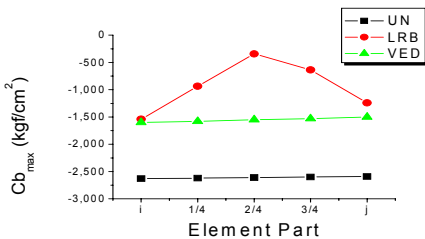
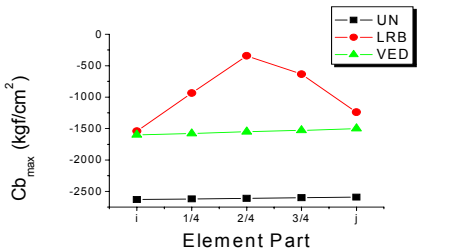
층규모에 따라 납삼입 적층고무베어링과 점탄성 감쇠기 설치한 구조물에서 부재의 최대응력( $Cb_{max}$ )은 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 나타난 바와 같이 납삼입 적층고무베어링과 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물의 경우 최대응력은 미설치 구조물에 비해 각각 41.44와 39.16%, 24.34와 28.57%, 37.33과 32.72% 및

Table 4 1층 기동 전단력

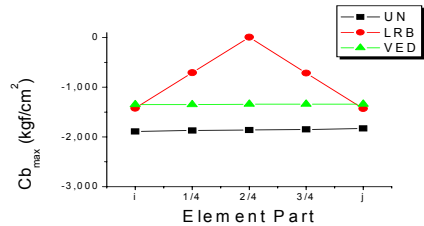
Structure Case	Shear Force		
	Negative(-) (kgf)	Positive(+) (kgf)	*Reduction ratio (%)
3층 구조물	UN	12,942	-
	LRB	3,985	61.62
	VED	8,188	36.73
5층 구조물	UN	13,226	-
	LRB	4,389	66.81
	VED	9,963	24.67
10층 구조물	UN	14,719	-
	LRB	4,487	56.62
	VED	10,478	28.81
20층 구조물	UN	20,465	-
	LRB	7,635	67.15
	VED	15,036	35.03
UN	-	미설치 구조물	
LRB	Lead-Rubber Bearing	납삼입 고무베어링	
VED	Vicoelastic Dampers	점탄성 감쇠기	

\* 미설치 구조물을 기준으로 한 감소율

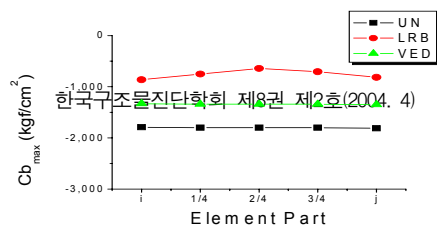
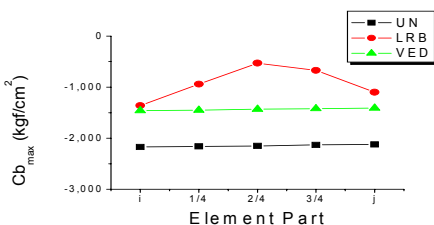
52.38과 25.41% 작게 나타났다. 또한 대체적으로 미설치 및 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물은 부재의 임위위치에서 유사한 응력분포를 보이는 반면, 납삼입 적층고무베어링을 설치한 구조물의 경우 중앙부에서 응력이 가장 작게 나타났다.



(a) 3층 구조물



(b) 5층 구조물



### 4.3 구조물의 고유특성

층규모에 따른 구조물의 기본주기는 Table 5와 같다. Table 5에서 나타난 바와 같이 납삽입 적층고무베어링과 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물에서는 기본주기가 각각 1.47~3.72 sec 와 0.74~2.64 sec범위로 미설치 구조물에 비해 납삽입 적층고무베어링은 구조물의 주기를 증가시키는 반면, 점탄성 감쇠기는 주기를 감소시키는 것으로 나타났다. 이와 결과로부터 납삽입 적층고무베어링은 구조물에 유연성이 증가하여 강성을 감소시켜 주기가 증가한 것으로 사료된다. 또한, 3층에 점탄성 감쇠기를 설치한 경우 구조물에서 주기를 상당히 감소시키는 것으로 나타났으며, 20층에 납삽입 고무적층베어링형을 설치할 경우 구조물의 주기가 증가하는 것으로 나타났다.

동적거동에 영향을 미치는 참여질량이 90 % 이상인 모드의 비교는 Table 6과 같으며 참여질량이 90 % 이상인 모드가 납삽입 적층고무베어링에 의해 그 모드수가 적어지지만, 점탄성 감쇠기에 의해서는 큰 영향이 없는 것으로 나타났고, 층규모가 증가됨에 따라 모드수가 적어지는 것으로 나타났다.

Table 5 구조물의 기본주기

층규모 \ Case	UN (sec)	LRB (sec)	VED (sec)
3층 구조물	0.964671	1.472655	0.736250
5층 구조물	1.564390	2.134094	1.109845
10층 구조물	2.290562	2.873294	1.791715
20층 구조물	2.960180	3.722018	2.635016

Table 6 참여질량이 90%이상인 모드 비교

Structure Case	Mode	Displacement-X Sum (%)	Displacement-Y Sum (%)	Rotation-Z Sum (%)	
3층 구조물	UN	26	100	100	73.99
	LRB	8	100	100	99.73
	VED	25	100	100	73.59
5층 구조물	UN	27	99.88	99.93	85.95
	LRB	10	100	100	98.48
	VED	27	99.91	99.96	86.35
10층 구조물	UN	15	90	90.63	83.14
	LRB	6	98.25	96.56	97.39
	VED	15	90.60	90.60	54.25
20층 구조물	UN	10	90.68	90.72	84.93
	LRB	4	97.56	91.14	91.73
	VED	9	90.29	90.33	49.53

### 4.4 동적거동 특성

#### (1) 층간변위(Interstory Drift Ratio)

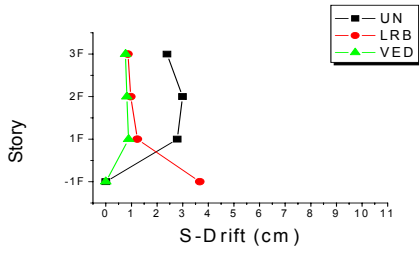
층규모에 따른 구조물의 층간변위는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 점탄성 감쇠기 및 납삽입 적층고무베어링을 설치한 3층, 5층, 10층 및 20 구조물의 경우 층간변위가 미설치 구조물에 비해 각각 72.59 %, 51.44 %, 55.17 % 및 89.38 % 작게 나타났다. 또한, 점탄성 감쇠기를 설치한 3층 및 5층 구조물 경우의 층간변위가 납삽입 적층고무베어링을 설치한 경우에 비해 작게 나타났으나 층규모가 증가할수록 납삽입 적층고무베어링을 설치한 경우가 더 작게 나타났다. 특히, 납삽입 적층고무베어링이 적용된 기초부분의 층간변위가 상당히 크게 나타났으며 이는 납삽입 적층고무베어링을 설치한 경우 구조물이 유연한 거동하기 때문으로 사료된다.

#### (2) 횡변위(Lateral Displacement)

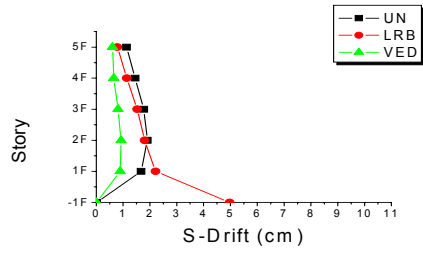
층규모에 따른 구조물의 최상층 횡변위는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 나타난 바와 같이 점탄성 감쇠기를 설치한 3층, 5층 및 10층 구조물의 경우, 횡변위가 미설치 구조물에 비해 각각 69.91, 51.1 및 53.63 % 작게 나타났으며 납삽입 적층고무베어링을 설치한 구조물의 경우에 비해 감소효과가 현저한 것으로 나타났다. 그러나, 납삽입 적층고무베어링을 설치한 20층 구조물의 경우, 미설치 구조물에 비해 50.52 %의 횡변위에 대한 감소효과를 나타냈으며 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물보다 오히려 변위제어 효과가 현저한 것으로 나타났다.

점탄성 감쇠기를 설치한 구조물에 대하여 지진특성에 따른 최상층 횡변위는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 나타난 바와 같이 El Centro 지진 작용시 횡변위가 각각 1.63 cm, 2.51 cm, 6.38 cm 및 14.72 cm로 층규모가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

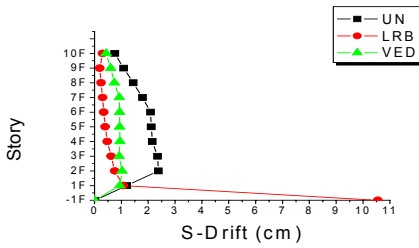
또한, 응력법에 의해 최대응력이 작용하는 최적위치에 점탄성 감쇠기를 설치한 경우 횡변위의 비교는 Table 7과 같으며 El Centro 지진작용시 24.2~69.6 %의 감소효과를 나타내며, 저층으로 갈수록 이와 같은 경향은 현저한 것으로 나타났다.



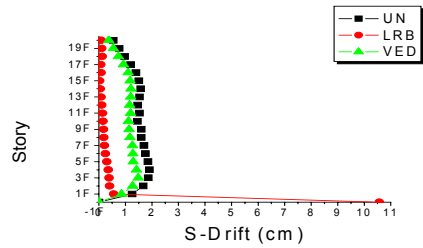
(a) 3층 구조물



(b) 5층 구조물

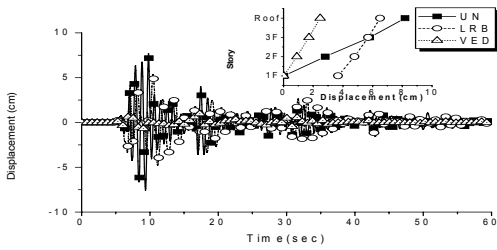


(c) 10층 구조물

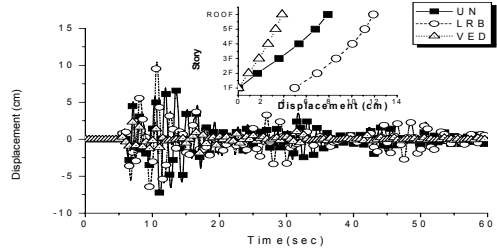


(d) 20층 구조물

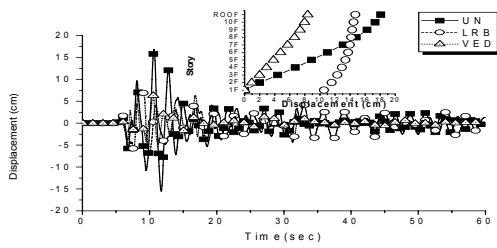
Fig. 5 층간변위



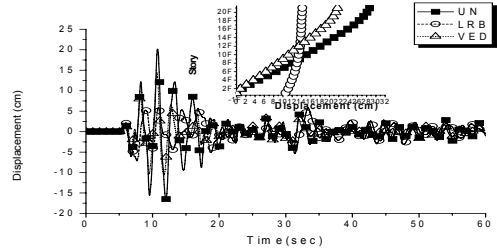
(a) 3층 구조물



(b) 5층 구조물

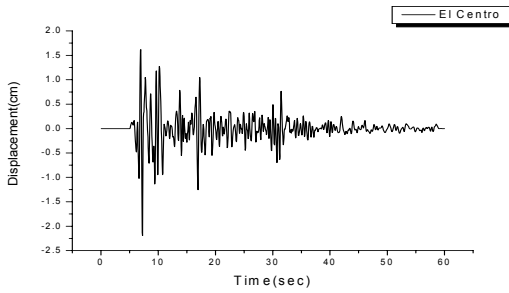


(c) 10층 구조물

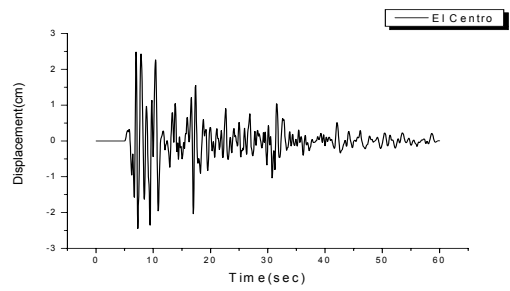


(d) 20층 구조물

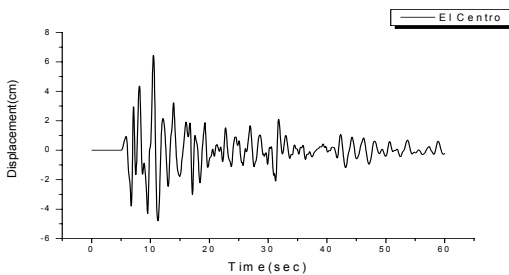
Fig. 6 시간이력에 따른 최상층 횡변위



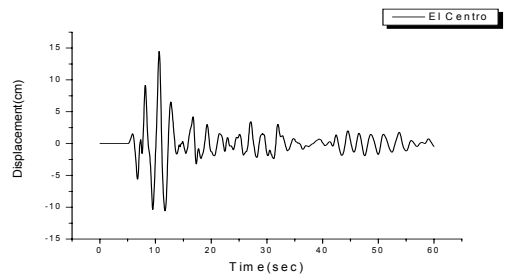
(a) 3층 구조물



(b) 5층 구조물



(c) 10층 구조물



(d) 20층 구조물

Fig. 7 VED를 설치한 경우 지진특성에 따른 최상층 횡변위

Table 7 응력법에 의한 횡변위 감소비(%)

층규모	3층 구조물	5층 구조물	10층 구조물	20층 구조물
지진				
El centro	69.60	50.79	53.62	24.20

#### 4.5 에너지 소산면적

임계응력이 작용하는 동일한 위치에서 시간이력에 따른 및 이력거동 및 에너지 소산면적은 Fig. 8 및 Table 8과 같다. Table 8에 나타난 바와 같이 점탄성 감쇠기를 설치한 3층 및 5층 구조물의 경우 에너지 소산면적은 납삽입 적층고무베어링을 설치한 경우에 비해 각각 65,509.32 kgf·cm와 67,078.39 kgf·cm 더 크게 나타났다. 이는 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물의 경우 납삽입 적층고무베어링을 설치한 구조물에 비해 Fig. 8에서 나타난 바와 같이 변위와 더불어 초기강성 및 최대강도가 크게 나타났기 때문에 사료된다. 그러나, 납삽입 적층고무베어링을 설치한 10

Table 8 에너지 소산면적

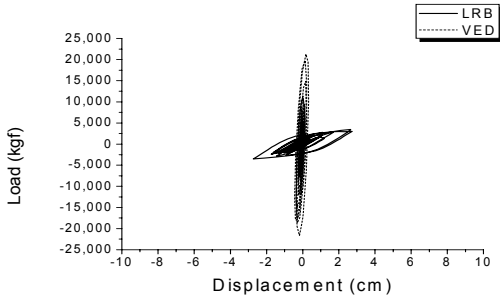
Structure Case	LRB (kgf·cm)	VED (kgf·cm)
3층 구조물	39,865.48	105,374.80
5층 구조물	57,514.21	72,829.60
10층 구조물	86,921.18	50,760.94
20층 구조물	131,672.80	13,252.25

층 및 20층 구조물의 경우, 점탄성 감쇠기를 설치한 경우에 비해 각각 36,160.24 kgf·cm와 118,420.55 kgf·cm 더 크게 나타났다. 이는 납삽입 고무베어링형을 설치한 구조물의 경우 점탄성 감쇠기를 설치한 경우에 비해 초기강성 및 최대강도는 작게 나타났으나 부재가 연성적으로 거동하여 상당히 큰 변형에너지를 흡수하였기 때문에 사료된다.

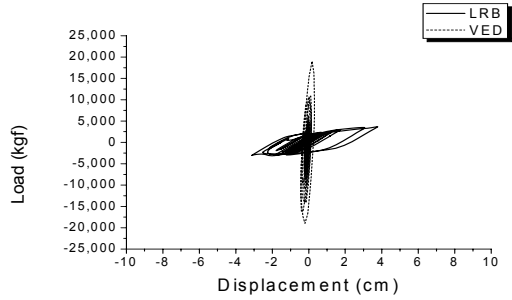
#### 5. 결론

1) 중·저층 철골 구조물의 진동제어를 위해 점탄성 감쇠

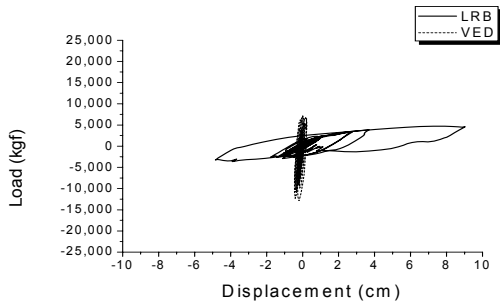




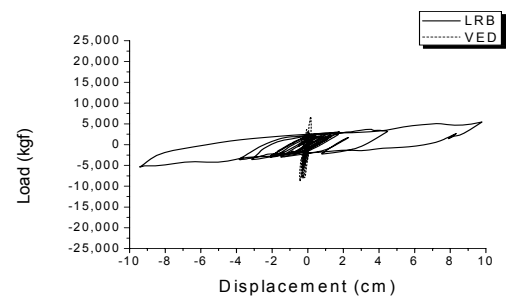
(a) 3층 구조물



(b) 5층 구조물



(c) 10층 구조물



(d) 20층 구조물

Fig. 8 이력거동 특성

를 설치하는 경우 기존의 위치 선정법인 층간변위법과 비교해 본 연구에서 제안된 응력법이 횡변위 제어를 위한 효율적인 위치 선정법임을 입증하였다.

- 2) 납삽입 적층고무베어링 면진장치를 설치한 중·저층 구조물의 경우 기동 전단력 및 조합응력은 미설치 구조물에 비해서는 56.62~67.15 %, 점탄성 감쇠기를 설치한 구조물에 대해서는 1.97~2.33배의 탁월한 감소효과를 나타내고 있으며, 상부 구조물과 지반의 진동을 격리시켜 부재력을 감소시키는데 상당한 효과를 발휘하는 것으로 나타났다.
- 3) 점탄성 감쇠기가 설치된 구조물의 기본주기는 감쇠기와 설치용 가새의 부착으로 구조물의 전체적인 강성이 증가하여 미설치 및 납삽입 적층고무베어링 면진장치를 설치한 구조물에 비해 각각 12~32 % 및 41~100 %가 감소되는 것으로 나타났으며, 저층 구조물의 경우에 이와 같은 경향은 더욱 현저한 것으로 나타났다.

- 4) 구조물에 발생한 횡변위와 층간변위, 그리고 에너지 소산면적은 3층 및 5층 구조물의 경우 점탄성 감쇠기에 의한 진동 제어효과가 우수하였고, 10층 및 20층 구조물의 경우 납삽입 적층고무베어링 면진장치가 진동제어에 효과적인 것으로 나타났다.

#### 기 호

$B_p$  : 동적하중의 절점하중으로의 변환행렬

$C$  : 감쇠행렬

$K_N$  : 비선형연결요소의 유효강성행렬

$K_s$  : 비선형연결요소를 제외한 나머지 선형탄성 부재들의 강성행렬

$M$  : 질량행렬(kg)

$f_L(t)$  : 비선형 스프링의 유효강성에 의한 가상내력(tf)

$f_N(t)$  : 비선형 스프링의 실제 내력(tf)

$p(t)$  : 동적하중(tf)

$u(t), u'(t), u''(t)$ : 절점변위, 속도 및 가속도

---

## 참고문헌

1. 김대곤, 이동근, 정재은, 남궁계홍(2001). 정형 및 비정형 건물에 대한 비선형 면진장치의 적용, 한국지진공학학회, 제5권, 제1호 (통권 제17호), pp.37-44.
2. 김진구, 홍성일, 이경아, 이동근(2000). 고층건물의 진동제어를 위한 점탄성 감쇠기의 활용, 한국지진공학학회 논문집 제4권, 제1호 (통권 제13호), pp.77-88.
3. 김진구, 방성혁, 이진수(2001). 점탄성 감쇠기를 이용한 비대칭 건물의 진동제어, 한국지진공학학회 논문집 제5권, 제1호 (통권 제 17호), pp.13-19.
4. 박지훈, 이상현, 강경수, 황재승, 김진구(2001). 점탄성 감쇠기와 설치용 가새의 최적설계, 한국지진공학학회 논문집 제5권, 제3호 (통권 제19호), pp.45-55.
5. A.K. Shukla and T.K. Datta(1999). "Optimal viscous dampers for stiffness design of shear buildings," Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 4, pp.401-409.
6. C.S. Tsai and H.H. Lee(1993) ASCE, "Applications of viscoelastic Dampers to High-Rise Buildings," Journal of Structural Engineering, April 1993.
7. Yaomin Fu and Kauhiko Kasai(1998). ASCE, "Comparative Study of Frames Using Viscoelastic And Viscous Damper," Journal of Structural Engineering, MAY 1998.
8. K.C. Chang, T.T. Soong, S.T. Oh, and M.L. La(1995) ASCE, "Sismatic Behavior of Steel Frame with Added Viscoelastic Dampers," Journal of Structural Engineering, OCTORBER 1995.
9. Ri-Hui Zhang and T.T. Soong(1992). ASCE, "Seismic Design of Viscoelastic Dampers for Structural Applications," Journal of Structural Engineering, MAY 1992.
10. L.P.B. Madsen, D.P. Thambiratnam, N.J. Perera(2002). "Seismic Response of Building Structures with Dampers in Shear Walls," Computers and Structures, 81 (2003) 239-253.
11. Ri-Hui Zhang and T.T. Soong(1992). "Seismic design of viscoelastic dampers for structural applications," Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 5, pp.1375-1392.

(접수일자 : 2003년 12월 4일)