

# 건축구조물의 내진성능 향상을 위한 강재댐퍼 형상 및 이력 거동

## Metallic Damper Shape and Cyclic Behavior for the Seismic Capacity Improvement of Building Structures

이 현 호<sup>1)\*</sup>

김 세 일<sup>2)</sup>

Lee, Hyun Ho

Kim, Seh Il

### Abstract

The aim of this paper is a seismic performance evaluation of metallic damper devices which are efficient in workability and installation process. For this V shape and S shape dampers is considered. The strut figures of dampers are V shape and S shape and, the research parameters are strut height and angle of the dampers. ABAQUS program is used for nonlinear finite element analysis. The analysis is performed with the hysteretic curve that has maximum displacement with 50mm and has increased progressive. As a results of evaluating the yield strength, maximum strength and energy dissipation capacity of each device, V and S shape have a good strength capacity and the devices with strut angle 60° and strut height 140 and 200mm are evaluated stable in seismic behaviors. The response of S shape is more efficient than that of V shape. In the yield strength estimation process, proposed formula can not estimate the yield strength of V and S shape dampers. Even though, the formula can not consider the variation of strut heights and strut angles. Finally the S shape damper is recommended in seismic performance than V shape damper.

**Keywords** : metallic damper, finite element analysis, hysteretic displacement curve, strut shape

## 1. 서론

최근 기상청 지진센터의 통계자료에 지진발생 빈도는 계속 증가하고 있으며, 2008년 한해에만 규모 3이상 지진이 10회, 유감 횟수 7회 등 총 46회의 지진이 발생하고 있다. 또한 안동, 유성 등 국내 내륙 지진이 지속적으로 발생하여 지진피해에 대한 대비가 절실히 필요한 실정이다. 건축구조물의 내진보강방법으로는 강도보강, 연성보강과 이들을 혼합한 보강방법 등이 있다. 이중 FRP 등을 이용한 부재의 강도보강공법이 많이 사용되나, 주로 보와 같은 수평부재에 많이 적용되고 있다. 그렇지만 수평력에 저항하기 위해서는 수직부재인 기둥에 대한 강도보강과 아울러 일정 수준의 연성을 확보할 수 있는 보강방법이 필요하다. 이에 본 연구에서는 손쉽게 수평강성을 확보할 수 있으며, 최근 사용사례가 증가하고 있는 강재댐퍼의 적용성을 평가하고자 한다. 따라서 저층 건축 구조물의 내진성능을 향상시킬 수 있는 공법 중 경제성, 설치 및 시공 그리고 보강효과가 명확한 강재 댐퍼(metallic damper)의 성능을 평가하고자 한다. 주요 연구 변수는 개발하고

자 하는 댐퍼의 형상, 에너지 소산부인 스트럿의 높이 및 각도이며, 비선형 유한요소프로그램을 사용하여 강재 댐퍼의 항복 강도 특성 및 에너지 소산능력을 평가한다.

## 2. 강재 댐퍼 개발 동향 및 FE 해석

### 2.1 강재 댐퍼

강재 댐퍼는 금속 재료의 비탄성 변형을 이용해 에너지를 소산시키는 매우 효과적인 장치이다. 1970년대 초반부터 이 장치에 대한 본격적인 연구가 수행되기 시작하였다(Kelly 등, 1972; Skinner 등 1975). 이러한 강재 댐퍼는 이력감쇠가 재료 전체에 걸쳐 고르게 항복이 발생하도록 삼각형이나 X자형 형태를 갖는 연강철판(mild steel plates)을 사용하기도 하였다. 이웃한 일본에서는 90년대 후반부터 많은 연구가 진행되었으며, 독자적인 사용보다는 다른 제진 및 면진 장치와 혼용되어 많이 사용되고 있다. 국내는 2000년부터 연구가 시작되어 현재 시공까지 되고 있으나, 매우 제한적인 환경에서 사용되고 있어,

1) 정회원, 동양대학교 교수

2) 정회원, 빛과울구조건설령 대표

\* Corresponding author : twkim31@korea.com 010-7373-1970

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2010년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

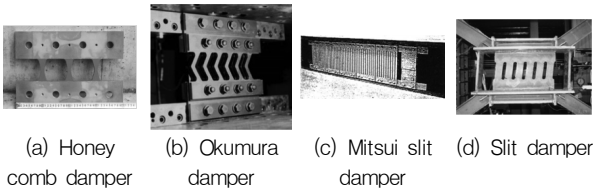
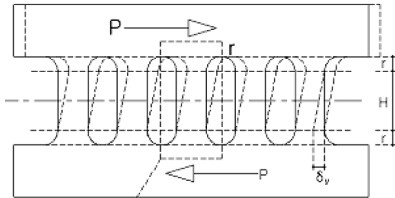
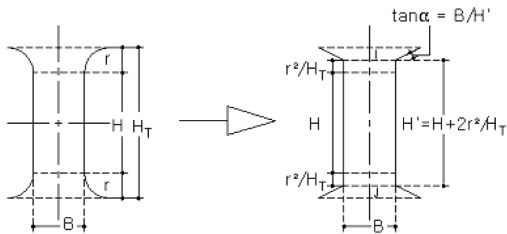


Fig. 1 Metallic damper



(a) Detail of slit damper



(b) Detail of strut

Fig. 2 Detail of I shape damper

경제적이고 포괄적인 강재 댐퍼의 개발 및 적용이 필요한 실정이다. Fig. 1에 주요 강재댐퍼의 형상을 나타내었다.

국내에서 사용되고 있는 강재 댐퍼의 상세는 Fig. 2와 같으며, 연직방향 하중은 전혀 부담하지 않고, 풍하중 및 지진하중 등과 같은 수평방향 하중에만 저항하도록 설계한다. 따라서 댐퍼 보강 골조의 중국내력이 골조의 최대 하중 이상이 되도록 설계하여 골조에 좌굴이 발생하지 않도록 강재 댐퍼 장치의 크기를 조절하여 내력을 결정한다. 댐퍼에 수평하중이 작용할 때, 댐퍼에서는 휨모멘트와 전단력이 발생한다. 따라서 댐퍼의 항복내력은 이 중 작은 값으로 결정되며, 아래 식(1), (2), (3)과 같다.

$$Q_y = n \times \min Q_{yb}, Q_{ys} \quad (1)$$

여기서,  $n$ =플레이트 1장에 포함된 댐퍼의 스트럿개수  
 $Q_{yb}$ =댐퍼의 전소성모멘트에 의한 항복내력

$$Q_{yb} = \frac{t \cdot B^2 \cdot \sigma_y}{2H'} \quad (2)$$

$Q_{ys}$ =전단력에 의한 항복내력

$$Q_{ys} = \frac{2}{3} \frac{t \cdot B \cdot \sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

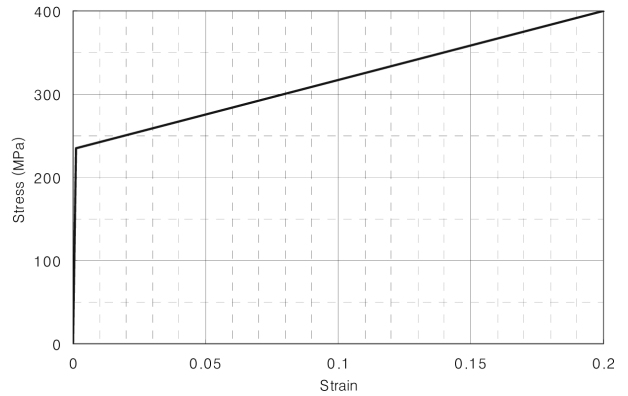


Fig. 3 Stress-strain curve of damper steel

Table 1 Material properties of damper device

Item	Characteristics
Elastic coefficient	206,000 MPa
Poisson's ratio	0.3
Yield strength	235 MPa
Tensile strength	400 MPa
Tensile strain	0.2
Steel thickness	12 mm
Finite element	Plane Stress

$t$ =댐퍼의 두께,  $B$ =댐퍼의 폭,  $H$ : 댐퍼 높이

$$H' = H + 2 \cdot \frac{r^2}{H + 2r}$$

## 2.2 해석 및 적용성 평가

비선형 해석을 위해 본 연구에서는 ABAQUS를 사용하였으며, 재료는 Fig. 3과 같은 2선형 모델과 Table 1과 같은 특징을 갖는 강재모델을 사용하였고, 이력거동을 고려하기 위해 Kinematic 경화이론을 적용하였다. 모델의 격자크기는 댐퍼의 스트럿이 3등분 이상 나뉠 수 있도록 최대간격을 10mm로 제한하였으며, 유한요소는 CPS4R 요소를 적용하였다. 특히 경계조건은 댐퍼의 접합부가 보강대상 부재에 볼트에 의한 마찰접합으로 접합되는 것으로 고려하여 볼트연결 테두리부를 고정단으로 고려하였으며, 댐퍼의 면외방향 좌굴이 발생하지 않는 2차원 해석으로 수행하였다.

해석 변수는 기존 I형 댐퍼를 제외한 댐퍼 형상 2종류, 스트럿 높이 3종류, 스트럿 각도 3종류로 총 18개이다. Table 2에 변수를 정리하였으며, Fig. 4에 댐퍼 형상을 나타내었다. 여기서 스트럿은 수평하중을 받는 수직 형상의 철판으로써 스트럿의 수직 각도를 90°로 하여 스트럿이 꺾쇠형인 V형, 스트럿이 2번 꺾인 S형의 각도 70°, 60°, 50°를 비교변수로 하였다. 논 연구에서는 이러한 일련의 과정으로 최적 댐퍼 산정을 위한 스트럿 형상 및 각

Table 2 List of metallic damper devices(mm)

Specimen name	Damper shape	Strut height	Strut with	Strut angle	Strut thk.
V 270_30_70	V	270	30	70	12
V 200_30_70	V	200	30	70	12
V 140_30_70	V	140	30	70	12
V 270_30_60	V	270	30	60	12
V 200_30_60	V	200	30	60	12
V 140_30_60	V	140	30	60	12
V 270_30_50	V	270	30	50	12
V 200_30_50	V	200	30	50	12
V 140_30_50	V	140	30	50	12
S 270_30_70	S	270	30	70	12
S 200_30_70	S	200	30	70	12
S 140_30_70	S	140	30	70	12
S 270_30_60	S	270	30	60	12
S 200_30_60	S	200	30	60	12
S 140_30_60	S	140	30	60	12
S 270_30_50	S	270	30	50	12
S 200_30_50	S	200	30	50	12
S 140_30_50	S	140	30	50	12

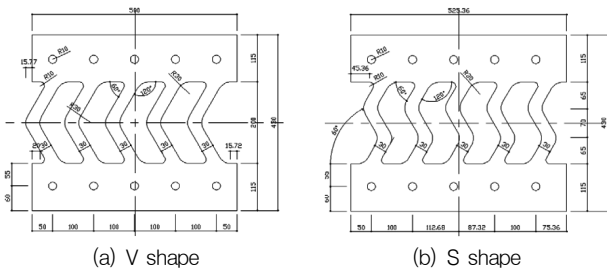


Fig. 4 Damper shapes for analysis

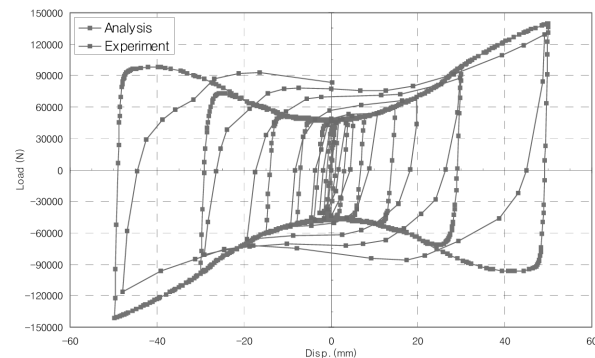


Fig. 5 Comparison of test and analysis results

도를 제시하고자 한다.

국내에서는 강재댐퍼에 대한 자세한 연구결과가 공개되지 않아, 1997년 일본에서 발표된 泰雅史 외 3인의 강재댐퍼 실험결과를 본 연구에 적용한 FE 해석결과와 같이 정리하여 Fig. 5에 나타내었다. 두 자료의 항복강도와 항복강성, 50mm 변위시 강도를 비교하여 Table 3에 나타

Table 3 Strength comparison of test and analysis results

Item	Yield stiffness (kN/mm)	Yield strength (kN)	50mm disp. strength (kN)
Test result	42	45	132
Analysisresult	49	41	153
Test/analysis	0.857	1.098	0.863

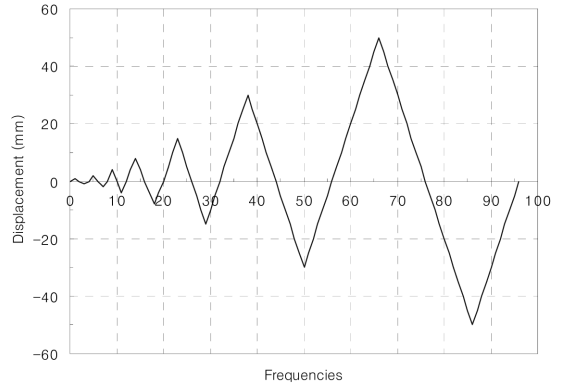


Fig. 6 Hysteretic loading curve graph

내었다.

Table 3에 의하면, 실험결과 대비 각각 항복강성은 85.7%, 항복강도는 109.8%, 50mm 변위시 강도는 86.4% 수준으로 나타나 해석결과는 실험결과와 다소 차이가 있으나, 본 연구 목적중의 하나인 강재 댐퍼의 항복강도 예측에는 적합한 것으로 평가되었다. 이 절차와 함께 Fig. 6과 같은 변위 이력으로 수평하중에 대한 댐퍼 성능에 대한 연구를 진행하였다.

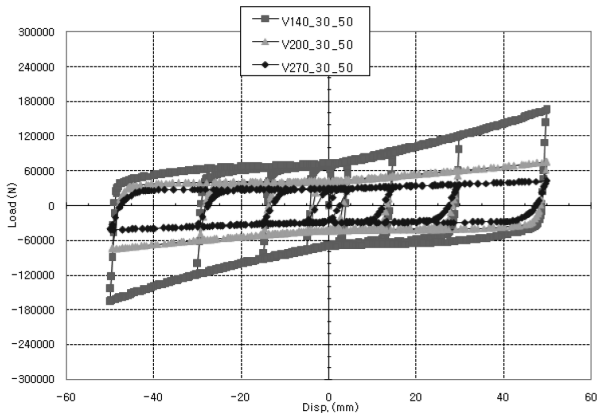
### 3. 해석 결과

#### 3.1 V형 댐퍼

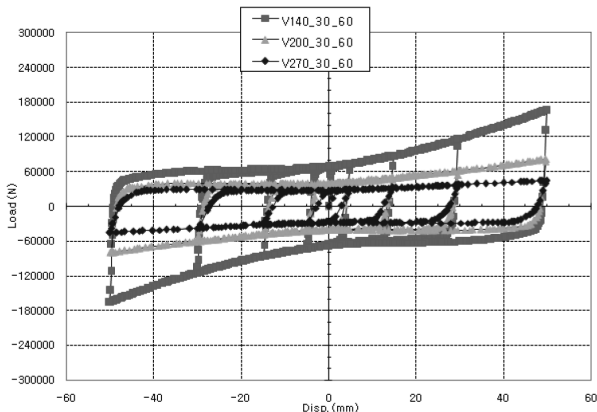
스트럿 각도에 따른 V형 댐퍼의 하중-변위 곡선을 Fig. 7에, 해석결과를 Table 4에 각각 정리하였다. 여기서, 항복강도는 하중-변위곡선의 기울기가 현저하게 변화되는 강도의 값을 기준으로 도출하였으며, 항복강성은 항복강도에 해당하는 변위로 나눈 값이다. 항복후 강성은 50mm 변위에서 나타난 강도와 항복강도의 차에서 그 구간의 변위 차로 나눈 값이다. 또한 식(2) 및 (3)에 의한 내력평가결과, 휨내력식에 의한 식(2)의 내력 산정결과가 해석결과와 유사한 것으로 평가되었다. 해석결과는 스트럿 높이가 감소할수록, 스트럿 각도가 70°에서 50°로 작아질수록 항복강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, V형 댐퍼의 응답에 스트럿 각도가 미치는 영향을 파악할 수 있었다. 스트럿 270mm인 경우, 항복강성은 댐퍼 각도 60°에서 70°로 각도 증가 시 5.4%, 50°로 각도 감소 시 1.7% 모두 증가하는 것으로 나타났다. 항복강도는 댐퍼 각도 증가 시 5.2% 감소하고, 각도 감소 시 1.7% 증가하

Table 4 Results of V shape damper

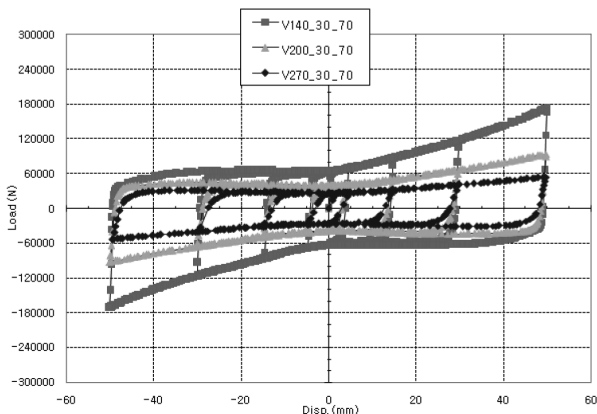
V shape damper	V270_30_70	V270_30_60	V270_30_50	V200_30_70	V200_30_60	V200_30_50	V140_30_70	V140_30_60	V140_30_50
Yield strength by flexural formula(kN)	23.8			31.9			44.9		
Yield strength by shear formula(kN)	166.3			166.3			166.3		
Yield strength(kN)	24.8	26.1	26.6	35.7	38.5	40.3	55.0	60.8	61.9
50mm displacement strength(kN)	54.4	45.2	42.7	93.8	81.9	75.8	172.3	165.7	165.4
Yield stiffness(Edi, kN/mm)	13.76	13.06	13.28	32.46	29.60	30.97	91.60	86.88	103.15
Post-yield stiffness(Eds, kN/mm)	0.62	0.40	0.34	1.19	0.89	0.73	2.38	2.13	2.10



(a) Strut angle 50°



(b) Strut angle 60°



(c) Strut angle 70°

Fig. 7 Load-displacement curve of V shape damper

는 것으로 나타났다. 항복후 강성은 댐퍼 각도 증가 시 54.5% 증가하고, 각도 감소 시 15.8% 감소하는 것으로 나타났다. 항복후 강성에 대한 항복강성의 비인 2차 강성비는 댐퍼 각도 증가 시 46.7% 증가하고, 각도 감소 시 17.2% 감소하는 것으로 나타났다. 스트럿 200mm인 경우, 항복강성은 댐퍼 각도 증가 시 9.7%, 각도 감소 시 4.6% 모두 증가하는 것으로 나타났다. 항복강도는 각도 60°에서 댐퍼 각도 증가 시 7.2% 감소하고, 각도 감소 시 4.6% 증가하는 것으로 나타났다. 항복후 강성은 댐퍼 각도 증가 시 33.3% 증가하고, 각도 감소 시 18.0% 감소하는 것으로 나타났다. 2차 강성비는 댐퍼 각도 증가 시 21.5% 증가하고, 각도 감소 시 21.7% 감소하는 것으로 나타났다. 스트럿 높이 140mm인 경우, 항복강성은 댐퍼 각도 증가 시 5.4%, 각도감소 시 18.7% 모두 증가하는 것으로 나타났다. 항복강도는 댐퍼 각도 증가 시 9.6% 감소하고, 각도 감소 시 1.8% 증가하는 것으로 나타났다. 항복후 강성은 댐퍼 각도 증가 시 11.6% 증가하고, 각도 감소 시 1.5% 감소하는 것으로 나타났다. 2차 강성비는 댐퍼 각도 증가 시 5.9% 증가하고, 각도 감소 시 17.1% 감소하는 것으로 나타났다.

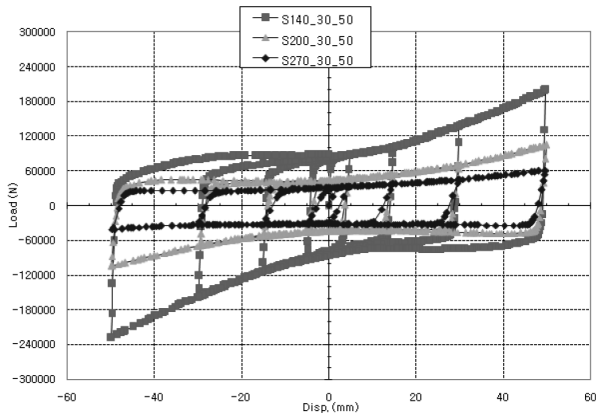
이상의 결과에서 각도별로 발생하는 각 특성치 변동범위는 항복강성은 17.0%까지 증가, 항복강도는 5.1% 증가, 항복후 강성 및 2차 강성비는 각각 57.2%, 40.9% 까지 감소하는 것으로 나타났다. 결과적으로 스트럿 각도가 작아짐에 따라 항복강도 및 항복강성은 증가하였으며, 항복 후 50mm 수평변위시 강도 및 항복후 강성비는 감소하는 경향을 나타내었다. 여기서 항복후 강도 및 항복후 강성비가 작아지는 원인은 스트럿 각도가 작아질수록 항복후 스트럿 거동이 회전 변형보다는 수평변형인 미끄러짐 변형이 많아짐에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.2 S형 댐퍼

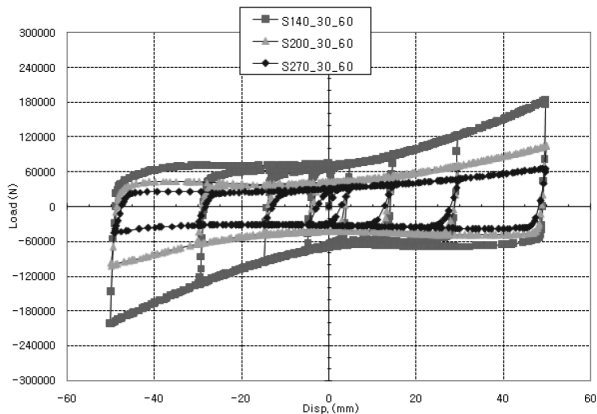
스트럿 각도에 따른 S형 댐퍼의 하중-변위 곡선을 Fig. 8에, 해석결과는 Table 5에 각각 정리하였다. 스트럿 높이가 감소할수록 항복강도가 증가함과 동시에, 스트럿 각도가 70°에서 50°로 작아짐에 따라 항복강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 스트럿 높이 270mm인 경우, 항

Table 5 Results of S shape damper

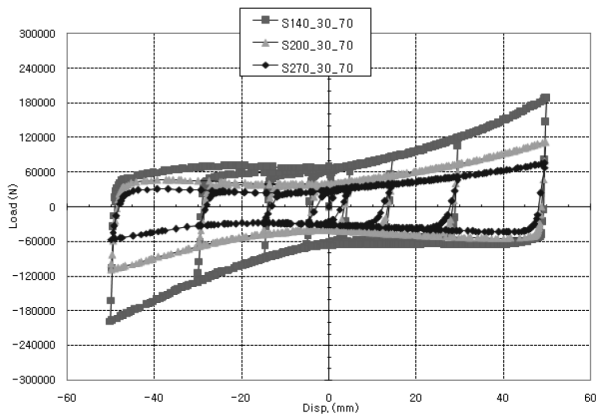
S shape damper	S270_30_70	S270_30_60	S270_30_50	S200_30_70	S200_30_60	S200_30_50	S140_30_70	S140_30_60	S140_30_50
Yield strength by flexural formula(kN)	23.8			31.9			44.9		
Yield strength by shear formula(kN)	166.3			166.3			166.3		
Yield strength(kN)	27.5	28.3	29.3	36.5	35.7	38.3	56.1	57.8	62.7
50mm displacement strength(kN)	75.3	66.5	61.3	112.55	104.67	105.15	188.32	183.39	199.87
Yield stiffness(Edi, kN/mm)	13.76	14.14	14.64	33.16	35.69	38.27	93.50	96.31	125.32
Post-yield stiffness(Eds, kN/mm)	1.00	0.80	0.67	1.56	1.41	1.37	2.68	2.54	2.77



(a) Strut angle 50°



(b) Strut angle 60°



(c) Strut angle 70°

Fig. 8 Load-displacement curve of S shape damper

복강성은 댐퍼 각도 60°에서 70°로 증가 시 2.7% 감소, 50°로 감소 시 3.5% 증가하는 것으로 나타났다. 항복강도는 댐퍼 각도 증가 시 2.7% 감소하고, 각도 감소 시 3.5% 증가하는 것으로 나타났다. 항복후 강성은 댐퍼 각도 증가 시 24.9% 증가하고, 각도 감소 시 16.3% 감소하는 것으로 나타났다. 2차 강성비는 댐퍼각도 증가 시 28.3% 증가하고, 각도 감소 시 19.1% 감소하는 것으로 나타났다. 스트럿 높이 200mm인 경우, 항복강성은 댐퍼 각도 증가 시 7.1% 감소, 각도 감소 시 7.2% 증가하는 것으로 나타났다. 항복강도는 댐퍼 각도 증가 시 2.2%, 각도 감소 시 7.2% 모두 증가하는 것으로 나타났다. 항복 후 강성은 댐퍼 각도 증가 시 10.5% 증가하고, 각도 감소 시 3.0% 감소하는 것으로 나타났다. 2차 강성비는 댐퍼 각도 증가 시 18.9% 증가하고, 각도 감소 시 9.6% 감소하는 것으로 나타났다. 스트럿 높이 140mm인 경우, 항복강성은 댐퍼 각도 증가 시 2.9% 감소, 각도 감소 시 30.1% 증가하는 것으로 나타났다. 항복강도는 댐퍼 각도 증가 시 2.9% 감소하고, 각도 감소 시 8.4% 증가하는 것으로 나타났다. 항복후 강성은 댐퍼 각도 증가 시 5.3%, 각도 감소 시 9.0% 모두 증가하는 것으로 나타났다. 2차 강성비는 댐퍼 각도 증가 시 8.4% 증가하고, 각도 감소 시 16.2% 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 각도별로 발생되는 각 특성치 변동범위는 항복강성은 26.8% 차이로 증가, 항복강도는 5.1% 이하로 감소 후 증가, 항복후 강성 및 2차 강성비는 각각 45.0%, 22.9% 차이로 감소하고 있는 것으로 평가되었다. 결과적으로 스트럿 각도가 작아짐에 따라 항복강도 및 항복강성은 증가하였으며, 항복 후 50mm 수평변위시 강도 및 항복후 강성비는 감소하는 경향을 나타내었다. 여기서 항복후 강도 및 항복후 강성비가 작아지는 원인은 스트럿 각도가 작아질수록 항복후 스트럿 거동이 회전변형보다는 수평변형인 미끄러짐 변형이 많아짐에 기인한 것으로 판단된다. 또한 V형과 S형 댐퍼를 비교하면, 항복강도, 50mm 수평변위시 강도 및 항복강성, 항복후 강성이 S형 댐퍼가 우수한 것으로 평가되었다.

### 3.3 변형도 평가

강재댐퍼의 변형도를 대표적인 스트럿 높이 200mm,

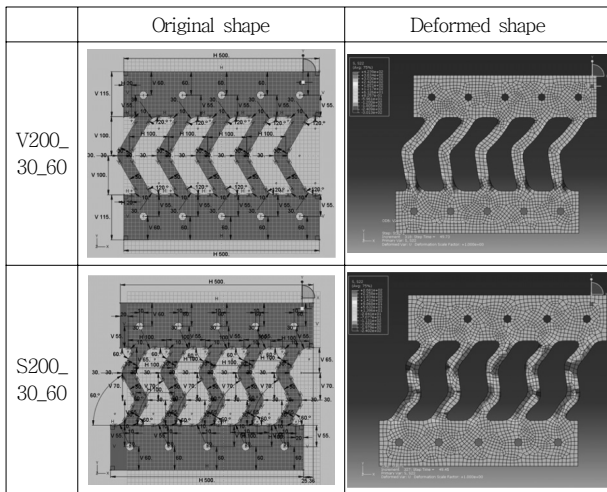


Fig. 9 Comparison of deformed shape

각도 60°를 대상으로 Fig. 9에 나타내었다. V형의 경우 하부 지점에 소성힌지가 생겨 에너지를 소산시키는 거동을 확인할 수 있었으며, S형의 경우 스트럿 중앙부의 절곡된 2개소에 소성힌지가 발생되어 지점까지 연장됨을 확인할 수 있었다. 따라서 소성힌지의 분포를 고려할 때, S형의 에너지 소산거동이 효율적임을 확인할 수 있었다.

### 3.4 강도 특성 평가

#### 3.4.1 항복 강도

높이에 따른 항복강도를 정리한 결과, V형, S형 중 V형 70° 각도를 갖는 감쇠장치를 제외한 모든 감쇠장치가 설계식보다 크게 높은 강도를 보유한 것으로 나타났다. 특히, S형 50° 각도의 감쇠장치는 매우 높은 항복강도를 갖는 것으로 나타났다. 스트럿 높이에 따른 항복강도를 Fig. 10과 같이 분석한 결과, 감쇠장치 스트럿 높이가 낮아질수록 항복강도가 큰 비율로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 감쇠장치의 각도가 줄어들수록 V형은 항복강도가 모두 증가하였으나, 식(2)의 휨강도 설계식과는 매우 상이한 거동을 나타내고 있다. 또한 S형의 경우 각도가 줄어들수록 항복강도는 모두 증가하고 있으나, 스트럿 각도 변화에 대한 거동이 매우 상이함을 확인할 수 있었다. 즉, 각도에 따른 응답특성의 변화가 있음을 확인할 수 있었다. 특히 각도 70° 스트럿의 항복강도변화는 다른 2개에 비해 현격하게 불규칙한 변화를 보여 줌으로써 70° 각도의 변수가 S형에 적절하지 않다는 것을 나타내주고 있다. 결과적으로 식(2)와 같은 항복강도 설계식 특성과 각도 특성을 검토한 결과, V형 및 S형의 스트럿 각도 60°의 강재 댐퍼가 각각의 형태에서 가장 안정적인 거동을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 분석을 토대로 V형, S형 댐퍼의 스트럿 각도는 60°로 선정하는 것이 감쇠장치의 거동에 효율적이고 안정적인 것으로 판단할 수 있다. 특히 휨설

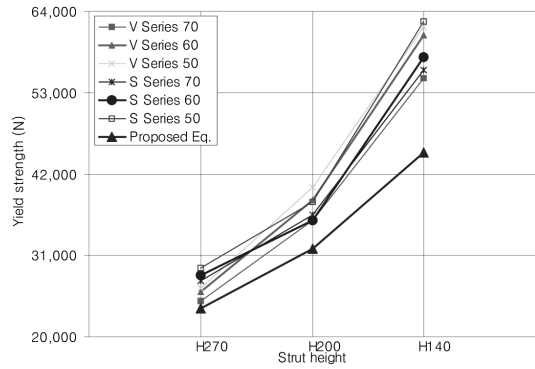


Fig. 10 Yield strength comparison by damper shape and strut angle

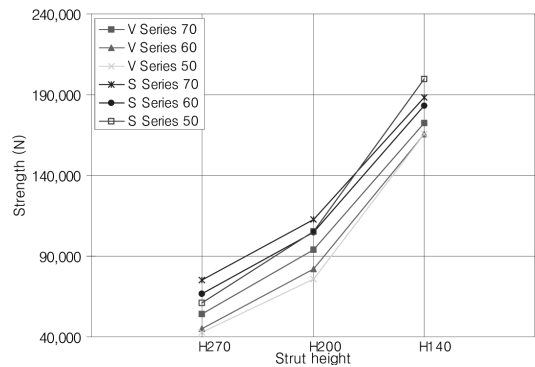


Fig. 11 50mm displacement strength comparison by damper shape and strut angle

계에 대한 소성이론을 적용한 식(2)의 설계식과 유사성을 고려할 경우 S형 60° 각도의 장치가 적절하다고 판단된다.

#### 3.4.2 최대 강도

Fig. 11에 나타낸 수평변위 50mm시의 최대강도를 분석한 결과, S형 50° 각도의 최대강도가 가장 큰 것으로 평가되었다. 스트럿의 각도를 기준으로 V형보다 S형의 최대강도가 큰 것으로 나타나, 스트럿이 2중 절곡된 S형이 우수한 강도특성을 보유한 것으로 판단된다. 스트럿 높이가 270mm에서 200mm, 140mm로 변경됨에 따라 최대강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 140mm의 강도증진이 우수한 것으로 나타났다. 전반적으로 S형 댐퍼 및 스트럿 높이 200mm, 140mm가 강도특성이 우수한 것으로 평가되었다.

## 4. 에너지 특성 평가

### 4.1 V형 댐퍼

동일 스트럿 높이에 대한 V형 댐퍼의 누적 에너지 소산 면적을 Fig. 12에 나타내었다. 분석결과, 높이별로 각도가 작아짐에 따라 총 에너지소산 면적이 미소하게 증가하

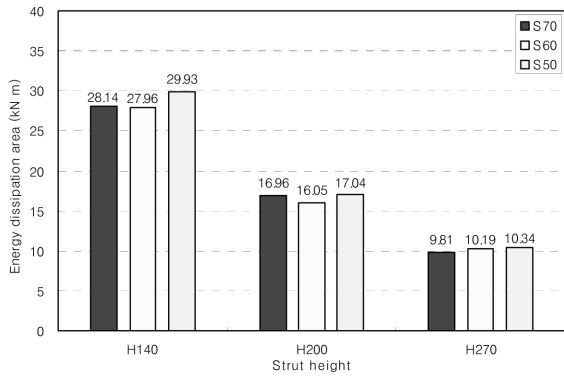


Fig.12 Accumulated energy dissipation area of V shape damper

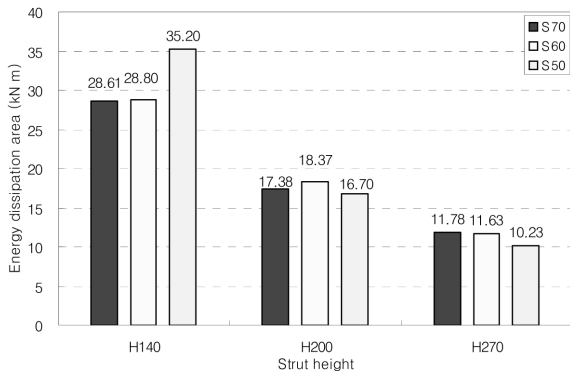


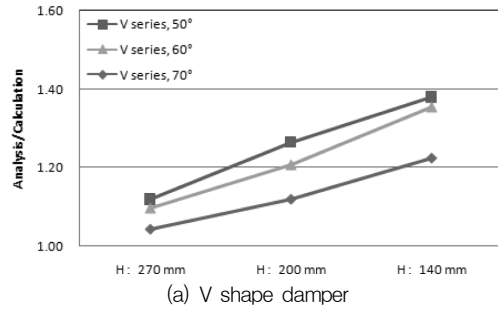
Fig. 13 Accumulated energy dissipation area of S shape damper

는 것으로 평가되었으며, 스트럿 높이 140mm, 각도 50°인 경우의 에너지 능력이 가장 우수한 것으로 평가되었다. 전체적으로 스트럿 높이가 낮아질수록 에너지 소산능력이 우수한 것으로 평가되었으며, 각 높이별 스트럿 각도에 따른 에너지소산능력의 차이는 크게 발생되지 않는 것으로 나타났다.

#### 4.2 S형 댐퍼

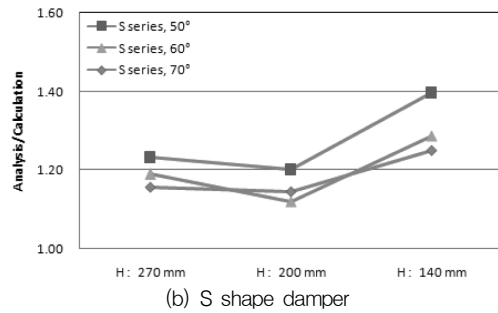
Fig. 13에 동일 스트럿 높이에 대한 S형 댐퍼의 누적 에너지 소산면적을 나타내었다. 분석결과, S형 댐퍼는 스트럿 높이 140 mm, 각도 50°에서 큰 에너지 소산능력이 보유되는 것으로 나타났다. 스트럿 높이가 낮아질수록 에너지 소산능력이 증진되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 스트럿 높이 140mm, 200m 일때, 각도가 70°에서 60°로 변할 때 에너지능력 증진이 우수한 것으로 평가되었으며, 스트럿 높이 270mm 경우는 각도 변화에 따른 에너지능력 변화가 미비하였다. 전반적으로 에너지 소산능력은 V형 보다 동일한 높이와 각도를 기준할 때 높게 나타났으며, 이는 S형 댐퍼 소성 변형부가 Fig. 9와 같이 V형 보다 다양함에 기인한 것으로 판단된다. 결과적으로 V형 보다 S형 강제댐퍼의 에너지 능력 증진이 우수한 것으로 평가되었다.

#### V series



(a) V shape damper

#### S series



(b) S shape damper

Fig. 14 Evaluation of yield strength formula

### 5. 내력예측식의 적용성 평가

식(1)의 강제 댐퍼 내력은 댐퍼 스트럿의 전소성모멘트에 의한 항복내력과 전단력에 의한 항복내력으로 산정하여 그 중 작은 값을 댐퍼의 항복내력으로 산정하는데, Table 4, 5에서도 알 수 있듯이 스트럿의 보유 전단내력은 매우 크게 평가되는 것을 확인할 수 있다. 강제댐퍼의 스트럿의 항복내력은 휨강도에 의해 지배받고 있는 것으로 나타나는 데, 본 연구에서 수행한 댐퍼의 형상 및 각도에 대한 적용 가능성을 평가하고자, Fig. 14와 같이 댐퍼의 형상, 스트럿 높이, 각도 별로 정리하였다. 여기서 적용한 기존의 내력 예측식은 스트럿의 각도를 고려하지 못하는 단점이 있다. 이에 의하면 V형의 경우 스트럿 높이 270mm인 경우의 내력식 예측이 해석결과와 유사한 것으로 평가되었으며, S형의 경우 내력식보다 해석결과에 의한 항복강도가 크게 평가되었다. 전반적으로 스트럿 높이에 있어서는 V형의 경우 스트럿 높이가 작아짐에 따라 예측식보다 해석결과가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, S형의 경우 높이 200mm를 기준으로 춤이 작아지는 경우 급격히 내력이 증가하는 양상을 보이고 있다. 이러한 경향은 스트럿 높이가 낮아지고, 각도가 줄어들수록 댐퍼의 전단강도 기여도가 증가하고 있는 것으로 판단할 수 있으며, S형의 경우 스트럿 높이가 200mm에서 내력이 최소가 되는 것은 전단강도의 기여도가 최소가 되는 부분으로 판단되며, 춤이 더 작아지는 경우 급격히 전단강도

---

가 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

전반적인 강재댐퍼의 항복 내력 평가결과, 기존 내력식이 스트럿 높이 변화 및 각도 변화를 적절히 반영하지 못하는 것으로 평가되었으며, 향후 이에 대한 보완이 필요한 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 구조물의 내진보강에 필요한 강재댐퍼를 개발하기 위하여 댐퍼 형상 등을 주요변수로 한 FE 해석을 수행한 결과, 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1) V형 및 S형의 스트럿 각도 및 높이에 대한 강도 평가결과, S형이 V형보다 우수한 것으로 평가되었다. 또한 에너지 소산능력 평가 결과, S형의 스트럿 각도 60° 및 높이 140, 200 mm의 성능이 안정적인 것으로 평가되었다.

2) 강도 및 에너지 소산능력 종합적으로 평가한 결과, V형 댐퍼보다 S형 강재댐퍼가 우수한 것으로 평가되었으며, 향후 이를 적용하기 위한 실험 등이 필요한 것으로 판단된다.

3) 기존 소성이론에 의한 휨 및 전단의 항복강도 산정결과, 강재댐퍼의 항복강도는 휨내력에 지배되는 것으로 판단되었으나, 본 연구에 적용한 스트럿 높이 및 각도 변화를 적절히 반영하지 못하는 것으로 평가되어, 향후 적절한 내력 평가식의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2009년 국토해양부 도시철도표준화 3단계 연구개발 사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 대한건축학회, 건축구조설계기준(KBC 2005), 기문당, 2005.
2. 박지형 외 3인, “강재 이력댐퍼의 특성과 댐퍼적용효과 평가방법에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제26권, 1호, 2006, pp.33-36.
3. 오상훈, “강재댐퍼를 이용한 제진구조의 성능 및 내진설계법”, 한국면진제진협회 기술강습회 자료집, 2006, pp.11-35.
4. 오상훈 외 4인, “탄소성 이력댐퍼를 부착한 기둥-보 접합부의 이력거동”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제25권, 1호, 2005년, pp.635-638.
5. 이현호, “지진기록 사용에 따른 고층 면진건물의 동적 응답”, 한국콘크리트학회, Vol. 10, No. 5, 2008, pp.643-651.
6. 泰雅史 외 3인, “極低降伏点鋼用いたエネルギー吸収ダンパーに関する研究(その1 基本特性)”, 日本建築學會大會學術講演概要集, 1997, pp.853-854.
7. T. T. Soong, G. F. Dargush, Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering, John Wiley & Sons, 1997.

(접수일자 : 2010년 1월 11일)  
(심사완료일자 : 2010년 2월 4일)

---

## 요 지

본 논문에서는 기존 건축물의 내진성능을 향상시키기 위해 시공성과 설치 비용적인 측면에서 상대적으로 우수한 강재댐퍼를 대상으로 기존 개발된 장치와 새로 개발된 형상의 장치에 대한 평가를 해석적으로 수행하였다. 해석결과는 강도 및 에너지 소산능력으로 평가하였으며, 제안된 내력 산정식의 적용을 아울러 평가하였다. 연구대상 댐퍼의 스트럿 형상은 V형, S형이며, 댐퍼의 스트럿 높이와 각도를 주요 변수로 한 후 ABAQUS를 이용하여 유한요소 해석하였다. 해석은 최대변위를 50mm로 하고 점진적인 이력변위곡선을 적용하여 수행하였다. 항복강도, 최대강도, 에너지 소산능력 평가결과, V형 및 S형 모두 우수한 성능을 보유한 것으로 평가되었으며, 또한 스트럿 각도 60° 및 높이 140, 200 mm의 성능이 안정적인 것으로 평가되었다. 전체적으로는 S형의 응답이 V형보다 안정적인 것으로 평가되어, S형 강재댐퍼의 적용성이 V형보다 유리한 것으로 평가되었다.

**핵심 용어** : 강재댐퍼, 유한요소해석, 이력변위곡선, 스트럿형상