

# 셀프-센터링 마찰 댐퍼의 이력특성 및 복원 특성에 관한 실험적 연구

오상훈<sup>1</sup> · 박재한<sup>2</sup> · 윤성환<sup>3</sup> · 한석민<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>교수, 부산대학교, 건축공학과, <sup>2</sup>박사과정, 부산대학교, 건축공학과, <sup>3</sup>교수, 부산대학교, 건축학과, <sup>4</sup>석사과정, 부산대학교, 건축공학과

## Experimental Study on the Hysteretic and Restoring Force Characteristics of Self-Centering Friction Dampers

Oh, Sang Hoon<sup>1</sup>, Park, Jae Han<sup>2</sup>, Yoon, Seong Hwan<sup>3</sup>, Han, Seok Min<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Architecture Engineering, Pusan University, Busan, 46241, Korea

<sup>2</sup>Ph.D Candidate, Dept. of Architecture Engineering, Pusan University, Busan, 46241, Korea

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Architecture, Pusan University, Busan, 46241, Korea

<sup>4</sup>Graduate student, Dept. of Architecture Engineering, Pusan University, Busan, 46241, Korea

**Abstract** - Existing friction dampers suffer from the issue of not being able to self-centering after an earthquake, leading to residual deformation and the need for additional repairs and reinforcement. To address this problem, a self-centering friction damper with an inclined angle was proposed. Through performance experiments, the hysteretic behavior and restoring force characteristics were analyzed based on factors such as inclination angle, friction coefficient, and steel grade. Localized galling occurred on the friction surfaces using SS275 steel. In contrast, heat-treated SM45C showed minimal wear, while STD11 exhibited no damage. Additionally, dampers with an inclination angle of 15° or more exhibited flag-shaped hysteresis, confirming their self-centering restoration characteristics.

**Keywords** - Self-centering, Friction damper, Restoring force properties, Hysteresis characteristics

### 1. 서론

제진 구조는 건축물의 진동을 감쇠시키는 원리로서 특수한 댐퍼의 설치를 통해 에너지를 흡수 및 소산시켜 진동을 제어함으로써 주요 부재의 손상을 막으며, 댐퍼의 교체만으로 구조 부재를 재사용할 수 있고, 물량을 절감할 수 있어 경제적이다<sup>[1]</sup>. 마찰 댐퍼는 수동형 제진장치로 변위 의존형 장치이다. 접촉하는 두 마찰면에 상대 변위가 발생하여 미끄러짐에 의해 발생하는 마찰력 발생으로 건물의 진동에너지를 열에너지로 흡수하는 댐퍼이다<sup>[2]</sup>.

기존의 마찰 댐퍼는 마찰접합부에 도입되는 볼트의

조임 장력의 조절을 통해 외부에서 전달되는 하중을 제어할 수 있으며, 간단한 구조와 비교적 적은 설치비용으로 많은 구조물에 적용되고 있다<sup>[3]</sup>. 하지만 지진동의 발생 이후 스스로 복원하는 특성이 없고 그에 따라 잔류변형의 문제점이 발생할 수 있으며<sup>[4]</sup>, 추가적인 보수 및 보강이 불가피하다. 이 문제를 해결하고자 다양한 연구들이 진행되었다. 형상기억합금의 초탄성거동을 통해 복원성을 지닌 스마트 댐퍼<sup>[5]</sup>, 자력마찰을 통해 에너지를 소산하고 고무스프링의 기압축을 통한 복원력을 지닌 스마트 댐퍼<sup>[6]</sup> 등이 개발되었다. 본 연구에서 제안한 장치는 마찰 면의 경사각을 부여하여 스스로 원점으로 회귀할 수 있는 복원성을 도입하였고, 잔류변형의 문제점을 보완하고자 하였다.

장치는 경사각과 마찰계수의 관계에 따라 상이한 복원 특성이 나타나게 된다. 본 연구에서는 성능 실험을 통해 장치의 경사각과 마찰계수의 관계에 따른 이력특성 및 복원 특성을 분석하고, 최적의 경사각, 마찰계수를 찾고자 하며, 마찰 면으로 적합한 강종을 결정하기 위하여 강종에 따른 이력의 일정성, 내마모성 및 내구

Note.-Discussion open until August 31, 2025. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on December 31, 2024; revised on February 5, 2025; approved on February 5, 2025.

Copyright © 2025 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-51-510-7608 Fax. +82-51-514-2230

E-mail. [tjrals1324@naver.com](mailto:tjrals1324@naver.com)

성을 평가하고자 한다.

## 2. 셀프-센터링 마찰 댐퍼

### 2.1 장치 개요

Fig. 1에는 셀프-센터링 마찰 댐퍼의 이미지를 나타내었으며, Table 1에는 각 부품의 개요를 나타냈다. 셀프-센터링 마찰 댐퍼는 기존의 마찰 댐퍼와 달리 경사각( $\theta$ )을 지닌다. 이를 통해 복원력을 생성한다. 하지만 마찰계수와 관계에 따라 복원능력이 상실할 수 있다. 최대 정지마찰계수는 경사각의  $\tan\theta$ 와 마찰계수( $\mu$ )가 동일할 때이며, 이의 경우 장치가 스스로 복원할 수 없으며, 장치가 거동하기 직전의 마찰계수라고 할 수 있다.  $\tan\theta > \mu$  관계에 따르게 될 경우 정지되어 있던 장치가 복원할 때 스스로 원점으로 회귀하게 된다. 이에 따라 변위 발생 이후의 장치에 발생할 수 있는 잔류변형의 문제점을 해결할 수 있다. Mid Slider와 양옆의

Side Slider의 상대 변위로 인해 생기는 마찰을 통해 에너지를 소산 시키며, Slider들의 경사각과 마찰계수의 관계에 따라 이력특성 및 복원력 특성이 상이하게 나타나게 된다. 스프링은 압축하중의 요소이며, 스프링의 용량에 따라 압축하중이 결정된다. 본 장치에 사용된 스프링의 강성은 536 N/mm이며, Screw Bolt를 통해 스프링을 고정하며, 선 압축량을 조절하였다. 장치의 변위 발생 시 수평력으로 인해 장치에 발생하는 횡력을 저항하기 위해 Guide Pin을 설치하였으며, Guide Pin이 Ball Retainer 속에서 축 방향으로 거동하며, 횡력을 부담하게 된다. 이를 통해 스프링의 경우 횡력을 받지 않게 되며, 축 방향으로 원활히 거동할 수 있게끔 하였다. Displacement Control Plate는 스프링 하중으로 인해 발생되는 처짐 방지 목적으로 설계되었으며, 본래의 장치는 옆면 전체로 구성되지만 본 실험에서는 장치의 거동을 확인하기 위해 적절한 폭으로 구성하였다. Slider를 제외한 모든 부품은 재사용하였다.

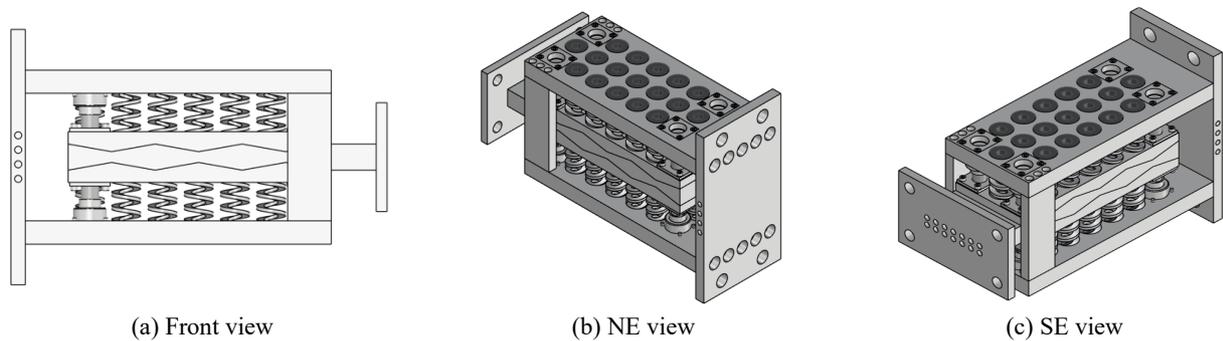


Fig. 1. Self-centering friction damper image

Table 1. Device components

Item No.	Title	Quantity	Component image
1	Screw bolt	34	
2	Compressive spring	34	
3	Zig plate_20t	1	
4	Side slider	2	
5	Mid slider	1	
6	Guide pin	8	
7	Ball retainer	8	
8	Zig plate_15t	1	
9	Displacement control plate	2	

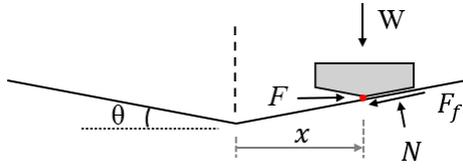


Fig. 2. Device free body diagram

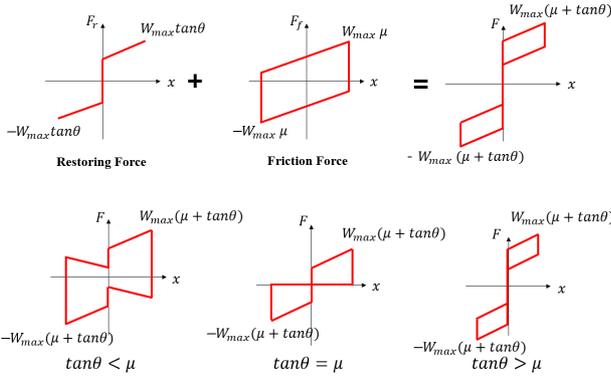


Fig. 3. Hysteresis and restoration characteristics

2.2 장치의 이력특성 및 복원 특성

Fig. 2에는 장치의 수평 변위 발생 시 장치의 자유물체도를 나타내었으며, 수평 변위 발생 시의 수평력을 식 (1)<sup>[7]</sup>에 나타냈다. Fig. 3에는 셀프-센터링 마찰 댐퍼의 이력특성 및 복원 특성을 나타내었다. 비선형적인 복원력과 마찰력으로 구성되며, 깃발형의 이력특성을 가지게 된다<sup>[8]</sup>. 또한 수평 변위 발생 시 스프링의 추가적인 수축에 따라 추가적인 하중이 발생하며 이력에서 2차 강성이 발생하게 된다. 복원 특성은 경사각과 마찰계수의 관계에 따라 상이하게 나타나는데,  $\tan\theta < \mu$ 의 경우 음수의 복원력이 발생하며,  $\tan\theta = \mu$ 의 경우에는

복원력이 0으로 수렴하게 된다. 이 두 경우에는 스스로 원점으로 회귀할 수 있는 능력이 상실하게 되며, 그에 따라 잔류변형의 문제점이 발생할 수 있다. 반면,  $\tan\theta > \mu$ 의 관계를 따를 때는 셀프-센터링 능력을 보유하게 되며, 잔류변형의 문제점을 보완할 수 있다. 즉, 경사각과 마찰계수 관계의 조정을 통해 원하는 이력을 결정할 수 있다.

$$F = F_r + F_f \approx W(x)\tan\theta + W(x)\mu\text{sgn}(\dot{u}) \quad (1)$$

여기서,

- $F_r$  = 복원력
- $F_f$  = 마찰력
- $W$  = 압축하중
- $x$  = 수평 변위
- $\theta$  = 경사각
- $\mu$  = 마찰계수

3. 성능 실험

3.1 실험체

실험체 정보를 Table 2에 나타내었다. 셀프-센터링 마찰 댐퍼의 경사각, 마찰계수, 강종에 따른 이력특성 및 복원 특성을 보고자 하였다. 또한 Mid, Side Slider의 강종별 마찰력에 대한 내구성 및 내마모성을 보고자 하였다. 저탄소강의 SS275 강재의 경우 탄소 함유량이 작아 열처리 공정이 불가하며 소착 및 마모의 발생 가능

Table 2. Test subject

Test subject	Angle, $\theta$	Types of steel (Carbon content)	Heat treatment of steel
SFDS-3	3 °	SS275 (0.15%)	-
SFDS-5	5 °		
SFDS-7	7 °		
SFDS-10	10 °		
SFDM-10	10 °	SM45C (0.45%)	Nitriding heat treatment
SFDM-15	15 °		
SFDM-20	20 °		
SFDT-20	20 °	STD11 (1.4%)	Vaccum heat treatment

**SFDS-3**

Angle: 3°, 5°, 7°, 10°, 15°, 20°

Types of Steel: S : SS275, M : SM45C, T : STD11

Sloped Friction Damper

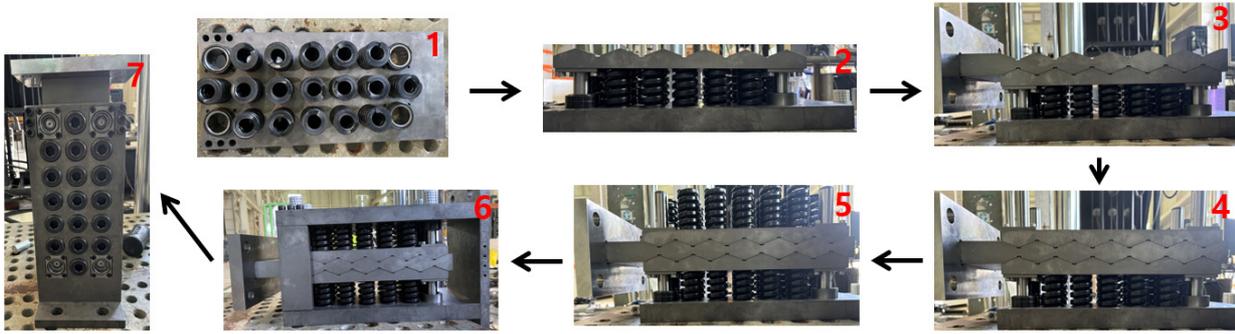


Fig. 4. Device assembly procedure

성이 큰 강재이다. 중탄소강 SM45C 강재와 고탄소강 STD11 강재의 경우 각각 질화 열처리 진공 열처리를 진행하여 경도 및 내마모성을 향상시켰다. 질화 열처리는 금속 표면에 질소를 확산시켜 표면에 질화물을 형성하며 표면 경도를 증가시키며 표면 열처리 방법이며, 진공 열처리는 밀폐된 용기 내에서 어느 압력수준까지 공기 배기 후 수행한다. 금속의 전체적인 기계적 성질과 경도를 증가시키는 열처리 방법이다. 장치의 마찰면의 가공 방법은 상다듬질로 내마모성이 필요로 하는 미끄럼마찰 면으로 구성하였다. 15° 이상의 실험체에서는 장치의 부품들을 재사용하기 위해 마찰면의 최대 변위를 ±25 mm로 설정하고 마찰면의 개수를 2배로 늘렸다.

### 3.2 실험 세팅 및 계획

Fig. 4에는 장치의 조립 순서를 나타냈으며, 각 실험체는 실험 종료 후 해체를 하여 마찰면의 상태를 확인하였고, Mid, Side Slider만을 교체 후 재조립하여 실험을 진행하였다. 장치의 세팅 후 토크렌치를 이용하여 Screw bolt를 5 mm 삽입하였으며, 스프링에 선 압축하중 91.12 kN을 주었다. 실험 세팅도를 Fig. 5에 나타내었다. 1축 방향의 반복 가력을 위해 UTM 시험기를 통해 성능 실험을 수행하였으며, 시험기의 최대용량은 1000 kN이다. KDS 41 17 00의 장치원형 시험 기준<sup>[9]</sup>을 참고하여 장치의 최대변위에 따라 가력 프로토콜을 설정하였으며, Fig. 6에 나타내었다. 가력 속도는 6 mm/sec로 진행했다. 또한 반복 가력 이후 장치의 셀프-센터링 능력을 확인하기 위하여 최대변위에서 UTM 시험기의 하중을 0으로 설정하여 원점으로 스스로 복원하는지 확인하였다.

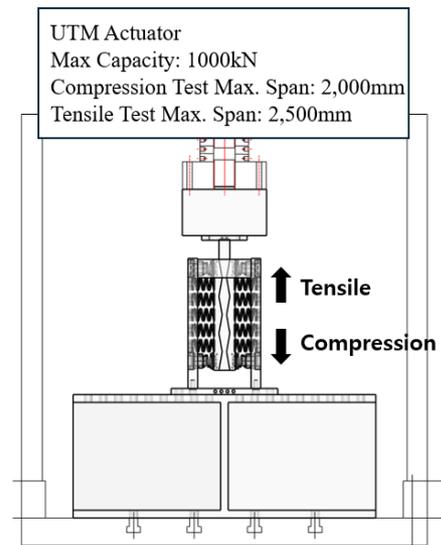


Fig. 5. Test setup

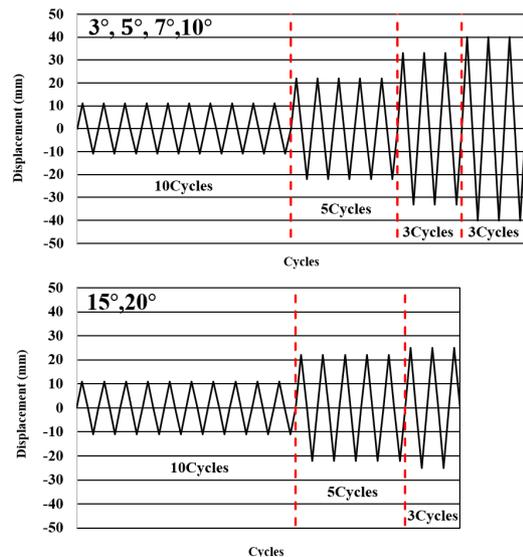


Fig. 6. Loading protocol

## 4. 실험 결과

### 4.1 이력특성

Fig. 7에는 SS275를 사용한 실험체의 이력을 나타내었다. 3°, 5°, 7°의 실험체 수평 변위 ±30 mm에서 소착

현상이 발생하였으며, 그에 따른 하중 증가와 불안정한 이력이 나타났다. 이는 소착으로 인해 마찰면이 거칠어졌으며, 마찰계수의 증가로 인한 것으로 판단된다. 10°의 실험체에서는 마찰면의 일부에만 소착이 발생하였으며, 소착 발생 직후 급격한 하중 증가가 이루어진 3°,

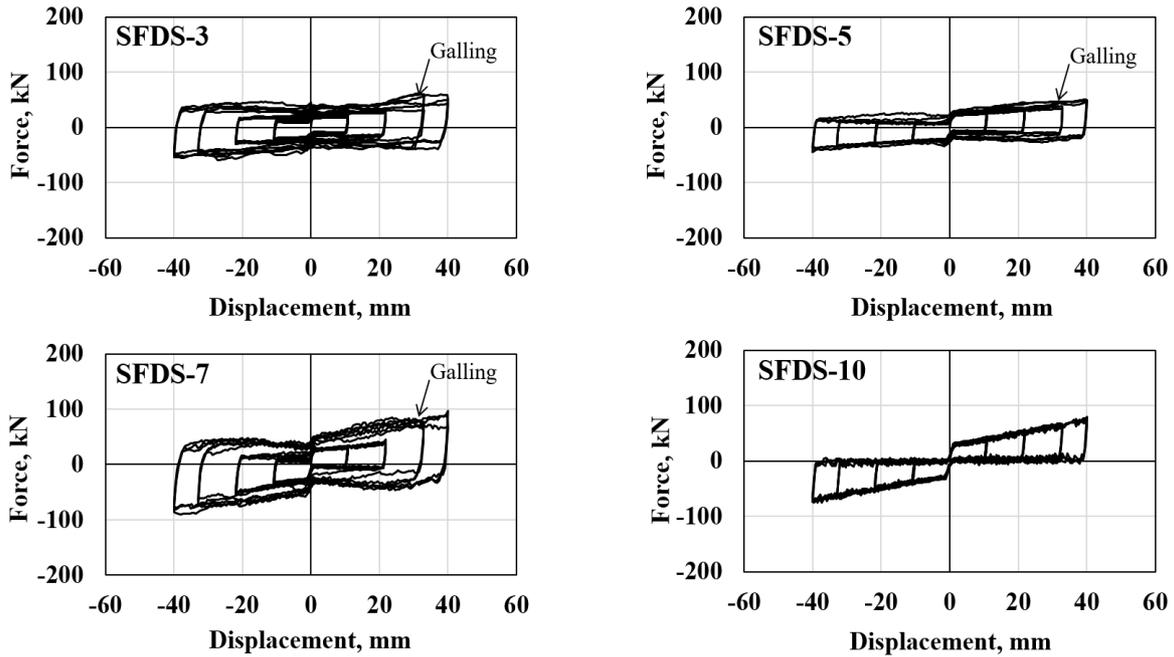


Fig. 7. SS275 Hysteric curve

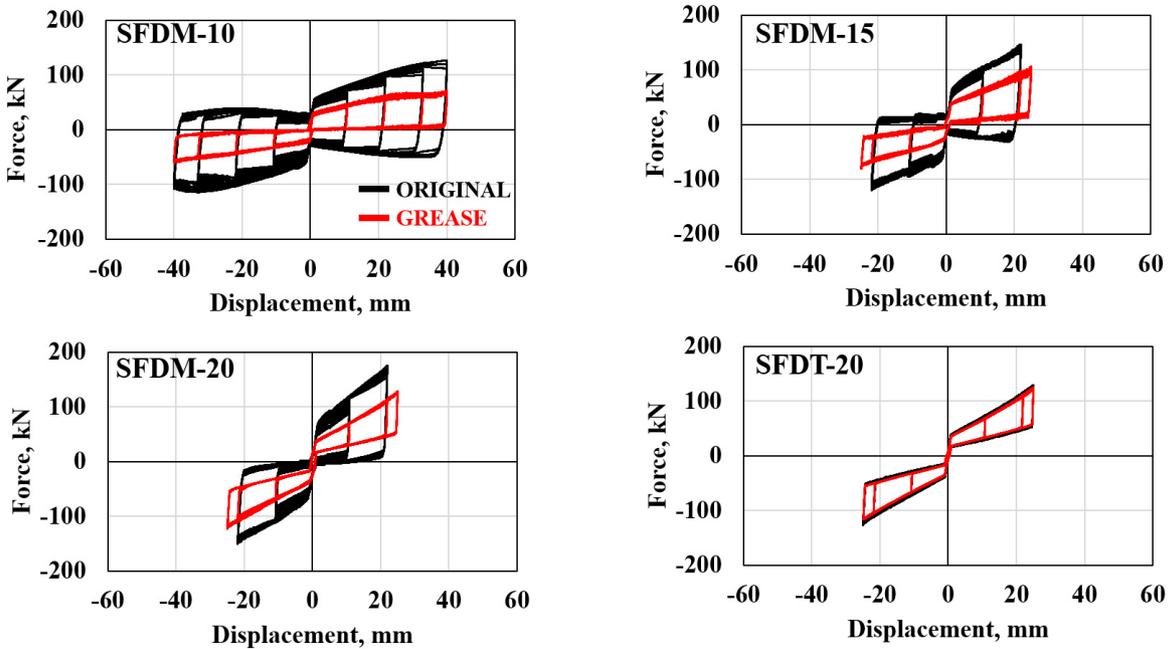


Fig. 8. SM45C, STD 11 Hysteric curve

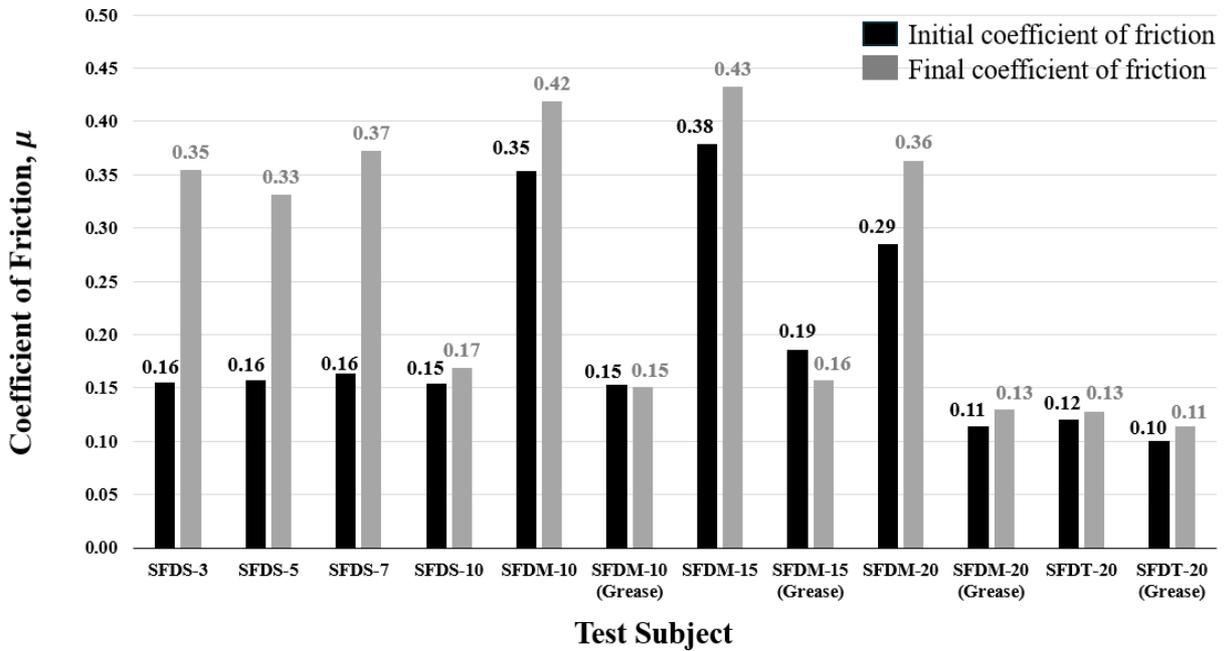


Fig. 9. Coefficient of friction

5°, 7°로 미루어 봤을 때 반복 가력을 더 진행 했다면 10°의 실험체에서도 하중 증가가 이루어졌을 것으로 판단된다. Fig. 8에는 SM45C, STD11를 사용한 실험체의 이력을 나타내었다. 마찰계수의 차이에 따른 이력의 변화를 보기 위해 한 번의 실험 진행 후 마찰면에 윤활제를 도포 하여 실험을 진행하여 각 실험체당 두 번의 실험을 진행하였다. SM45C를 사용한 실험체에서는 Cycle이 진행함에 따라 일정하게 하중이 증가하였다. 이는 질화 열처리로 인한 높은 초기 마찰계수 인해 마찰 면에 마모를 일으킨 것으로 판단 된다. 하지만 SS275 강재와 달리 소착 현상이 발생하지 않았으며, 가력 방향으로의 마모만 발생하였다. 이는 강종의 특성과 열처리에 따라 내마모성 및 내구성의 향상을 알 수 있었다. 윤활제를 도포한 실험체에서 모든 Cycle에서 동일한 이력을 보였으며, 이는 마찰계수가 감소함에 따라 마찰면의 손상이 발생하지 않았고, 안정적인 거동을 했음을 나타낸다. STD 11 강재의 실험체에서는 윤활제 도포의 여부와 관계없이 동일한 이력특성을 볼 수 있으며, 이는 가공면의 마찰계수와 윤활제를 도포한 마찰계수와 동일하다는 것을 알 수 있다.

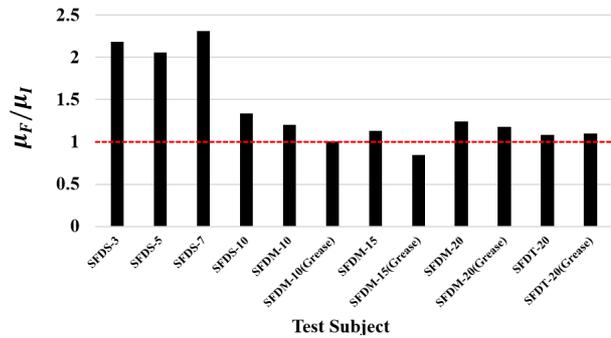


Fig. 10. Coefficient of friction increase rate

#### 4.2 마찰계수 및 복원특성

반복 가력에 따른 마찰계수의 변화를 보기 위해 양의 변위의 이력에서 수평 변위 11 mm의 첫 번째 Cycle에서의 마찰계수와 최대 수평 변위 마지막 Cycle에서의 마찰계수를 앞선 식 (1)에 스프링의 압축하중 ( $W$ )과 각 실험체의 경사각( $\theta$ )을 대입하여 마찰계수를 도출해 Fig. 9에 나타내었다. 또한 초기 마찰계수 대비 증가한 비율을 Fig. 10에 나타내었다. SFDS-3, 5, 7의 실험체에서 가장 마찰계수의 변화가 컸으며, 초기 마찰계수 대비 200% 이상 증가한 것을 알 수 있다. 이는 소착으로 인해 마찰면이 거칠어져 변화가 크게 나타난 것으로 사료 된다. 질화 열처리를 하여 초기 마찰계수가 증가한

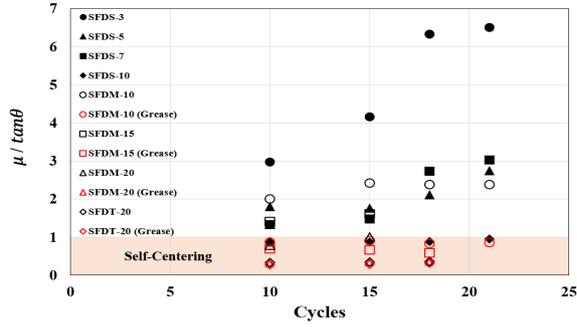


Fig. 11. Self-centering restoring properties

실험체에서는 10 %~27 %의 증가를 보였다. SS275를 사용한 실험체보다 표면 경도 및 내마모성이 강함을 알 수 있다. 윤활제를 도포한 실험체들과 STD11 강재를 사용한 실험체에서는 마찰계수의 변화가 거의 없음을 확인하였다.

각 실험체의 반복 가력 이후 장치의 셀프-센터링 능력을 Fig. 11에 나타내었다. 앞서 구한 마찰계수를 통해 Y축은  $\mu / \tan\theta$ 로 구성하였고, 1 이하일 때 셀프-센터링 능력을 갖춘다. SS275 실험체 3°, 5°, 7°에서의 복원 특성은  $\tan\theta < \mu$ 의 관계에 따라 음수의 복원력을 가진다. 10°는  $\tan\theta = \mu$ 로 0에 수렴하는 복원력을 가지며,  $\mu / \tan\theta$ 는 1에서 수렴한다. 네 실험체 모두 스스로 원점으로 회귀할 수 없음을 경사각과 마찰계수의 관계를 통해 확인하였다. 이로 인해 장치는 지진 발생 시 잔류변형의 발생 가능성이 생길 것으로 사료 된다. 윤활제를 도포한 실험체에서  $\mu / \tan\theta$ 는 1 이하의 값을 가지며, 전부 셀프-센터링 복원능력을 갖춘다. SFDT-20의 실험체 역시 이를 확인 할 수 있었다. 이는 이력에서 양의 복원력을 가짐을 통해서도 알 수 있으며, 실험을 통해서도 확인하였고, 잔류변형의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Friction surface damage and ball failure

Test subject	Grease	Ball failure	Surface damage
SFDS-3	X	O	Galling
SFDS-5	X	O	Galling
SFDS-7	X	O	Galling
SFDS-10	X	O	Partial galling
SFDM-10	X	X	Wear
	O	X	No damage
SFDM-15	X	X	Wear
	O	X	No damage
SFDM-20	X	X	Wear
	O	X	No damage
SFDT-20	X	X	No damage
	O	X	No damage

4.3 마찰면의 손상상태 및 볼 탈락

마찰면의 손상상태 및 볼 리테이너의 볼 탈락을 Fig. 12에 나타내었으며, Table 3에 정리하였다. SS275를 사용한 실험체에서만 볼의 탈락이 발생하였으며, 이는 소착으로 인한 이력이 불규칙적인 하중 증가와 불안정한 거동으로 인한 진동으로 인해 볼에 반복적인 횡력이 부담되어 탈락한 것으로 판단된다. SM45C 강재에서는 가력 방향으로의 마모가 발생하였으며, 윤활제를 도포한 실험체에서는 추가적인 마모가 발생하지 않았으며, 손상이 없었다. STD 11에서는 마찰 면의 손상이 발생하지 않았다. 손상이 없음을 따라 SFDT-20의 실험체에서는 일정한 이력이 나타났음을 알 수 있었다.



Fig. 12. Friction surface damage

## 5. 결론

본 연구에서는 기존의 마찰 댐퍼의 복원 특성으로 인한 잔류변형의 문제점을 보완하기 위하여 셀프-센터링 마찰 댐퍼를 제안하였고, 장치의 경사각, 마찰계수, 강종에 따라 이력특성, 복원 특성, 내마모성을 파악하기 위해 성능 실험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) SS275를 사용한 실험체에서는 마찰 면에 소착 현상이 발생하였으며, 마찰계수가 200 % 증가하였다. 불안정한 거동에 따라 진동이 발생하였으며, 볼의 탈락이 발생하였다. 또한 네 실험체 모두  $\tan\theta < \mu$  관계를 따랐으며, 셀프-센터링 능력을 갖추지 못하였다.
- (2) SM45C를 사용한 실험체에서는 질화 열처리를 진행하였으며, 이로 인해 초기 마찰계수가 증가함에 따라 마찰 면에 마모가 발생하고, 일정한 하중 증가를 보였다. STD 11을 사용한 실험체에서는 진공 열처리를 진행하였고, 안정적이고 일정한 이력을 보였다. 두 강재의 경우 SS275 대비 내마모성이 우수함을 확인했다.
- (3) 윤활제를 도포한 실험체에서는 사이클 진전에 따른 하중의 편차가 현저히 줄었으며,  $\tan\theta > \mu$ 에 따라 셀프-센터링 복원 특성을 가졌다.
- (4) 장치의 경사각은 15° 이상이 되어야 셀프-센터링 복원능력을 갖출 것으로 사료 되며, 경사각과 마찰계수의 적절한 관계를 설정할 필요성이 있다. 마찰 면으로서 내마모성이 우수한 SM45C, STD11 강재가 적절해 보인다.

이상에서와 같이 셀프-센터링 마찰 댐퍼의 이력특성 및 복원 특성을 성능 실험을 통해 적절한 경사각, 마찰계수, 강종에 대해 분석하였다. 또한 장치의 스프링의 강성 및 용량이 커질 경우 횡력을 부담하는 Guide Pin 이 변형이 생길 것으로 판단 되며 장치의 횡력 부담 해결 방안에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보이며, 골조에 적용했을 때의 장치의 효용성 및 구조시스템 전체의 내진성능을 파악하기 위한 추가연구가 필요할 것으로 사료 된다.

## 감사의 글

이 연구는 2023년도 과학기술정보통신부 재원으로 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과임(과제번호: RS-2023-00218875).

## 참고문헌(References)

- [1] Kim, Y.H., Kim, Y.-J., Ryu, H.-S., Choi, K.-Y., and Oh, S.-H. (2021) Damping System using Steel Rod Damper on the Variable Section, *Magazine of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.33, No.1, pp.24-28 (in Korean).
- [2] Ahn, T.S., Kim, Y.J., Hwang, J.H., and Park, J.H. (2011) The Characteristics and Research Trend of the Friction Dampers in Damped Structures, *Magazine of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.23, No.4, pp.31-36 (in Korean).
- [3] Kang, S.H., Woo, J.H., Lee, H.D., and Shin, K.J. (2022) Experimental Study on Hysteretic Behavior of High Strength Bolted Friction Damper under Cyclic Loading, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.34, No.4, pp.197-206 (in Korean).
- [4] Choi, E.S., and Choi G.C. (2016) A Smart Damper using Magnetic Friction and Precompressed Rubber Springs, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.4, pp.223-229 (in Korean).
- [5] Dolce, M., Cardone, D., and Marnetto, R. (2000) Implementation and Testing of Passive Control Devices based on Shape Memory Alloys, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Wiley, Vol.29, No.7, pp.945-968.
- [6] Choi, E., Choi, G., Kim, T.-H., and Youn, H. (2015) Smart Damper using the Combination of Magnetic Friction and Pre-compressed Rubber Springs, *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, Vol.351, pp.68-89.
- [7] Wang, S.-J., Hwang, J.-S., Chang, K.-C., Shiao, C.-Y., Lin, W.-C., Tsai, M.-S., Hong, J.-X., and Yang, Y.-H. (2014) Sloped Multi-roller Isolation Devices for Seismic Protection of Equipment and Facilities, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Wiley, Vol.43, No.10, pp.1443-1461.
- [8] Cardone, D. (2012) Re-centring Capability of Flag-shaped Seismic Isolation Systems, *Bulletin of Earthquake*

*Engineering*, Springer, Vol.10, No.4, pp.1267-1254.  
[9] Architectural Institute of Korea (2019) *Structural Design*

*Standards for Buildings*, KDS 41 17 00 : 2019, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).

---

**요 약**: 기존의 마찰댐퍼는 지진 후 장치가 스스로 복원하지 못하며 잔류변형의 문제점이 있어 추가적인 보수 보강이 필요하다. 이를 해결하기 위해 경사를 도입한 셀프-센터링 마찰 댐퍼를 제안하였으며, 성능 실험을 통해 경사각, 마찰계수, 강종에 따른 이력특성 및 복원력 특성에 대해 분석하였다. SS275 강재를 사용한 마찰 면에서 소착 현상이 발생하였다. 이에 반해 열처리를 진행한 SM45C에서는 미비한 마모, STD11은 손상이 없었다. 또한 경사각이  $15^\circ$  이상의 장치에서는 깃발형 이력을 나타냈으며 셀프-센터링 복원 특성을 가짐을 확인하였다.

**핵심용어**: 셀프-센터링, 마찰 댐퍼, 이력특성, 복원 특성

---