

가력하중을 통한 CST30제진댐퍼시스템의 구조성능 평가

Structural Performance Evaluation of VES Damper System subjected to Cyclic Loadings(CST30)

김대훈* 이동규** 이기학***
DaeHun Kim DongKyu Lee Kihak Lee

Abstract

The performance enhancement of various structural building systems from natural hazards has become an increasingly important issue in engineering field. In this paper, visco-elastic(VE) CST30 damping systems were tested under cyclic loadings to evaluate their performance in terms of ductility and energy dissipation. Main test variables are relative shear stiffness, rate of loading frequency, and thickness of specimens to evaluate the seismic capacity based on the performance criteria. This experiment was performed using a total of 12 specimens, subjected to cyclic loadings up to a shear deformation of 500%. All the CST30 dampers provided a ductile and stable hysteretic behavior when subjected to the demands of large shear stiffness and different loading frequencies. The test results showed that the CST30 dampers are an effective damping systems to enhance the buildings performance for remodeling and retrofit of buildings.

Keywords : CST30, damper, Visco-elastic, Ductility, Energy dissipation

1. 서론

최근 일본의 동북부 지진, 중국의 쓰촨성 및 중남미의 아이티 등 외국의 지진피해 사례에 볼 수 있듯이, 지진재해의 발생은 국민의 인명과 재산에 막대한 피해를 가져오는 국가적 재난이며, 이러한 재해를 적절한 기술개발을 통하여 미연에 방지하는 것이 매우 중요한 사실임을 경험하였다.^{3),4)}

지금까지의 강도설계법에서는 횡력저항시스템을 구성하는 부재에서 지진력 발생시 구조물의 변형과 일정부분의 손상을 수반하는 소성변화를 예측하고 있어 지진발생 후 중요 부재의 손상을 가져올 수 있게되고 이는 건축물의 사용중단과 보수/보강에 따른 경제적 손실을 수반하게 된다.¹⁾ 또한 최근에 국가 정책적으로 지진하중의 강화에 따라 횡력저항부

재의 크기의 증가와 시공상세의 복잡함이 발생하게 되고 이는 건축비용의 증가와 건축공간 설계에도 많은 제한을 가져오고 있다.²⁾

이러한 점을 극복하기 위해 특정부재에서 집중적으로 지진에너지의 소산을 가져올 수 있는 제진시스템의 연구가 이루어지고 있으며 이의 적용은 (1) 설계 지진력의 감소와 구조부재의 절감을 통한 평면계획의 유연성, (2)전체 공사물량의 감소를 통한 경제성, (3)지진에 대한 효과적인 손상제어 및 보수/보강의 용이성을 확보할 수 있다.^{8),9)}

향후 내진설계에 대한 국가적 기준 강화와 성능기반설계의 도입은 보다 다양한 제진시스템의 기술 발전을 통해 지진에 대한 수동적인 대처에서 지진하중과 지진재해 발생시의 손상과 보수/보강계획을 능동적으로 대처할 수 있는 기회를 발주처, 설계와 시공업체 등에 제시할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 제진시스템에 대한 성능평가의 일환으로 CST30제진댐퍼시스템의 성능실험과 검증을 수행하였다. 이는 국내 제진구조시스템의 실험 데이터 확립에 기여하고 내진설계 및 시공기술을 한 단계 발전시킬 것으로 기대된다.

* 학생회원, 세종대학교 건축공학과 석사과정
Dept. of Architectural Eng., Sejong University
** 정회원, 세종대학교 건축공학과 조교수
Dept. of Architectural Eng., Sejong University
*** 교신저자, 정회원, 세종대학교 건축공학과 교수
Dept. of Architectural Eng., Sejong University
Tel : 02-3408-3286 Fax : 02-3408-4331
E-mail : kihaklee@sejong.ac.kr

<Table 1> Data of CST30 damping system

No.	Part	Material	Size	Note
1	Viscoelastic rubber plates	CST30	t = 8 t = 15 ×400×400	Vulcanization bonding to the flange plates
2	Inner flange steel plate	SS400	PL-19×430×590	Bolt holes(26pi) puhched 12 places
3	Outer flange steel plate	SS400	PL-12×430×590	

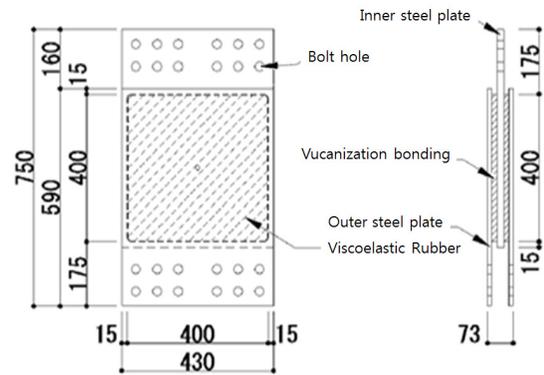
2. CST30제진댐퍼시스템 특성

CST30댐퍼는 복수개의 댐퍼유닛과 충분한 강성을 가진 부착강판을 연결한 제진간주형태로, 기존 구조체의 상하층간에 접합시키는 상태를 기본구조로 하고 있다. 따라서 댐퍼유닛 수량의 증감에 따라 필요한 만큼 요구되는 지진에너지의 요구값에 따라 감쇠력 조절이 가능하다. 또한 탄성적 반응을 미세한 하중에서부터 시작할 수 있으므로 탄성범위 내에서 진동을 가하는 풍하중에 대해서도 감쇠성능 가지고 있다.

<Fig. 1>은 CST30댐퍼의 기본 구성을 보여주고 있고, <Table 1>에서 부품상세를 보여준다. 댐퍼유닛은 서로 평행한 2장의 외부플랜지 강판과 1장의 내부플랜지 강판 사이에 필요한 전단변형 성능에 따라 두께 15mm 또는 8mm에 대한 2개층의 점탄성체를 가황 접착하여 CST30을 구성하고 있다. 그 역학적 성상은 외부플랜지 강판과의 내부플랜지 강판에 상대적인 운동이 발생할 때 점탄성시스템에 전단변형이 발생하고 이력거동을 통해 주어진 외부 운동에너지를 소산하는 것이다.

CST30댐퍼장치 부분에는 사각형 모양의 점탄성체(고감쇠 고무)를 사용하고 있다. 지진에너지의 영향으로 변형한 고무가 원래대로 돌아가려고 할 때, 내부에 마찰이 생기는데 이것이 변환손실이 되어 운동에너지를 열에너지로 변환한다. 이러한 변환 손실의 특성이 보다 큰 재료가 고감쇠 고무이다. 전단변형을 통해 이력을 수반하는 저항력을 발휘하여 운동 에너지를 흡수한다. 여기서 중요한 것은 효율적으로 지진하중이나 풍하중에 의한 운동/진동 에너지를 흡수하기 위해서는 상하층의 지진진하중이나 풍하중에 손상 없이 점탄성댐퍼 부분에서 모두 흡수하여 안정적으로 소산할 수 있어야 한다.

따라서 설치강판은 CST30댐퍼에 발생하는 감쇠력에 대해서 충분한 강성을 가지고, 국부적인 좌굴을 일으키지 않는 것으로 설계해야한다. 또, 접합재는 CST30댐퍼와 기존부재 사이에서 손실 없이 발생하는 응력이나 변위를 전달할 수 있도록 결정해야 한다.



<Fig. 1> Detail of CST30 damping system

CST30제진댐퍼시스템은 두께가 얇아 시공시 미관을 해치지 않고, 벽식구조 내부나, 외부에 손쉽게 시공이 가능하다는 장점이 있다.

3. 실험체 설정 및 변위에 따른 계측

3.1 실험 계획과 하중 가력 계획

본 연구에서 CST30제진댐퍼시스템의 실험에 고려된 매개변수는 다음과 같다.

- 1) 하중에 대한 전단변형과 그에 따른 강성 변화
- 2) 적용하는 하중속도 (주파수)와 관련된 감쇠력
- 3) 고감쇠 고무의 두께에 따른 에너지 감쇠 성능 평가(t=8mm, 15mm)

CST30제진댐퍼의 설계 역량을 평가하고 검증하기 위해 수평변위가 발생할 때의 횡력 전단변형이

고려되었다. 제원에서 두께가 8mm와 15mm의 CST30에 대해서 허용전단변형이 300% 그리고 극한전단변형이 400%로 명시되어 있다. 따라서 허용전단변형과 극한전단변형에 대해서 8mm CST30에 대해서는 각각 $\pm 24\text{mm}$ 와 $\pm 32\text{mm}$, 그리고 15mm CST30에 대해서는 각각 $\pm 45\text{mm}$ 와 $\pm 60\text{mm}$ 가 실험에 고려되었다. 또한 극한 변형 이후의 전단거동특성을 보기 위해서 $\pm 75\text{mm}$ 까지 각 실험체에 대해 변형이 유압액추에이터를 통해 적용되었다.

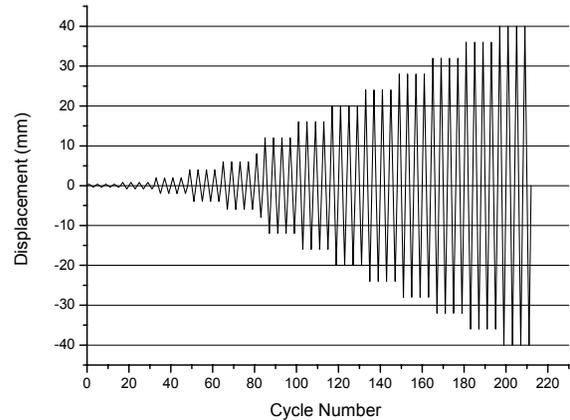
CST30제진댐퍼의 성능 중에서 중요하게 검증되어야 할 부분이 외부하중의 가력속도에 따라 에너지 소산능력이 얼마만큼 안정성있게 소산할 수 있는지의 검증이다. 이러한 성능실험은 하중을 가력하는 액추에이터의 속도를 달리함으로써 이에 대한 성능을 파악할 수 있다. 본 실험에서는 1초 동안에 액추에이터의 가력 피스톤이 몇 번 왕복하는지의 주파수 특성(Frequency)을 이용하였다. 예를 들어 액추에이터가 $\pm 16\text{mm}$ 를 왕복할 때 32mm/sec의 속도를 가하여 1회 왕복횟수를 계산하여 0.5Hz의 속도를 실험에 적용할 수 있도록 하였다. 이후 실험에서 0.20Hz, 0.30Hz, 0.33Hz, 0.50Hz, 0.67Hz의 순 주파수 특성을 하중에 고려하였다.

마지막으로 CST30의 특성에서 고감쇠고무의 두께 8mm와 15mm의 적용에 따라 가력하중에 따라 소산되는 에너지의 양을 평가, 분석하여 실험데이터를 확보함으로써 신축건물이나 보수/보강의 건물에 대한 구조설계시 주어진 요구조건에 맞게 필요한 제진댐퍼의 성능을 산정할 수 있도록 분석하였다.

본 연구에서는 가력하중을 가하기 전에 실험체 본체에 내재되어 있는 초기강성(Initial stiffness)을 제거하기 위해 초기 하중을 가하였다. 이는 보다 정확한 실험 결과를 위한 조치로 고려되었다. 각 실험체에 대하여 메인 가력하중을 적용하기 전에 $\pm 100\%$ 의 변위비와 액추에이터의 가력 속도 0.1Hz를 가지고 4사이클을 적용하였다.

<Fig. 2>는 CST30-8mm에 대한 메인 가력하중을 보여주고 있다. 두께가 8mm인 실험체에서는 횡변위 8mm는 100%의 전단변형률이 계산된다. 초기 24mm는 4사이클씩, 그 이후 28mm부터는 2사이클씩 적용되었다. 여기서 8mm 실험체의 허용전단변

형률 300%는 횡변위 24mm, 또한 극한전단변형률 400%는 횡변위 32mm에 해당된다. 이후 극한전단변형률 이후의 특성을 보기 위해 최대 40mm, 즉 500%의 횡변위까지 가력하였다. 15mm에 대해서도 같은 전단 변형률을 적용하여 가력하였다.



(Fig. 2) Loading history of CST30-8mm specimen

3.2 실험체의 종류 및 실험변수

<Table 2>와 같이 CST30-8mm와 15mm 실험체는 총 12개의 실험체가 고려되었다. 각 실험체의 이름은 Basic, S200, S300, S400, V033 및 V067로 정해졌으며 Basic은 하중이 0에서 점차 증가하여 전 하중 사이클에 대해 성능을 평가하는 가장 기본 실험체이다. 이를 통해서 반복적 하중에 대한 CST30제진댐퍼시스템의 성능을 검증할 수 있다.

S200, S300 및 S400 실험체는 변위를 매개변수로 하는 실험체이며 S는 전단변형을 의미하며 200의 숫자는 전단변형률 200%를 의미한다. 따라서 S400은 전단변형률을 400%까지 가하는 실험체로 8mm실험체는 $\pm 32\text{mm}$, 15mm실험체는 $\pm 60\text{mm}$ 를 횡변위로 하여 120번의 사이클을 가하여 CST30의 극한변형률에 대해서 평가하는 것이다.

마지막 2개의 실험체 V033과 V067은 속도를 주요 매개변수로 하는 실험체이다. 주어진 외부하중의 속도에 의해서 CST30 실험체의 감쇠 성능을 평가하는 것이다. 가력속도를 달리하여 실험체의 가진 주파수가 0.33Hz와 0.67Hz가 적용되는 외부 하중의 상대적인 속도에 따라 성능값을 평가할 수 있다.

<Table 2> CST30 test parameter

Specimen	Parameter	Displacement (mm)	Shear Deform. (%)	Stroke Velocity (mm/sec)	Drift Angle (radian)
8 - Basic	Basic	$\pm 1\%(\pm 0.08\text{mm}) \sim \pm 500\%(\pm 40\text{mm})$		0.5	
8 - S200	Displacement-based	± 16 (120-cycle)	$\gamma = 200\%$	32.0 (0.50Hz)	16/400=0.04
8 - S300		± 24 (120-cycle)	$\gamma = 300\%$	28.8 (0.30Hz)	24/400=0.06
8 - S400		± 32 (120-cycle)	$\gamma = 400\%$	25.6 (0.20Hz)	32/400=0.08
8 - V033	Velocity-based	± 16 (120-cycle)	$\gamma = 200\%$	21.1 (0.33Hz)	16/400=0.04
8 - V067		± 16 (120-cycle)	$\gamma = 200\%$	42.9 (0.67Hz)	16/400=0.04
15 - Basic	Basic	$\pm 1\%(\pm 0.15\text{mm}) \sim \pm 500\%(75\text{mm})$		0.5	
15 - S200	Displacement-based	± 30 (120-cycle)	$\gamma = 200\%$	60.0 (0.50Hz)	30/400=0.075
15 - S300		± 45 (120-cycle)	$\gamma = 300\%$	54.0 (0.30Hz)	45/400=0.113
15 - S400		± 60 (120-cycle)	$\gamma = 400\%$	48.0 (0.20Hz)	60/400=0.150
15 - V033	Velocity-based	± 30 (120-cycle)	$\gamma = 200\%$	39.6 (0.33Hz)	30/400=0.075
15 - V067		± 30 (120-cycle)	$\gamma = 200\%$	80.4 (0.67Hz)	30/400=0.075

3.3 실험체 설치 및 게이지 셋업

실험체 설치는 <Fig. 3>과 같이 CST30제진댐퍼를 상하 프레임에 볼트로 고정하고 1000kN 가력 액츄에이터는 상부 프레임에 연결되었다. 상부 프레임은 롤러로 상하부위에 고정되어 수평적으로만 미끄럼을 발생시키고 들뜸 등의 현상이 발생하지 않도록 좌우측에 고정된 롤러를 통해 억제하였다. 또한 면외로 어긋날 수 있을 가능성에 대해 면외 방향으로 추가 롤러를 고정하여 면외 비틀림을 방지하였다.

본 논문에서 수평변위와 인장 및 압축변형률과 CST30제진댐퍼 표면에 전단변형을 측정하였다. 이를 위해 2개의 LVDT가 전체 횡변위를 측정하기 위해 상부와 하부 로딩 프레임에 설치되었다. 좌우측에 수직으로 스트레인 게이지가 각각 설치되어 인장 및 압축변형률이 발생하는지 여부를 측정하였고 3축 게이지가 중앙에 x자 모양으로 설치되어 전단

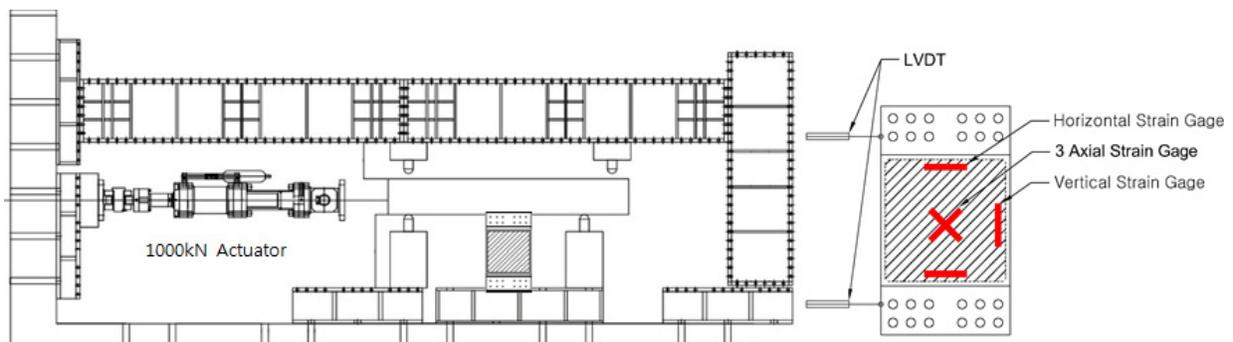
변형을 측정하였다. 또한 상부와 하부에 수평 게이지가 각각 설치되어 수평 길이방향의 변형을 측정하였다.

4. 가력하중에 대한 실험결과

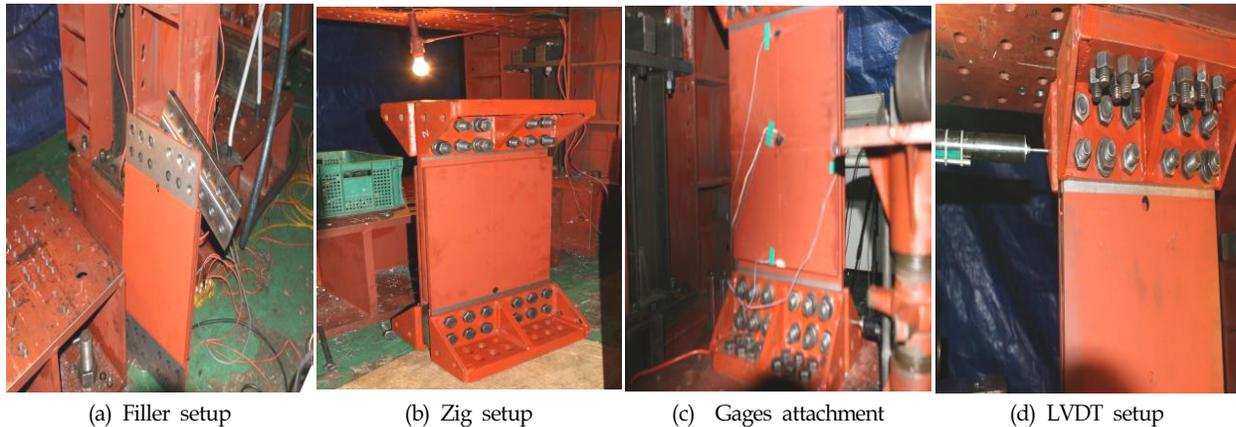
4.1 각 실험체 별 이력거동

4.1.1 CST30-8mm 이력거동

CST30-8mm, Basic 실험모델은 복수개의 댐퍼유니트와 충분한 강성을 가진 부차강판을 연결한 제진간주형태로, 기존 구조체의 상하층간에 접합시키는 상태를 기본구조로 하고 있다. <Fig. 5 (a)>에서 보면 초기 사이클에서 상대적으로 적은 강성 저하가 일어나고 그 이후 실험진행에 따라 점진적으로 강성이 비교적 일정한 비율로 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 실험을 통하여 주기하중 <Fig. 2>에



<Fig. 3> Schematic view of experiment and Gage sticking detail



<Fig. 4> Experiment detail

따라서 점진적으로 변위가 가해져 최대변위 60mm 이상이 적용되었을 때도 급격한 강도나 강성의 저감없이 안정적으로 연성거동을 통해 입력된 지진에너지를 소산하는 것을 증명하였다. CST30-8mm, S200, S300, S400 실험모델은 변수를 변위기반으로 목표로 정하고 전단 변형을 점탄성체의 두께의 200%(16mm), 300%(24mm), 400%(32mm)까지 가력하여 120회의 가력사이클을 통하여 200%, 300%, 400%의 전단변형에도 강도나 강성의 저감이 발생하는지를 확인하기 위함이다. 이를 위해 외부플랜지 강판과의 내부플랜지 강판에 상대적인 운동이 발생하는 것의 의해 점탄성체에 전단변형을 관찰하였고 이에 따른 변위와 하중의 그래프를 통해 입력된 운동에너지의 소산을 산정하였다. 가력 액츄에이터의속도 조절을 통해 0.50Hz, 0.30Hz, 0.20Hz의 감쇠력 사이클을 적용하였으며, 전단변형 200%, 300%, 400%일때의 균열이나 극부변형에 관해 관찰하였다.

CST30-8mm 실험체는 초기 사이클에서 최대강도와 강성에 도달한 이후 전단변형 200%, 300%, 400%에 해당하는 지속적인 횡변위의 정부가력을 통해 안정적으로 하중과 변위의 이력곡선을 보여주었다. 이는 120회의 반복되는 주기하중에서도 CST30댐퍼시스템이 연성적 거동을 통해 유입된 운동에너지를 안정적으로 소산하는 것을 관찰하였다. <Fig. 5 (b), (c), (d)>의 초기 사이클에서 실험의 진행에 따라 안정적인 에너지 소산량의 성능을 확인할 수 있다.

CST30-8mm, V033, V067 실험모델은 변수를 속

도기반으로 변수를 정하고 액츄에이터의 왕복 주파수 속도를 0.33Hz, 0.67Hz로 가력하였다. 변위는 정부로 $\pm 16\text{mm}$ 를 최대치로 정하고 120사이클의 가력을 수행하였다. 이는 가력하중 주파수의 변화에 따라 CST30제진시스템의 성능을 검증하기 위한 것이다. 속도기반에 대해서 8mm실험체에 대해서 0.33Hz, 0.50Hz, 0.67Hz의 변수가 고려되었다. 외부 플랜지 강판과의 내부플랜지 강판에 상대적인 횡변위를 발생시켜 점탄성체에 전단변형을 관찰하였고 이에 따른 변위와 하중의 그래프를 통해 입력된 운동에너지의 소산을 산정하였다. 0.33Hz, 0.67Hz의 감쇠력 사이클을 적용하였으며, 전단변형 200%일때의 균열이나 극부변형에 관해 관찰하였다.

주파수 가력에서도 초기 사이클에서 최대강도와 강성에 도달한 이후 전단변형 200%에 해당하는 지속적인 횡변위의 정부가력을 통해 안정적으로 하중과 변위의 이력곡선을 보여주었다. 이는 120회의 반복되는 주기하중에서도 0.33Hz, 0.67Hz의 속도제어를 통한 반복하중에서도 연성적 거동을 통해 유입된 에너지를 안정적으로 소산하는 것을 관찰하였다. <Fig. 5 (e), (f)>에서 초기 사이클에서 가력하중의 반복에 따라 안정적인 에너지소산 능력을 확인할 수 있다. 여기서 전단 변형은 점탄성체의 두께 (8mm)의 200%(16mm)까지 도달하는 연성거동을 확인할 수 있다.

4.1.2 CST30-15mm 이력거동

CST30-15mm, Basic 실험모델은 복수개의 댐퍼유니트와 충분한 강성을 가진 부착강판을 연결한 제진간주 형태로, 기존 구조체의 상하층간에 접합시키는 상태를 기본구조로 하고 있다. 댐퍼유니트는 서로 평행한 2장의 외부플랜지 강판과 1장의 내부플랜지 강판 사이에 2개층의 15mm 고감쇠고무가 가황의 공법으로 부착되어있다. 외부플랜지 강판과의 내부플랜지 강판에 상대적인 움직임이 발생하는 것에 의해 고감쇠고무계열에 전단변형을 발생시키고 주기하중에 따른 입력에너지의 감쇠성능을 평가하기 위해 실험하였다.

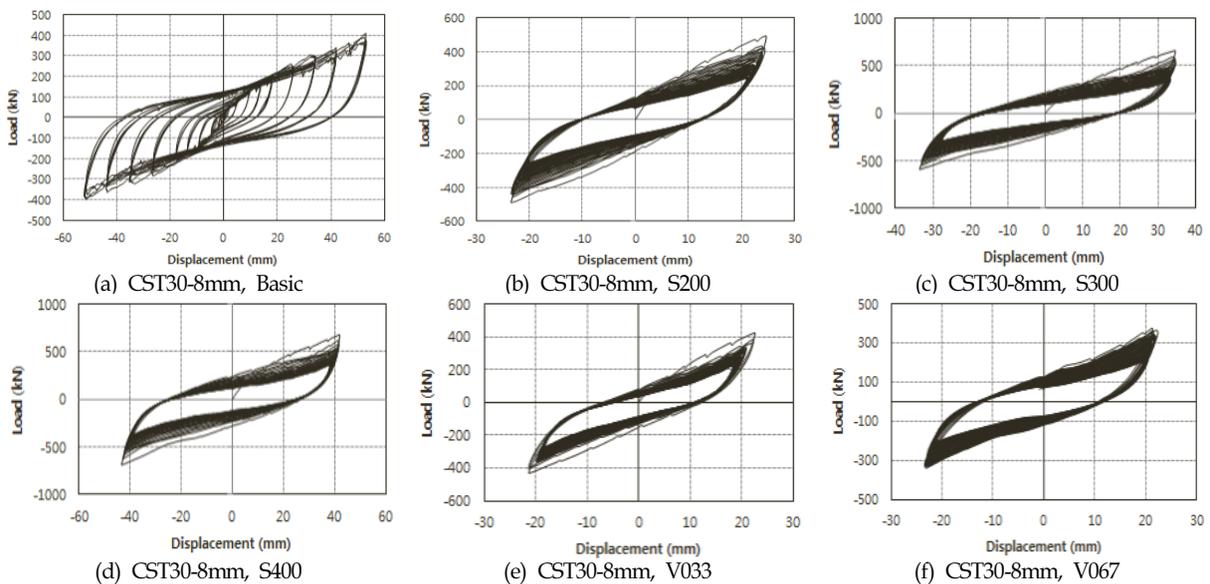
<Fig. 6 (b), (c), (d)> 실험모델은 변수를 변위기반으로 목표로 정하고 전단 변형을 점탄성체의 두께의 200%(30mm)까지 가력하여 120회의 가력사이클을 통하여 200%의 전단변형에도 후에 강도나 강성의 저감이 발생하는지를 확인하기 위함이다. 이를 위해 외부플랜지 강판과의 내부플랜지 강판에 상대적인 스침이 발생하는 것에 의해 점탄성체에 전단 변형을 관찰하였고 이에 따른 변위와 하중의 그래프를 통해 입력된 운동에너지의 소산을 산정하였다. 가력 액추에이터의 속도 조절을 통해 0.50Hz, 0.30Hz, 0.20Hz)의 감쇠력 사이클을 적용하였으며, 전단변형 200%, 300%, 400%일때의 균열이나 극부 변형에 관해 관찰하였다. 전단 변형은 점탄성체의

두께(15mm)의 200%(30mm)까지 도달하는 연성거동을 확인할 수 있다.

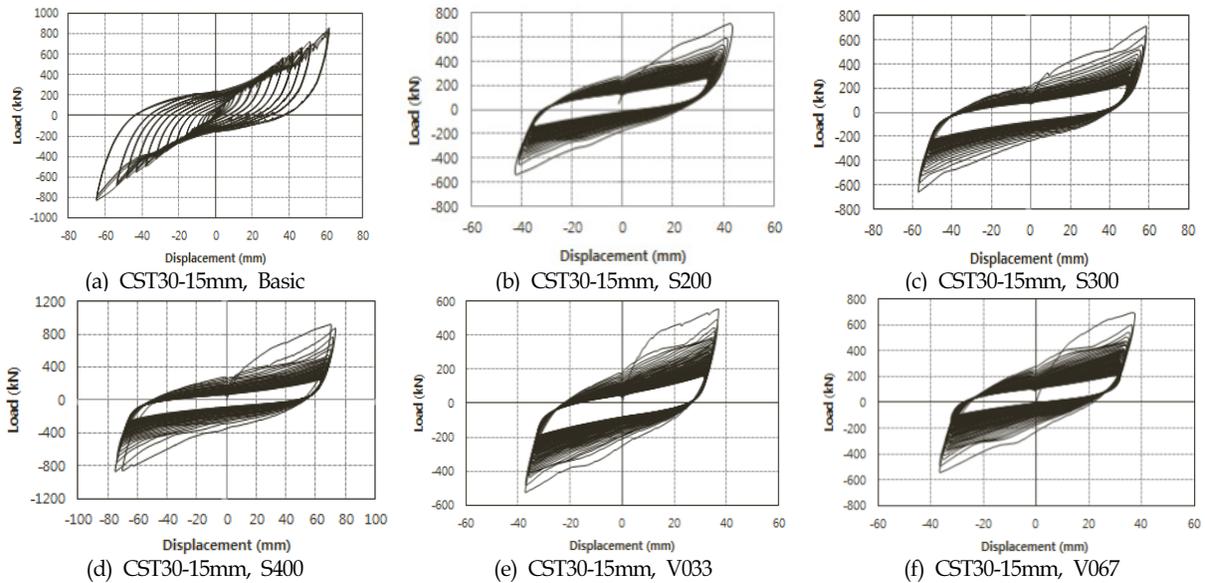
4.1.3 에너지 소산에 대한 평가

<Fig. 7>은 각각의 소산면적의 누적값을 비교한 것으로 (a)와 (b)는 각각 전단변형과 속도에 대해 비교한 것이다. S300은 S200보다 84%의 소산면적의 증가를 보여주었고, S400은 S200보다 133%의 소산면적의 증가를 보여주었다. 이로써 전단변형이 증가함에 따라 더 큰 소산면적을 보여주는 것을 알 수 있다.

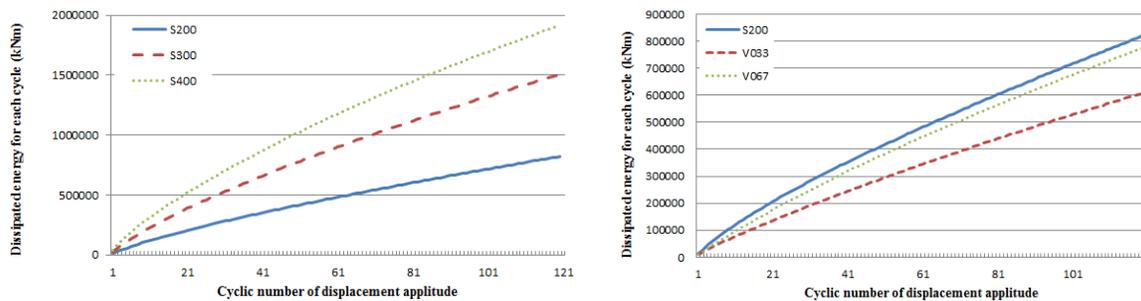
<Fig. 7>의 (b)는 가속도(Hz)에 따라 비교한 것이다. V033은 S200보다 25.78%의 감소된 소산면적을 보여주었고, V067은 5.42%의 감소된 소산면적을 보여주었다. S200은 0.50Hz, 즉 32mm/sec의 속력으로 가력하였다. V033은 S200보다 느린 가속도로 가력하였고 V067은 S200보다 빠른 가속도로 가력하였으나 에너지소산면적 측면에서 5% 이내의 감소를 보여주어 CST30댐퍼는 하중 가속도의 증가에도 급격한 에너지 소산능력의 감소가 없음을 실험에서 보여주어 제진시스템으로의 가속도의 증가에도 안정적 거동을 보여주었다. 가속도 증가함에 따라 CST30댐퍼에 가해지는 손상이 증가하므로 에너지 소산면적은 감소하게 된다.



<Fig. 5> CST30 - 8mm hysteretic curve



〈Fig. 6〉 CST30 - 15mm hysteretic curve



(a) S200, S300, S400 energy dissipation capacity comparison (b) S200, V033, V067 energy dissipation capacity comparison

〈Fig. 7〉 CST30 - 8mm energy dissipation capacity comparison

5. 결론

(1) 본 논문에서 실험한 CST30 점탄성 댐퍼의 경우 전단변형률 및 속도가 증가할수록 강성이 감소하는 경향을 보였다. 하지만 등가점성비는 변형 진폭 및 속도에 대한 의존성이 크지 않았다. 또한 전단변형률이 증가할수록 에너지 소산면적이 넓어지고, 속도가 증가할수록 급격한 에너지 소산면적의 감소는 보이지 않으므로 안정적으로 에너지 소산을 하는 것을 알 수 있다.

(2) CST30 8mm S200, S300, S400는 각각 한계 전단 변형으로서 200%, 300%, 400%에 의존하는 실험체의 강성을 알아보기 위한 것으로, 점진적 반복 가력하중을 적용한 조건인 CST30 8mm Basic 모델이 200%, 300%, 400%로 점진 변형 거동을 보인 것

과 비교한다면, 상기 3개의 모델들이 0.5Hz, 0.3Hz, 0.2Hz로 가력속도를 고려한 경우와 모두 유사한 거동을 가짐을 알 수 있다. 따라서 전단 변위제어를 한 경우에, CST30 실험체는 8mm, 15mm인 경우 모두 에너지 소산능력과 강성이 안정적인 성능을 가진다고 평가 할 수 있다.

(3) 가력 사이클을 10, 20, 30, 40으로 한 경우 CST30 8mm S300과 CST30 15mm S300 실험체의 경우에, 실제 건물이 사용성을 잃는 것은 지진발생 시 가력 사이클이 50회 전 후 임을 감안 할 때, 본 실험에서 가력 사이클을 100회이상 증대시킨 경우에도 점탄성 댐퍼의 강성 저하가 나타나지 않음을 알 수 있었으며, 이를 통하여 CST30 실험체의 안정적인 지진저항 이력을 확인할 수 있었다.

(4) 최대 강성과 변위가 높을수록 강성이 크고 에너지 흡수량이 크다는 것을 의미하는데, 각 실험체 별로 강성저하를 비교한 결과 CST30 8mm, 15mm의 실험체 모두 극한전단병형인 400%까지 도달하였을 때도 일정한 강성을 유지하였다. 또한, 연성적 거동과 일정한 강성과 강도유지는 에너지 소산능력에서도 극한변형때까지 모든 실험체가 우수한 것으로 나타났다. 이에 따라 CST30제진댐퍼시스템은 신축 및 기존 건축물의 내진 성능향상을 위한 효율적인 시스템인 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단(2011-0010384)과 국토교통과학기술진흥원(13AUDP-B066083-01)의 지원을 받아 수행된 연구이며 이에 감사를 드립니다.

References

1. Kim, D.H., Kim, J.Y., Ha, I.H., Kim, D.Y., "Introduction to the hybrid damper system using a steel and a high damping rubber", Journal of the Korean society of steel construction, Vol. 23, No. 2, 2011, PP.45-49
2. Kim D.H., Ju, Y.K., Kim, M.H., Sung, W.G., Kim, S.D., "Experimental study on the vibration control capacity of hybrid buckling-restrained braces", Journal of the Korean society of steel construction, Vol. 21, No. 1, 2009, PP. 83~91
3. YingZhou, RuiLi, and Xilin Lu, "Experimental study on Viscoelastic Dampers and Introduction to The Performance Ealuation Criterionin China", 9th International conference on Urban Earthquake Engineering, March 6-8, 2012, Tokyo Institute of Technology
4. Rob J. Smith and Michael R. Willford, "The Damped Outrigger Concept for Tall Buildings", The structural Design of Tall and Special Buildings, 2007, 16. PP. 501~517
5. James T.P.Yao, "Concept of Structural Control", Journal of the structural Divisonm American Society of Civil Engineers, 98(7), PP. 1567-1574
6. Soong, T.T. and Dargush, G.E, "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", Wiley, Chichester, UK
7. Nielsen, E.J., Lai, M.L, Soong, T.T. and Kelley, J.M., "Viscoelastic Damper Overview for Seismic and Wind Application", Proceedings of the 1th World Conference on Structural Control, 342-351
8. Lee, S.J., Park, J.S., Oh, S.H., "A study on the earthquake response characteristics of steel frames with metallic damper", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 11, No. 2, 2011, PP.119~127
9. Kim, J.H., Kim, D.H., Baek, K.H., Hybrid damper system for wind and seismic response control, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 14, No. 4, 2014

- Received : February 02, 2015
- Revised : March 09, 2015
- Accepted : March 09, 2015