



2절점 회전형 마찰요소의 구조성능 평가

김도현¹ · 김지영² · 김명한³

경기과학기술대학교 건축인테리어과 조교수¹, 대우건설 기술연구원 수석연구원², 국립목포대학교 건축공학과 부교수³

Evaluation on Structural Performance of Two-nodal Rotary Frictional Component

Kim, Do-Hyun¹ · Kim, Ji-Young² · Kim, Myeong-Han³

¹Assistant Professor, Dept. of Architecture & Interior Design Gyeonggi College of Science and Technology

²Senior Researcher, Technology Development Team, Daewoo Institute of Construction Technology, Daewoo E&C

³Associate Professor, Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National University

Abstract: Various hybrid dampers have been developed in Korea to control the vibration due to a wind and earthquake. In order to minimize the installment space, cost and construction process, the new hybrid friction damper is developed. This hybrid damper is composed of several rotary friction components having two frictional joint. Because of these components, the building vibration due to wind and earthquake can be mitigated by hybrid friction damper. In this paper, various dependency tests were carried out to evaluate on the structural performance of two joint rotational friction component of the hybrid damper. Test results show that two joint rotational components do not depend on a displacement and a frequency of forcing but friction coefficients is reducing as a clamping force is increasing.

Key Words: hybrid damper, coupled beam, rotary frictional component, dependency test

1. 서론

최근 국내 건축물의 고층화와 건물에 영향을 주는 자연재해의 증가에 따른 건축물 피해를 저감시킬 수 있는 제진시스템이 개발되어왔다. 그러나 진동원에 따른 제진시스템의 중복 설치와 설치 시 건축계획과의 간섭문제를 해결하기 위한 제진시스템 최적화가 요구되었다.

점성댐퍼를 아웃리거와 외부기둥 연결부에 연결하여 지진 및 풍하중에 저항하는 아웃리거 댐퍼가 있다(Rob et al., 2007). 내진성능이 우수한 비좌굴가새에 점탄성댐퍼를 조합하여 내풍성능을 향상시킨 하이브리드 비좌굴가새가 있으며(Kim et al., 2013), 또한 기존 평면과의 간섭을 최소화하기 위하여 연결보에 설치 가능한 복합제진댐퍼로 고감쇠 고무와 강재핀을 사용한 복합댐퍼가 있다(Kim et al., 2012).

마찰댐퍼에 관한 연구로 T형 회전형 마찰댐퍼를 와

이어를 이용한 철골조의 내진성능을 향상시킨 사례가 있다(Mualla et al., 2002). 기존 철근콘크리트 건축물 내진보강을 위하여 외부 부착형 회전형 마찰댐퍼 골조의 성능을 평가하였다(Roh et al., 2011).

이러한 마찰댐퍼는 경제성 및 안정된 성능 때문에 내진보강에 많이 적용되지만, 특정 설계하중에서만 작동되며 댐퍼 설치 시 사용되는 철골가새는 별도의 공간을 차지한다는 단점이 있다. 철골가새 없이 연결보 내부에 직접 설치되며, 하나의 장치로 다양한 하중에서 작동할 수 있는 혼합형 복합마찰댐퍼와 회전형 복합마찰댐퍼를 개발하였다.

혼합형 복합마찰댐퍼는 1절점 회전형 마찰요소와 슬롯형 마찰요소로 구성된 다단계 슬립이 가능한 복합마찰댐퍼로, 변위에 대한 의존성을 실험적으로 평가하였다(Kim et al., 2015).

본 논문에서는 회전형 복합마찰댐퍼를 구성하는 2절점 회전형 마찰요소에 대한 구조성능을 변위, 주파수 및 도입축력에 대한 의존성 중심으로 평가하였다.

주요어: 복합제진댐퍼, 연결보, 회전형 마찰요소, 의존성 실험

Corresponding author: Kim, Myeong-Han

Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, 1666 Yeongsan-ro, Muan-gun, Jeonnam, 58554, South Korea.
 Tel: +82-61-450-1256, Fax: +82-61-450-6454, E-mail: mhk314@mkpo.ac.kr

Received November 30, 2015 / Revised December 13, 2015 / Accepted December 17, 2015

2. 회전형 복합마찰댐퍼

2.1 회전형 복합마찰댐퍼 구성

회전형 복합마찰댐퍼는 복수의 2절점 회전형 마찰요소로 구성되어 변위영역에 따라 다단계 슬립이 가능하다(Fig 1). 1단계 슬립은 서로 분리된 두 철판(A, B)을 연결한 2개의 2절점 회전마찰요소로 구성되며, 양 절점 회전발생이후 철판 사이의 갭(gap)이 닫힐 때까지 슬립이 발생한다. 1단계 갭이 닫힌 이후 2단계 슬립이 발생하며, 1단계와 같은 구성 및 메커니즘을 사용하지만 1단계 보다 높은 마찰력을 보유한다. 2단계 갭이 닫힌 이후 3단계 슬립이 발생한다. 3단계는 2단계보다 높은 마찰력을 보유한 1개의 2절점 회전마찰요소로 구성되며, 두 철판(B, C)이 평행하기 때문에 대변위까지 접촉 없이 슬립이 발생할 수 있다.

2.2 2절점 회전형 마찰요소 메커니즘

회전형 복합마찰댐퍼의 다단계 슬립은 마찰력이 다른 2절점 회전형 마찰요소로 구성되며, 댐퍼의 해석모델은 3개 마찰요소의 직렬연결로 구성할 수 있다. 따라서 2절점 회전형 마찰요소는 회전형 복합마찰댐퍼를 구성하는 기본요소이자 중요한 구성요소이다.

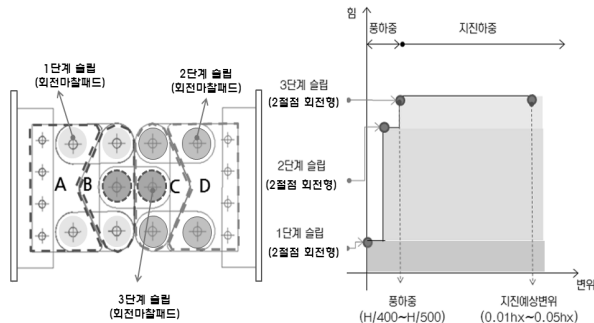


Fig. 1 Mechanism of rotary hybrid frictional damper

2.3 내력산정식

2절점 회전형 마찰요소에는 쿨롱감쇠(Coulomb Damping)가 적용된다. 회전형 마찰요소의 내력(T)은 마찰계수(μ), 도입축력(N), 유효반경(R_e)을 이용하여 식(1)과 같이 표현된다.

$$T = \mu \times N \times R_e \quad (1)$$

3. 실험계획

3.1 실험체 설계 및 계측계획

회전형 복합마찰댐퍼의 2절점 회전형 마찰요소는 연결보 직각방향으로 작용하는 하중을 회전모멘트로 변환하여 에너지를 소산시키는 메커니즘을 사용한다. 실험체는 Table 1의 도입축력을 변수로 Fig.2와 동일

한 실험체 3개를 제작하였다. 마찰패드는 두께 5mm의 마찰재를 외경 120mm, 내경 30mm인 원형으로 제작하여 2장을 3개의 연결플레이트 사이에 삽입하였다. 또한 볼트의 축력변화를 최소화하기 위하여 디스크 스프링과 축력분산용 와셔를 설치하여 축력을 도입하였다. 실험체 변위는 Fig 3과 같이 100mm LVDT로 고정지점과 이동지점 사이의 변위를 계측하였다(Fig 3(a)). 2절점 회전형 마찰요소의 가력단계별 회전량을 측정하기 위하여 실험체 표면 절점 간 중앙지점에 홀을 제작하였고, 2개의 50mm LVDT를 이용하여 연결플레이트 중앙점 사이에서의 상대변위를 직접 계측하였다(Fig 3(b)). 또한 도입 축력의 변화를 모니터링하기 위하여 축력 도입단계부터 실험종료까지 와셔형 로드셀(Load Cell)을 이용하여 계측하였다.

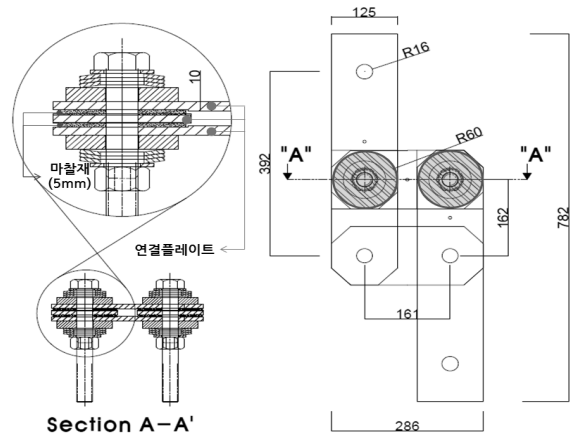


Fig. 2 Details of two nodal rotary frictional component

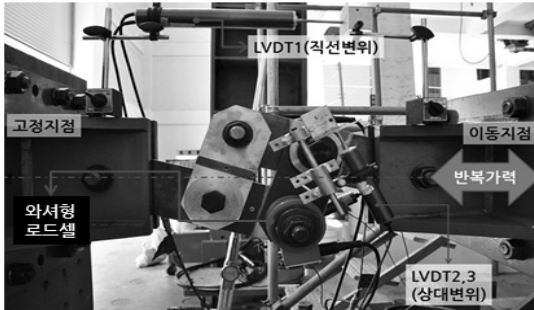
Table 1. Summary of test specimens

no	name	clamping force(kN)	frictional pad specification
1	2R-60	60	diameter=120mm(outer),
2	2R-120	120	30mm(inner), 2EA,
3	2R-180	180	frictional coefficient=0.4

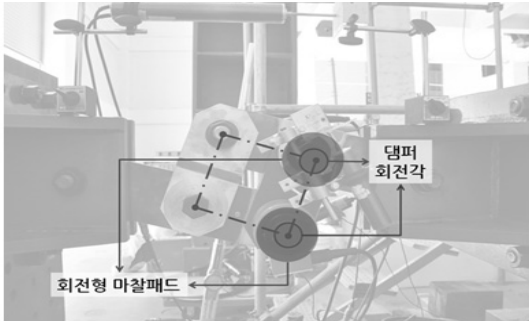
3.2 실험체 세팅 및 가력계획

실험체 세팅은 Fig.3(b)와 같으며, 2절점 회전형 마찰요소는 마찰요소 축방향 직각방향으로 작용하는 하중에 의하여 회전형 마찰디스크가 설치된 양단에서 회전 운동한다. 이 조건을 구현하기 위하여 4개의 회전절점으로 구성된 사각형 실험체를 제작하고, 4개 회전절점 중 Fig.3에 표시된 2개 회전절점에 각 2장의 회전형 마찰디스크를 설치하였다. 또한 다른 2개 회전절점 양단에는 테프론 시트를 삽입하고, 액체형 윤활제를 도포하여 마찰력을 최소화하였고, 가력 시 2절점 회전형 마찰요소만 작동하도록 구현하였다. 500kN 동

적 액츄에이터 중심과 실험체 양단 지점이 동일 직선 상에 놓이도록 경사지게 설치하였다. 2절점 회전형 마찰요소의 실험은 Table 2와 같이 2단계로 구분하여, 실험체별로 Table 3과 같이 진폭의존성 및 주파수 의존성 순으로 수행하였다.



(a) measurement set up



(b) specimen behavior

Fig. 3 Experimental setup

Table 2. Loading Protocol

Step	loading name	displacement (mm)	forcing speed or frequency	cycle
1	displacement dependency	$\pm 3, \pm 4.5, \pm 6, \pm 10, \pm 15, \pm 20, \pm 25, \pm 30$	2mm/sec	10
2	frequency dependency	± 4.5	0.167, 0.25, 0.5, 1, 2Hz	10

3.3 마찰재

실험에 사용된 마찰재는 마찰재질 분류상 비석면계로 케브라 섬유재질 복합체로 한국산업규격 KS L 5212에 따른 정속 마찰계수는 0.4이다.

4. 실험결과 분석

실험결과는 일본면진구조협회(JSSI, 2005)에서 발간한 매뉴얼에 따라 Fig 4와 같이 한 사이클에 대한 하중-변위 이력곡선에 대하여 에너지소산량(E), 누적변형($\Sigma\delta$), 도입축력(F_c)를 산정하였다. 평균마찰하중

($F_{d,ave}$), 마찰계수(μ)는 식(2),식(3)으로 산정하였다.

$$F_{d,ave} = E / \Sigma\delta \quad (2)$$

$$\mu = F_{d,ave} / F_c \quad (3)$$

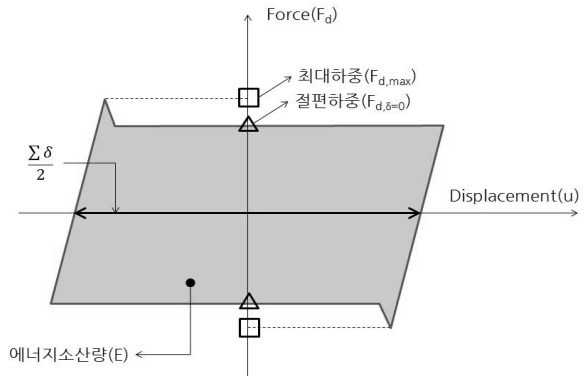


Fig. 4 Evaluation on test results of a friction damper

4.1 전체거동

마찰댐퍼는 도입축력에 따라 댐퍼용량이 결정되므로, 도입축력을 변수로 3개 실험체에 대하여 의존성 실험을 수행하였다. 실험결과 도입마찰력에 따른 내력의 차이를 제외한 전체적인 의존성 특성은 모두 유사한 경향을 나타내었다. 실험 종료이후 마찰패드의 파손은 발생하지 않았으며, Fig.5와 같은 마찰패드 및 연결플레이트의 마모형상으로 미루어 볼트에 도입된 축력이 축력분산용 와셔를 통하여 회전형 마찰패드 전체에 걸쳐 고르게 분포되어 마찰력이 발생하였음을 확인할 수 있었다.



Fig. 5 Connection plate and Friction Pad before and after test

4.2 진폭의존성

2R-60실험체의 경우 가력진폭 3mm, 4.5mm의 경우 첫 슬립에 의한 정지마찰력이 발생하여 이후 동적마찰력이 발생하는 6mm이후 보다는 최대하중은 크지만 평균마찰력이 작게 나타났다(Fig 6(a)). 가력변위 6mm 이후에 평균마찰력은 변위증가에 따라 평균마찰력도 증가하지만 오차가 평균에서 -14%~13% 범위 내에서

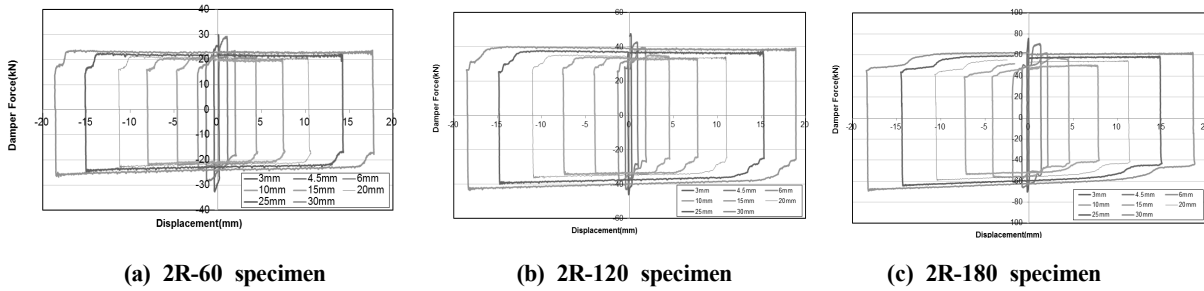


Fig. 6 Effect of displacement amplitude

발생하였다(Table 4). 마찰계수는 평균마찰력과 유사한 경향을 보이며, 6mm 이후 평균마찰계수는 0.37로 나타났다. 에너지소산량은 회귀분석결과 진폭에 따라 선형적으로 증가함을 보인다. 도입축력은 초기 도입력 59.1kN에서 첫 3mm 가력 이후 4.1kN이 손실되었다. 하지만 4.5mm 가력부터 도입력 손실이 현저히 감소되었고, 에너지소산량에 큰 영향을 주지 않았다. 이력곡선의 모서리 부분에서 국부적으로 항복 및 소성구간이 발생하고 있다.

2R-120 실험체는 가력변위 10mm 이후에 평균마찰력은 변위증가에 따라 평균마찰력도 약간 증가하지만 평균의 -16%~12%까지 오차범위 내에서 발생한다(Fig 6(b)). 평균마찰계수는 0.31로 나타났다(Table 5). 에너지소산량은 회귀분석결과 가력변위에 선형적으로 증

가하고 있다. 도입축력은 초기 도입력 120kN에서 실험종료까지 4.6kN이 손실되었다.

2R-180 실험체도 가력변위 10mm 이후에 평균마찰력은 변위증가에 따라 평균마찰력도 약간 증가하며, 평균에서 -16%~12% 범위 내에서 편차가 발생한다(Fig 6(c)). 10mm 이후 평균마찰계수는 0.29로 나타났다(Table 6).

2절점 회전형 마찰요소는 하중변위 이력곡선 상에는 안정적인 이력곡선을 보인다. 평균마찰계수로 살펴보면 도입축력의 크기와 상관없이 가력진폭에 약간 증가하는 경향을 나타내지만, 전체적으로 진폭의존성은 크지 않다고 판단된다. 댐퍼의 적정성을 판단하는데 평균대비 오차범위 15%를 사용하는 ASCE 7(2010)을 참고하였다.

Table 4. Summary on displacement amplitude dependency test of 2R-60 Specimen

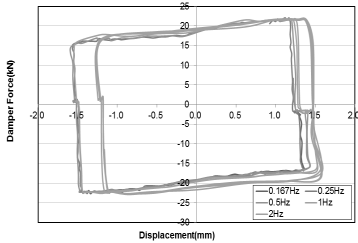
	Average Friction Force(kN)		Friction Coefficient(μ)		Clamping Force(kN)		Dissipated Energy(kN·mm)
	value	deviation	value	deviation	value	deviation	
3mm	16.5	-	0.27	-	59.1	-	34
4.5mm	18.0	-	0.31	-	55.0	-	100
6mm	17.8	-0.14	0.32	-0.14	53.8	0.01	159
10mm	18.5	-0.10	0.33	-0.10	53.5	0.01	341
15mm	19.5	-0.04	0.35	-0.05	53.3	0.00	592
20mm	20.9	0.02	0.38	0.02	53.0	0.00	902
25mm	22.2	0.08	0.40	0.09	52.8	-0.01	1,246
30mm	23.4	0.13	0.43	0.16	52.3	-0.02	1,630
average	19.6		0.37		53.1		-

Table 5. Summary on displacement amplitude dependency test of 2R-120 Specimen

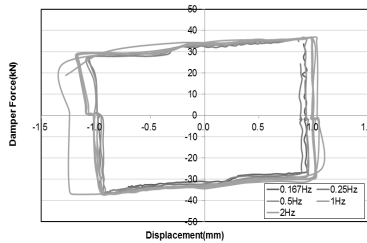
	Average Friction Force(kN)		Friction Coefficient(μ)		Clamping Force(kN)		Dissipated Energy(kN·mm)
	value	deviation	value	deviation	value	deviation	
3mm	19.4	-	0.17	-	109.8	-	32
4.5mm	24.8	-	0.22	-	108.3	-	88
6mm	27.5	-	0.24	-	107.7	-	187
10mm	29.7	-0.16	0.27	-0.14	107.3	0.01	491
15mm	32.2	-0.07	0.29	-0.07	107.0	0.01	945
20mm	34.2	-0.01	0.31	-0.01	106.4	0.00	1,488
25mm	36.8	0.07	0.33	0.07	106.1	0.00	2,145
30mm	38.9	0.12	0.35	0.15	105.2	-0.01	2,813
average	33.2		0.31		106.4		

Table 6. Summary on displacement amplitude dependency test of 2R-180 Specimen

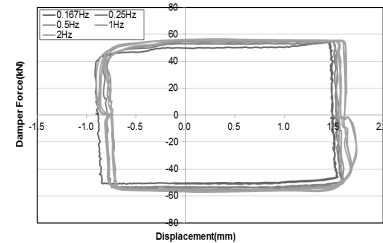
	Average Friction Force(kN)		Friction Coefficient(μ)		Clamping Force(kN)		Dissipated Energy(kN·mm)
	value	deviation	value	deviation	value	deviation	
3mm	30.4	-	0.16	-	183.2	-	44
4.5mm	45.5	-	0.24	-	179.9	-	235
6mm	44.0	-	0.24	-	176.6	-	367
10mm	44.9	-0.16	0.25	-0.14	174.1	0.02	777
15mm	48.3	-0.08	0.27	-0.07	172.7	0.01	1,432
20mm	52.7	0.01	0.29	-0.01	171.9	0.00	2,272
25mm	56.4	0.07	0.32	0.07	170.1	-0.01	3,256
30mm	59.2	0.12	0.34	0.15	168.0	-0.02	4,233
average	52.3		0.29		171.4		



(a) 2R-60 specimen



(b) 2R-120 specimen



(c) 2R-180 specimen

Fig. 7 Effect of forcing frequency

4.3 주파수의존성

주파수 의존성은 진폭의존성과 동일한 평가항목인 평균마찰력, 마찰계수, 도입축력(조임력), 소산에너지 측면에서 평가하였다. 가력진폭 4.5mm에 대하여 0.167hz에서 2.0hz까지 정현파로 10회 반복가력하였다 (Fig 7).

2R-60실험체의 경우 가력세팅에 의해 하중 0kN 부근에서 슬립이 발생하였고, 2Hz가력 시 LVDT 위치를 재보정하여 이력곡선이 이동하였다. 하지만 가력주파수가 커짐에 따라 평균마찰력이 약간 증가하지만 평균의 -8%~8%까지 오차범위 내에서 발생하기 때문에 주파수의존성이 크지 않다고 판단된다(Table 7). 또한 평균마찰계수는 0.32로 진폭의존성 4.5mm와 같은 값으로 나타났다. 동일 진폭으로 가력하기 때문에 조임력은 동일하며, 소산에너지 또한 최대 6%로 거의 유사하게 나타났다. 2R-120실험체의 평균마찰력은 평균의 -15%~6%까지 오차범위 내에서 발생하기 때문에 주파수의존성이 크지 않다고 판단된다. 평균마찰계수는 0.25로 나타났다(Table 8). 2R-180실험체의 경우도 평균마찰력은 약간 증가하지만 평균의 -17%~7%까지 오차범위 내에서 발생하기 때문에 주파수의존성이 크지 않다고 판단된다. 평균마찰계수는 0.27로 나타났다 (Table 9).

2절점 회전마찰요소는 이력곡선 상에는 안정적인 이력곡선을 보이며, 조임력은 일정하게 유지된다. 또한 평균마찰계수로 살펴보면 도입축력의 크기와 상관

없이 가력주파수가 커짐에 따라 약간 증가하는 경향을 나타내지만, 전체적으로 주파수의존성은 진폭의존성보다도 작게 나타났다.

4.4 축력의존성

동일한 실험체에 도입축력을 60kN, 120kN, 180kN을 변수로 하여 동일한 가력을 수행하였다. 축력의존성은 실험체별 가력변위 10mm부터 30mm에 대한 값을 이용하여 분석하였다. 도입축력이 증가하면 평균마찰력은 거의 선형으로 증가한다(Table 4, 5, 6). 하지만 장치설계에 필요한 평균마찰계수에 대한 관계를 분석하면 평균마찰계수는 약간 감소하는 경향을 보인다(Fig 8). 회귀분석에 따르면 도입축력(N)과 평균마찰계수(μ)의 관계가 식(4)와 같이 표현된다.

$$\mu = 9 \times 10^{-6} N^2 - 0.0027N + 0.4954 \quad (4)$$

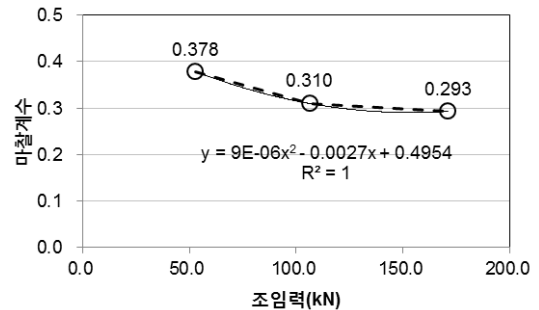


Fig. 8 Effect of clamping force

Table 7. Summary on forcing frequency dependency test of 2R-60 Specimen

	Average Friction Force(kN)		Friction Coefficient(μ)		Clamping Force(kN)		Dissipated Energy(kN·mm)	
	value	deviation	value	deviation	value	deviation	value	deviation
0.167hz	16.1	-0.08	0.30	-0.07	51.5	0.00	98	-0.04
0.250hz	16.7	-0.03	0.31	-0.03	51.5	0.00	99	-0.04
0.500hz	17.2	-0.01	0.32	-0.01	51.5	0.00	102	-0.01
1.000hz	17.7	0.02	0.33	0.02	51.5	0.00	105	0.03
2.000hz	18.8	0.08	0.35	0.09	51.4	0.00	108	0.06
average	17.3		0.32		51.5		102	

Table 8. Summary on forcing frequency dependency test of 2R-120 Specimen

	Average Friction Force(kN)		Friction Coefficient(μ)		Clamping Force(kN)		Dissipated Energy(kN·mm)	
	value	deviation	value	deviation	value	deviation	value	deviation
0.167hz	23.8	-0.15	0.22	-0.13	103.6	0.00	111	-0.09
0.250hz	25.7	-0.07	0.24	-0.06	103.5	0.00	110	-0.10
0.500hz	28.5	0.04	0.26	0.04	103.5	0.00	116	-0.05
1.000hz	30.0	0.09	0.28	0.09	103.4	0.00	129	0.05
2.000hz	29.1	0.06	0.27	0.06	103.5	0.00	146	0.19
average	27.4		0.25		103.5		122	

Table 9. Summary on forcing frequency dependency test of 2R-180 Specimen

	Average Friction Force(kN)		Friction Coefficient(μ)		Clamping Force(kN)		Dissipated Energy(kN·mm)	
	value	deviation	value	deviation	value	deviation	value	deviation
0.167hz	40.0	-0.17	0.23	-0.14	166.2	0.00	221	-0.07
0.250hz	44.9	-0.04	0.26	-0.04	166.4	0.00	229	-0.04
0.500hz	49.1	0.05	0.28	0.05	166.5	0.00	233	-0.02
1.000hz	49.6	0.06	0.29	0.06	166.6	0.00	239	0.00
2.000hz	50.4	0.07	0.29	0.08	166.6	0.00	266	0.12
average	46.8		0.27		166.5		238	0

5. 결론

본 논문에서는 새로운 복합제진댐퍼인 회전형 복합 마찰댐퍼를 구성하는 2절점 회전형 마찰요소의 구조 성능을 다양한 의존성 실험을 통하여 평가하였다. 본 논문의 실험결과는 향후 회전형 복합마찰댐퍼의 수치 해석연구를 위한 기초자료로 활용할 계획이며, 결론은 다음과 같다.

(1) 변위의존성 실험결과 2절점 회전마찰요소의 평균마찰계수는 실험체별로 각각 0.37(2R-60), 0.32(2R-120), 0.29(2R-180)를 나타내고 있지만, 실험결과 동일한 축력이 도입된 실험체는 변위가 증가할수록 마찰계수가 약간 증가하는 경향을 보인다.

(2) 실험체별 축력의존성을 분석한 결과 2절점 회전마찰요소의 마찰계수는 도입축력이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 따라서 2절점 회전형 마찰요소

평균마찰계수 산정 시 도입축력에 따른 영향을 고려해야 한다.

(3) 가력주파수를 0.167Hz에서 2Hz까지 변화시켜 실험한 결과 2R-180실험체의 0.167Hz를 제외한 모든 실험체에서 평균마찰력, 마찰계수, 조임력 및 소산에너지는 평균대비 최대 15% 이하를 보이고 있기 때문에 2절점 회전마찰요소는 주파수 의존성은 크지 않다고 판단된다.

(4) 실험종료 후 마찰재 표면마모상태를 확인한 결과 축력분산용 와셔의 사용으로 도입축력이 마찰패드에 고르게 분포된 것으로 확인되었다. 또한 첫 번째 가력 이후 도입축력 손실정도 및 실험종료 후 도입축력 손실정도는 낮은 축력이 도입된 실험체에서 가장 높았다. 따라서 2절점 회전마찰요소의 안정적인 거동을 위해서는 디스크 스프링과 같은 축력유지장치에 대한 세심한 설계가 필요하다고 판단된다.

References

- ASCE(2010), *Minimum Design Loads for Buildings And Other Structures (ASCE/SEI 7-10)*. American Society of Civil Engineers.
- JSSI (2005), *Passive Damper Design and Manual*. Japan Society of Seismic Isolation.
- KATS (2008), *Brake linings for Industrial Machine(KS L 5212)*. Korean Agency for Technology and Standard.
- Kim, D.H., Kim, J.Y., Ha, I.H., and Kim, D.Y. (2012), "Evaluation on Structural Response of Hybrid Damper." 2nd International Conference on Computational Design in Engineering, 93.
- Kim, M.H., Kim, D.H., Ju, Y.K. and Kim, S.D. (2013), "Evaluation on the Serviceability of Tall Building using Hybrid Buckling- Restrained Braces." Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 13(4), 31~38.
- Kim, D.H. and Kim, J.Y. (2015), "Experimental Study on the Structural Performance of Hybrid Friction Damper." Journal of Korean Association for Spatial Structures, 15(3), 103-110.
- Mualla, I.H. and Belev, B.(2002), "Performance of Steel Frames with a New Friction Damper Device under Earthquake Excitation." Engineering Structures, 24(3), 365-371.
- Mualla, I.H. Jakupsson E.D. and Nielsen L.O. (2010), "Structural Behaviour of 5000kN damper." Proceedings of 14th European Conference on Earthquake Engineering, 32-39.
- Rob, J. S. and Michael, R. W. (2007), "The Damped Outrigger Concept for Tall Buildings." The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16, 501-517.
- Roh, J.E. and Lee, S.H.(2011), "Performance Tests of Rotary Friction Damper for Seismic Retrofitting of Building Structures." Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 27(12), 11-20.