



## 진동대 실험을 통한 강골조 구조물에 설치된 점탄성 감쇠기의 성능평가

김진구<sup>1</sup> · 서현수<sup>2</sup> · 권민호<sup>3</sup> · 임정희<sup>4</sup> · 김진섭<sup>5</sup>

경상대학교 토목공학과 석사과정<sup>1</sup>, 경상대학교 토목공학과 박사과정<sup>2</sup>,  
 경상대학교 토목공학과 공학연구원 교수<sup>3</sup>, 경상대학교 토목공학과 박사과정<sup>4</sup>  
 경상대학교 토목공학과 박사<sup>5</sup>

### Performance Evaluation of Viscoelastic Dampers installed in the Steel Frame Structures Using the shaking table set

Kim, Jin-Gu<sup>1</sup> · Seo, Hyun-Su<sup>2</sup> · Kwon, Min-Ho<sup>3</sup> · Lim, Jeong-Hee<sup>4</sup> · Kim, Jin-Sup<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Master Candidate, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju-si, Korea  
<sup>2</sup>PhD. Candidate, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju-si, Korea  
<sup>3</sup>Professor, Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University, Jinju-si, Korea  
<sup>4</sup>PhD. Candidate, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju-si, Korea  
<sup>5</sup>PhD, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju-si, Korea

**Abstract:** It has been many efforts for reinforcement of existing structure since the number of earthquake has been increased world widely. Especially the occurrence of earthquake surrounding area of Korean peninsular is dramatically increased. Since the buildings in Korea have not been designed to carry the lateral and shear force caused by earthquake, the building will experience massive damages even under moderate earthquake. For this reason, the viscoelastic damper is proposed in this paper to enhance the earthquake resistance of a steel frame buildings. The viscoelastic dampers have been able to increase the overall damping of the structure significantly, hence improving the overall performance of dynamically sensitive structures. In this paper, Viscoelastic dampers designed are consists of FRP panel and viscoelastic material. In this paper, evaluate the performance of the viscoelastic damper through the experiment.

**Key Words:** earthquake, viscoelastic damper, steel frame, FRP panel

#### 1. 서론

최근 일본, 칠레, 네팔 등에서 규모 6이상의 강진이 발생하여 많은 인명피해가 발생되었다. 전 세계적으로 지진의 발생 빈도와 규모는 점점 커지고 있으며 이전에는 안전하게 생각되어져왔던 우리나라에서도 규모 3 이상의 지진발생빈도는 점점 찾아지고 있다. 때문에 본 연구에서는 지진으로 인한 피해가 예상되는 구조물에 설치하여 지진에 대한 구조물의 안전성을 확보할 수 있는 점탄성 감쇠 시스템을 가지고 있는 보강재를 제작하였으며 그 성능과 적용가능성을 평가하였다.

점탄성 감쇠 방식은 재료의 점성특성을 이용하여 지진 및 바람에 의한 진동에너지를 감쇠기의 전단변형과 열에너지로 소산시켜 구조물의 감쇠비를 증가시킴으로써 구조물에 발생하는 동적응답을 효과적으로 저감시키는 방식이다(Kim, 2001).

본 연구에서는 강성이 뛰어나고 가벼운 재료인 FRP와 에너지 소산능력이 뛰어난 점탄성 고무재료를 이용함으로써 최적의 진동 제어능력을 발휘할 수 있는 점탄성 감쇠 시스템을 제안하였다. 또한 진동실험을 통해 제안된 점탄성 댐퍼의 성능을 평가하도록 하였다.

**주요어:** 지진, 점탄성 댐퍼, 강골조, FRP 패널

**Corresponding author:** Seo, Hyun-Su

Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, 501, Jinju-daero, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea.  
 Tel: +82-51-759-0538, Fax: +82-2-400-2268, E-mail: flyfromyou00@gmail.com

Received February 17, 2016 / Revised March 7, 2016 / Accepted March 10, 2016

## 2. 댐퍼 개발 및 실험

### 2.1 점탄성 댐퍼 개요

점탄성 댐퍼는 구조물에 전해지는 바람, 지진에 의한 진동 에너지를 구조물 전체에 걸쳐 에너지를 소산시켜 에너지 흡수장치로 사용되어 진다. 점탄성 댐퍼는 유체의 특성인 점성과 함께 고체의 특성인 탄성의 성질을 보이는 점탄성 재료를 사용함으로써, 구조물에 발생하는 허용이상의 힘을 댐퍼에 집중시켜 구조물 전체의 응력을 증가시키지 않도록 하여 구조물의 응력과 변형을 모두 줄일 수 있다.(Samali, 1995)

$$E_I = E_k + E_s + E_h + E_d \quad (1)$$

여기서,  $E_I$ 는 입력지진에너지,  $E_k$ 는 운동에너지,  $E_s$ 는 변형에너지,  $E_h$ 는 이력감쇠에너지이며,  $E_d$ 는 점성에너지이다.

식(1)은 Uang and Bertero(1988) 이 제시한 Absolute energy equation 으로서, 본 실험에서 제작한 점탄성 댐퍼는 에너지 소산 능력,  $E_d$ 를 증가시킴으로써 구조물의 에너지 수용능력을 향상시켜 일반적으로 비탄성 영역에 도달하지 않도록 설계 되었다.

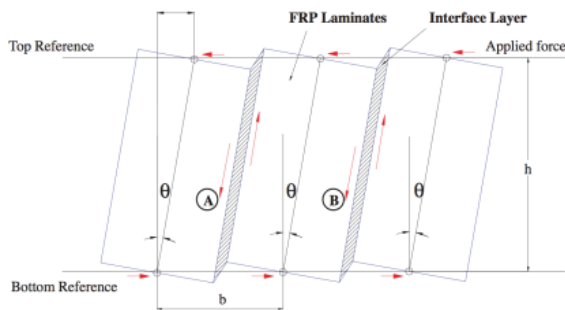


Fig. 1 Schematic Representation of the Viscoelastic Damper System Geometry (Aref and Jung, 2003)

위의 Fig. 1은 본 연구에서 제작한 점탄성댐퍼의 에너지 소산 시스템의 구상도이며, 기존 연구에서 구상된 시스템(Aref and Jung, 2003)을 참고로 하였다. 3개의 패널과 2개의 고무재료를 이용하여 점탄성 댐퍼를 제작하였다. 댐퍼를 구성하고 있는 패널은 구조물에 전달되는 힘을 고무재료에 집중시키고 고무재료에 발생하는 변형과 열에너지로 구조물의 진동 에너지를 소산시키도록 설계하였다. 점탄성 댐퍼를 구성하고 있는 패널은 가볍고 강성이 뛰어난 재료인 FRP를 사용하였으며, 에너지 소산층은 값이 싸고 취급이 용이하며 가공이 쉬운 우레탄 합성고무를 사용하였고 FRP 패널과의 부착은 부착능력이 뛰어난 에폭시본드를 사

용하였다. 본 실험에서 사용된 재료들의 성능을 확인하기 위해 점탄성 댐퍼를 구성하고 있는 FRP재료와 우레탄 합성고무에 대해 재료시험을 실시하였다.

### 2.2 재료 시험

FRP의 인장강도와 탄성계수를 확인하기 위하여 ASTM D3039/D3039M의 규정에 따라 시험을 실시하였으며 시험결과는 Table 1에 나타내었다. 제작된 시편은 300kN 용량의 인장시험기를 사용하였으며, 실험 결과 평균 최대인장응력은 257MPa, 최대 인장력 발생 시 평균 변형률은 0.0152로 나타났으며 시편의 응력-변형률 관계곡선은 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1. Tension Test Result of FRP

Specimens	Stress at max load(MPa)	Strain at max load	Modulus of elasticity(MPa)
G8-01	272.0	0.0168	20,800
G8-02	242.5	0.0143	20,900
G8-03	259.2	0.0148	21,800
G8-04	273.8	0.0161	21,900
G8-05	240.1	0.0139	21,800

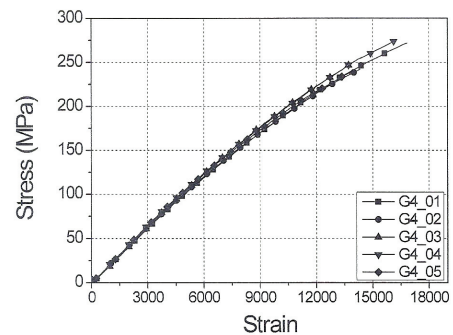


Fig. 2 Stress-strain Relation of FRP Sheet

점탄성 고무재료의 에너지 소산능력을 평가하기 위해 반복피로시험을 실시하였다. 댐퍼에 부착된 고무재료의 실제적인 거동을 알아보기 위하여 실제 점탄성 댐퍼와 유사한 형태인 각 FRP재료 사이에 우레탄 합성고무재료를 삽입하여 시편을 제작하였으며 그 모습은 Fig. 3와 같다. 시험의 방법은 Son(2015)의 연구를 참고하였으며, 반복피로시험의 변위는 1mm, 각각 1Hz, 3Hz로 가력하여 전단변형에 따른 에너지 흡수량을 측정하였다. 그 결과는 Fig. 4에 나타내었다.

### 2.3 점탄성 댐퍼 제작

점탄성 댐퍼의 규격은 장방향 1000mm, 단방향 800mm로써 3개의 FRP패널과 2개점탄성 고무층으로

이루어져 있으며 점탄성 고무재료는 우레탄고무를 사용하였다. 각 FRP패널의 규격은 250mm×1000mm×5mm이며 점탄성 고무재료의 규격은 50mm×800mm×15mm으로 제작하였다. 고무재료와 FRP패널의 부착을 위해 규격 50mm×800mm×5mm의 FRP패널을 제작하여 부착시켰다. 강골조 실험체와 점탄성 댐퍼의 설치를 위해 상단에서 50mm, 하단에서 100mm 떨어진 위치에 볼트구멍을 뚫었으며, 하단에는 장공으로 두어 점탄성댐퍼의 에너지 소산 시스템이 효과적으로 발현될 수 있도록 제작하였다. 점탄성 댐퍼의 단면은 Fig. 5에서, 강골조에 설치된 사진은 Fig. 6에서 보여주고 있다.

### 2.4 진동대 실험 장치

본 실험에서는 Fig. 7과 같이, 진동 가력판 1500mm×1500mm, 최대변위 300mm, 최대 3000kN을 가력할 수 있는 유압식 진동대를 사용하였으며, 실험에 사용된 실험체는 장방향 1,200mm에 단방향 900mm인 높이 2,100mm의 두께 3mm의 앵글로 이루어진 2층 구



Fig. 6 Set up View of Viscoelastic Damper



Fig. 7 Hydraulic Shaking Table

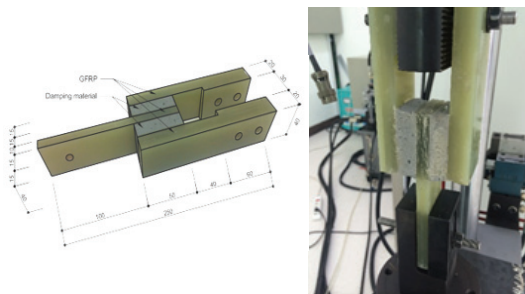


Fig. 3 Viscoelastic Urethane Rubber Specimen for Fatigue Test

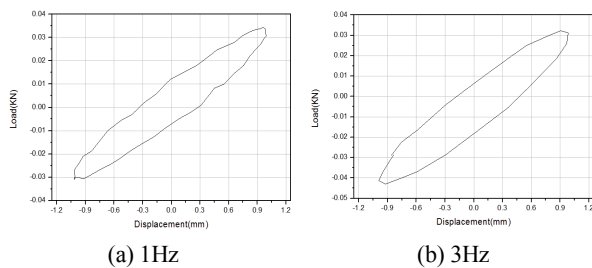


Fig. 4 Energy Dissipation Capacity of Viscoelastic Urethane Rubber

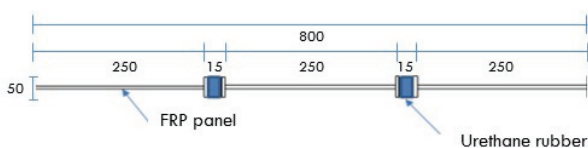


Fig. 5 Sectional geometry of viscoelastic damper

조물로 제작하였다. 슬래브의 휨변형이 일어나지 않으므로써 전단변형이 발생하도록 제작하였으며, 기둥은 30mm×30mm×3mm의 L형 앵글을, 보는 40mm×40mm×3mm의 L형 앵글로 제작하였다.

댐퍼의 설치를 위해 1층 슬래브에는 800mm×200mm×5mm, 2층 슬래브에는 800mm×100mm×5mm의 강관을 맞댐 용접을 실시하여 부착 시켰다. 1층 강관에는 시험체의 진동 간 점탄성 댐퍼의 기능적 거동을 위해 세로방향 120mm의 볼트구멍을 뚫었으며 2층 강관에도 댐퍼의 부착을 위해 볼트구멍을 뚫었다.

기둥과 슬래브의 접합부에는 직경 6mm의 고장력 볼트를 이용하여 체결하였으며 시험체와 진동대의 부착을 위해 설치한 하부 Plate와 기둥 부재의 접합은 8mm의 고장력 볼트로 접합하였으며 전체적인 시편의 모습은 Figs. 8과 9에 나타내었다.

본 연구에서 설계한 강골조와 댐퍼의 설치모습은 Fig. 10과 같다. 시험체의 진동대 실험 간 발생하는 동적 응답을 측정하기위해 각 층에 가속도계, 변위계를 설치하였으며 강골조 시험체 자체의 변형을 측정하기 위해 변형이 많이 발생할 것이라 예상되는 6개의 지점에 StrainGage를 부착하였으며 그 위치는 Fig. 11에 나타내었다.

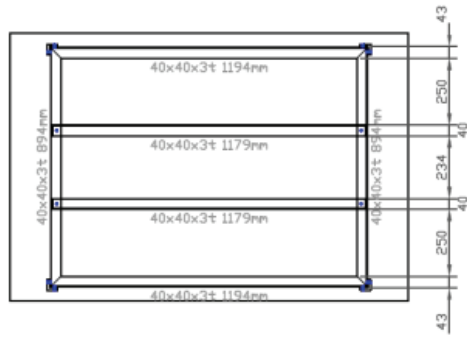


Fig. 8 Floor Plan of Steel-frame Specimen

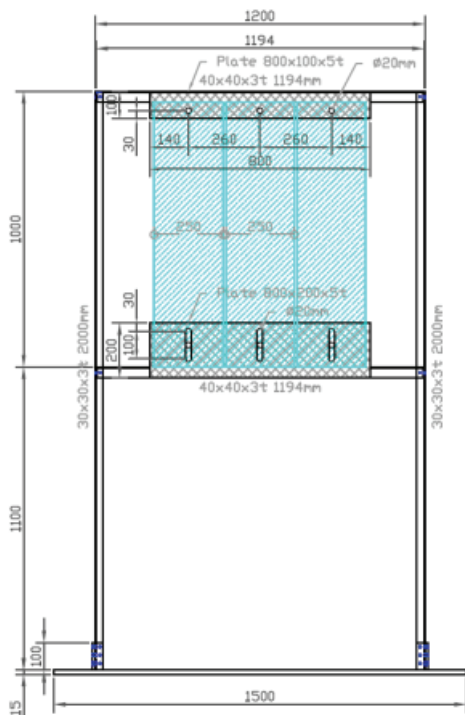


Fig. 9 Front View of Steel-frame Specimen

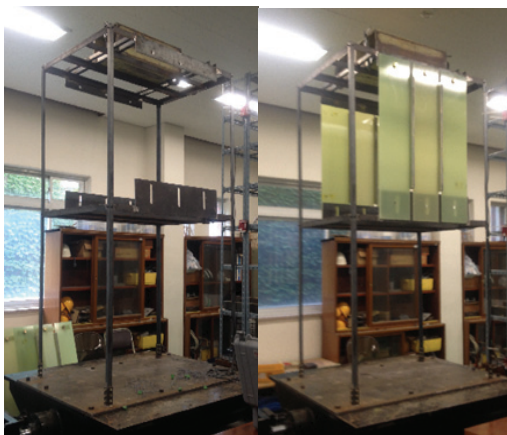


Fig. 10 Sep up View of Steel-frame Specimen for Shaking Table Test

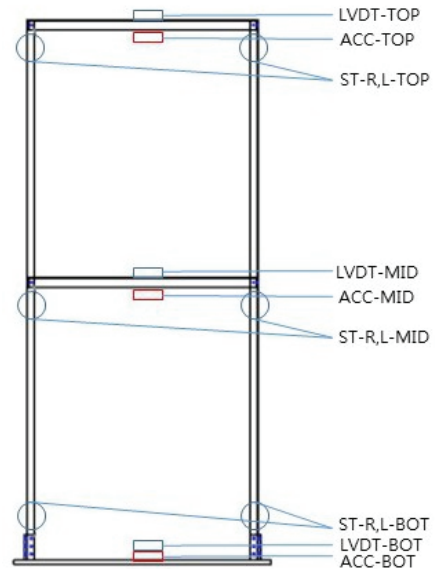


Fig. 11 Instrumentation Locations

### 3. 실험 결과

#### 3.1 백색파 실험

본 실험에 사용된 강골조 시험체의 고유진동수를 확인하기 위해 백색파 실험을 수행하였다. 점탄성 댐퍼의 설치에 따른 실험 결과를 확인하기 위해 댐퍼가 설치되어 있지 않는 시험체에 댐퍼의 질량과 같은 26kg의 추를 추가설치 하였다.

백색파 실험 결과, 댐퍼가 설치되어 있지 않은 시험체의 경우 고유진동수는 1.90Hz, 댐퍼가 설치되어 있는 시험체는 1.95Hz로 댐퍼를 설치한 후 고유진동수 증가를 확인였고, 동일한 질량에서의 고유진동수 증가로 인해 강성증가를 예상할 수 있었고, 대수감소법을 이용하여 구조물의 감쇠비를 구한 결과 0.5%의 감쇠비 증가를 확인하였다. 그 결과는 table 2에 나타내었다.

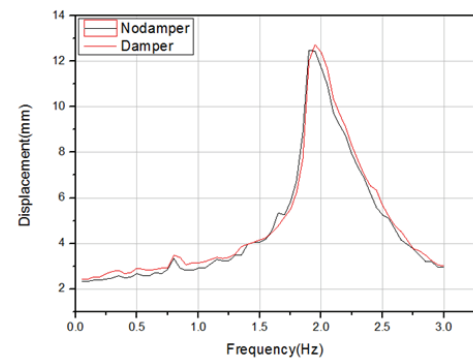


Fig. 12 Displacement Response Spectrum

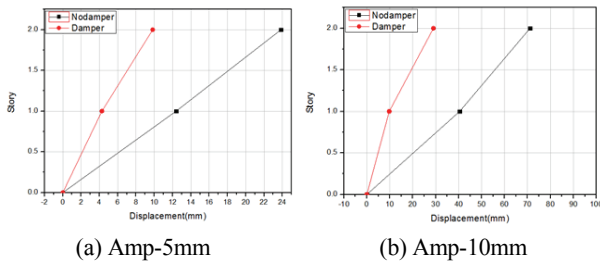
**Table 2. Result of White Noise Test**

	Nodamper	Damper
Mass(kg)	100+26	100
Natural frequency(Hz)	1.90	1.95
Damping Ratio(%)	1.03	1.54

### 3.2 진동대 실험

점탄성 댐퍼의 성능을 평가하기 위해 백색과 실험을 통하여 측정된 2층 구조물의 동적 특성 및 점탄성 댐퍼의 감쇠값을 바탕으로 하여, 추가적인 진동실험을 실시하였다. 진동대의 가진 진폭을 5mm, 10mm로 달리하여 가진 하였으며, 각층의 변위, 가속도, 변형률을 측정하였고 점탄성 댐퍼의 설치 전, 후의 실험결과를 비교하였다.

Fig. 13에서 보여주는 그래프는 점탄성 댐퍼 구조물에 발생한 변위 제어 효과를 자세히 파악하기 위해 각 층에 설치한 LVDT를 이용하여 측정된 각 층의 최대 변위를 나타낸 것이며, 점탄성 댐퍼의 설치에 따른 거동을 확인하기 위해 그 값을 비교하였다. amp-5mm일 때 점탄성 댐퍼를 설치함으로써 최상층의 최대변위는 약 59%, 1층은 약 65% 감소하였으며 amp-10mm일 때 59%, 75% 각각 감소한 것을 확인하였다. 자세한 결과는 table 3에 나타내었다.

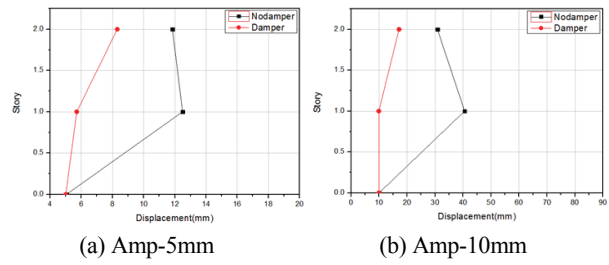


**Fig. 13 Maximum Displacement**

**Table 3. Result of maximum displacement for each story**

Amp(mm)	Floor	Nodamper	Damper
5	1	12.400	4.280
	2	23.860	9.824
10	1	40.450	9.750
	2	71.090	29.00

Fig. 14는 각층의 최대 층간변위를 나타낸 것이다. 점탄성 댐퍼를 설치함으로써 amp-5mm일 때 2층은 약 30%, 1층은 55% 감소하였으며, amp-10mm일 때 2층은 44%, 1층은 75% 각각 감소한 것을 확인할 수 있었다. 점탄성 댐퍼에 따른 최대변위, 층간변위차를 비교한 결과 점탄성 댐퍼가 구조물의 각 층에 발생하는 최대변위를 감소시키고 1층에 집중되어 발생하던 변위를 감소시킴으로써 효과적으로 변위를 제어하는



**Fig. 14 Relative Inter-story Displacement**

**Table 4. Result of Relative Story Displacement for Each Story**

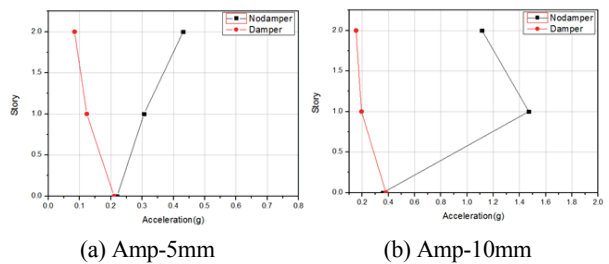
Amp(mm)	Floor	Nodamper	Damper
5	1	12.490	5.710
	2	11.843	8.310
10	1	40.550	9.890
	2	30.830	17.110

것을 확인하였다.

Fig. 15은 각 점탄성 댐퍼의 설치에 따른 구조물의 동적응답을 파악하기 위해 설치한 가속도계를 이용하여 각층의 최대 가속도를 나타낸 것이며, Fig. 16은 실험 중 시간에 따른 구조물 최상층의 가속도 변화를 나타낸 것이다.

amp-5mm일 때 2층은 80%, 1층은 60%감소하였으며 amp-10mm일 때 2층은 86.3%, 1층은 86.6% 감소하였다. amp-5mm는 최상층으로 갈수록 가속도가 증가하며, amp-10mm은 1층의 가속도가 최상층보다 더 큰 양상을 보였지만 댐퍼설치 이후 상층으로 갈수록 가속도가 감소하는 모습을 확인하였으며, 점탄성 댐퍼를 설치함으로써 구조물의 응답을 효과적으로 제어할 수 있는 것으로 사료된다.

Figs. 17과 18은 진동실험 중 항복이 예상되는 기둥의 6개 지점에 설치한 StrainGage를 통해 변형률을 측정하여 최대 변형률을 나타낸 것이다. 기둥에 발생한 변형률을 비교한 결과 진폭이 다른 두 가지 실험에서 모두 점탄성 댐퍼를 설치하지 않은 강골조 구조물의 경우 우측기둥에 많은 변형이 발생한 것을 확인할 수 있었고, 댐퍼를 설치함으로써 우측에 집중되던 변



**Fig. 15 Maximum Acceleration**

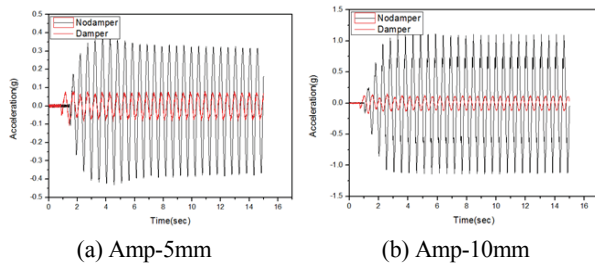


Fig. 16 Acceleration Response of Top of Specimen

Table 5. Maximum Acceleration for Each Story

Amp(mm)	Floor	Nodamper(g)	Damper(g)
5	0	0.22	0.21
	1	0.31	0.12
	2	0.43	0.08
10	0	0.358	0.36
	1	1.42	0.19
	2	1.11	0.15

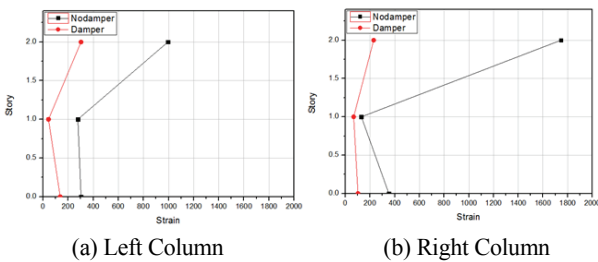


Fig. 17 Maximum Strain of Amp-5mm

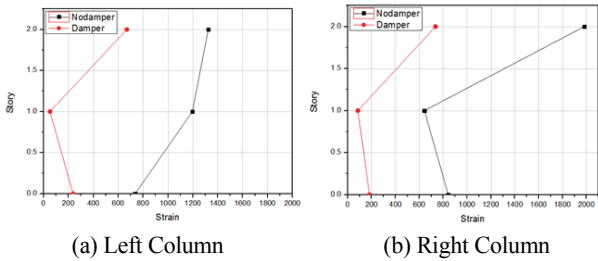


Fig. 18 Maximum Strain of Amp-10mm

형을 전체적으로 고르게 발생하도록 하여 기둥의 변형을 효과적으로 감소시킬 수 있었다.

#### 4. 결론

지진으로 인한 강구조물에 발생하는 변위와 진동을 제어하기 위해 점탄성 댐퍼를 개발, 제작하였다. 점탄

성 댐퍼의 에너지 소산효과가 뛰어나도록, 그 재료를 선정하고 거동 시스템을 개발하였다. 개발된 점탄성 댐퍼의 효과를 평가하기 위해 진동대 실험을 실시하였다. 실험 결과, 각 층에 발생한 층간변위차를 효과적으로 감소시켰으며, 각 층에 발생하는 최대변위가 최대 75.0%, 가속도가 최대 86.6% 감소한 것을 확인하였고, 이로 인해 개발된 점탄성 댐퍼가 구조물에 발생하는 진동을 효과적으로 제어하는 것을 확인할 수 있었다.

#### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설교통기술촉진연구사업의 연구비지원(과제번호 : 11첨단도시C10)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

Aiken, I. D., Nims, D. K., Whittaker, A. S., and Kelly, J. M. (1993), "Testing of Passive Energy Dissipation Systems.", *Earthquake spectra*, Vol. 9, No. 3, pp. 355-370.

Aref, A. J., and Jung, W. Y. (2003), "Energy-dissipating polymer matrix composite-infill wall system for seismic retrofitting." *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No. 4, pp. 440-448.

Hong, S. I. (2003), Efficient Dynamic Analysis of Multistory Building Structures with Viscoelastic Dampers, *Doctor Thesis*, Department of Architecture, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea. (in korea).

Hwang, S. K. (2012), A Study on Changes of Dynamic Characteristics of Structures at Various Acceleration Level Using a Shaking Table, *Master Thesis*, Department of Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea. (in Korea).

Kim, J. K., and Kwon, Y. J. (2001), "Shaking Table Test of a Structure with Added Viscoelastic Dampers.", *Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 5, No. 4, pp. 197-204. (in Korea).

Miyamoto, H., Gilani, A. S., Wada, A., and Ariyaratana, C. (2010), "Limit states and failure mechanisms of viscous dampers and the implications for large earthquakes." *Earthquake engineering and structural dynamics*, Vol. 39, No. 11, pp. 1279-1297.

- Park, S. K. (2010), "Estimate of Aseismatic Performance of Laminated Rubber Bearing Through Shaking Table Tests.", *The Korea Society for Railway*, Vol. 13, No. 4, pp440~446. (in Korea).
- Samali, B., and Kwok, K. C. S. (1995), "Use of Viscoelastic Dampers in reducing wind-and earthquake-induced motion of building structures.", *Engineering Structures*, Vol.17 No.9, pp 639~654.
- Shin, M. G. (2009), A Study on the Effective Seismic Upgrade of Multi-span Continuous Bridges Using Viscous Fluid Dampers, *Mater Thesis*, Department of Civil Engineering, Yonsei Universty, Seoul, Korea. (in Korea).
- Son, H. Y., Seo, H. S., Kwon, M. H., Jung, W. Y., and Kim, S. H. (2015), "Evaluation of the Energy Dissipation Capacity of Viscoelastic Material." *Conference on Korean Society of Civil Engineering*, pp. 2-3. (in Korea).
- Uang, C. M., and Bertero, V. V. (1988), "Use of Energy as a Design Criterion in Earthquake-Resistant Design.", *Earthquake Engineering Research Center, Report N0. UCB/EERC-88/18, University of California, Berkeley*.
- Zhang, R. H., Soong, T. T., and Mahmoodi, P. (1989), "Siesmic Response of Steel Frame Structures with Addid Viscoelastic Damper.", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 18, No. 3, pp. 389-396.