

# 환원분철을 이용한 마찰식 완충기 개발

## Friction Snubber Development Using Sponge Iron

김 병 삼\*

Kim Byoung-sam

(2004년 6월 23일 접수 : 2004년 9월 7일 심사완료)

**Key Words** : Shock(충격), Vibration(진동), Heat Energy(열에너지), Elastic Energy(탄성에너지), Friction Snubber(완충기)

### ABSTRACT

Developed friction snubbers changes the shock or vibration into a heat energy by mechanical friction. Snubber is divided into friction snubbers and hydraulic snubbers according to the operation types. However, hydraulic snubber has a lot of problems caused by temperature, humidity, radioactivity, and viscosity of hydraulic fluid. In these respects, to solve these problems, not only do friction snubber supplement lacks of hydraulic snubber but has also simpler structure than hydraulic snubber. In this paper, friction snubber used sponge iron by friction material is experimentally compared with general friction snubber. In this results, the experiment verifies friction function and produce the manufacture condition for the effective friction snubber development.

### 1. 서 론

이 연구는 충격이나 진동과 같은 동하중에 의한 충격에너지를 기계 마찰에 따른 열에너지로 변환하여 점진적으로 대기 중에 방출함으로써 동하중으로 인한 충격을 감쇠시키는 마찰식 완충기 개발에 관한 것으로, 두 부재를 연결 지지하면서 두 부재 사이에 동하중이 가해지는 경우 그에 따른 충격에너지를 기계적 마찰에 의한 열에너지로 변환하여 대기 중에 방출하면서 그 일부를 탄성 한도 내에서 탄성 변위되는 탄성부재의 탄성에너지로 축적한 다음 점진적으로 기계 마찰 에너지로 변환하여 방출함으로써 충격을 감쇠시키는 마찰식 완충기 개발하였다.

특정 장치의 배관계 등에 작용하는 동하중은 펌프나 터빈 등의 회전기기를 통해 전달되는 기계진동,

밸브의 갑작스런 개폐로 발생하는 수충격(water hammering), 배관의 파손에 따른 충격 등과 같은 설비의 내부적인 요인에 의해 발생하는 동하중, 풍하중, 지진력에 의한 충격과 주변에서 발생하는 폭발 등과 같이 설비의 외부적인 요인에 의해 발생하는 동하중으로 분류된다.

일반적으로, 여러 종류의 동하중이 배관계에 작용할 때 동하중의 운동에너지를 흡수하여 감쇠시키는 완충기는 그 구동방식에 따라 유압식 완충기와 마찰식 완충기가 많이 사용되었으나, 유압식 완충기는 설치되는 주변의 환경, 즉 온도, 습도, 방사능, 유압유의 점도 등에 의해 사용 시 많은 제약을 받는다. 또한, 유압식 완충기는 내부에 유압유가 충전되므로 내부구조가 복잡하고 사후 관리비용이 증가되며, 상대적으로 중량체로서 설치하기가 힘들다는 문제점이 있다. 또한, 상시진동과 같이 속도가 미미한 움직임에 대해서는 응답성이 떨어지며, 실링(sealing) 부위의 마모로 인해 오일이 누설되는 경우 완충 기능을 상실하게 되며, 세팅(setting) 후에는 완충력 조절도 불가능하다는 문제점도 있다. 아울러, 유압유가 누설되는 경우

\* 책임저자 : 정희원, 순천제일대학 자동차기계학부  
E-mail : anvkbs@suncheon.ac.kr  
Tel : (061)740-1309, Fax : (061) 742-3027

에 동하중이 가해질 때 완충기능을 수행할 수 없게 되어, 배관의 움직임 속도에 따라 완충력이 상이하게 되므로 사용 용도가 한정되는 문제점도 있다.<sup>(1,2)</sup> 이러한 문제점 해소를 위해 구조가 간단하면서 유압유가 사용되지 않는 기계적 완충기의 개발이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 실험용 마찰식 완충기를 개발하여 환원분철을 마찰재 원료로 이용하였을 때의 마찰성능을 실험적으로 검증하였고, 효율적인 마찰식 완충기 개발을 위한 마찰재 원료배합 및 제조 조건을 조사하였다.

## 2. 환원분철을 포함한 마찰재

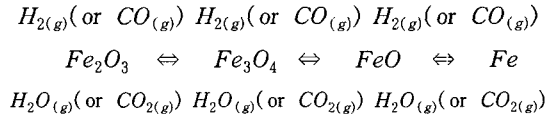
### 2.1 마찰재 정의

마찰재(friction materials)는 마찰력을 일으키는 복합재료로 상대재와 마찰운동으로 차량의 운동에너지가 마찰력에 의해 열에너지로 변환 또는 소산됨으로써 운동에너지를 감속시켜 속도를 조절해 주는 역할을 수행하는 내열, 내마모, 내부식성을 갖춘 재료이다. 마찰재와 상대재 사이에서 발생한 마찰열은 마찰재와 상대재로 전도(conduction)되며 일부는 마찰운동에 따른 진동과 소음에너지의 형태로 발산된다. 마찰재로 전도된 마찰열의 일부는 대기 중으로 소산되고 나머지는 마찰재의 내부에너지 증가와 변형에너지 형태로 전환되며 마찰재의 마찰표면으로부터 마멸입자(wear debris)가 떨어져 나가면서 열에너지를 함께 가져간다.

### 2.2 환원분철의 특징

슬러지의 환원처리 후 대부분의 철산화물이 순수한 철로 환원되며 환원가스에 의해 제거된 산소가 점유하고 있던 공간으로 인해 환원철은 다량의 기공을 함유하는데 환원분철을 마찰재 원료로 사용하면 환원분철의 자체 기공에 의해 마찰재의 기공확보가 용이하여 마찰재와 상대재 사이에서 발생하는 소음을 방지하는 역할을 하게 된다. 환원분철의 화학조성 및 물리적 특성은 Table 1과 같고 Total Fe는 70~85 wt%, Metal Fe는 68~83 wt%이며, 그 외 화합물들은 FeO, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO이고 ZnO, C 등이 미량 함유되어 있다. 환원분철의 입자형상은 각형이며 기공이 불균일하게 분포되어 있고 5.0~6.0 g/cc의 진비중을 가진다.<sup>(2)</sup>

산화철은  $H_{2(g)}/H_{2O(g)}$ ,  $CO(g)/CO_{2(g)}$  가스분압 비가 높을 경우에 환원이 되며, 환원분철은  $H_{2(g)}/H_{2O(g)}$ ,  $CO(g)/CO_{2(g)}$ 의 가스분압 비가 낮은 경우에 산화가 일어난다. 이와 같은 산화·환원반응은 모든 철산화물이 직접 Fe로 환원되는 것이 아니라 아래와 같은 단계를 거쳐 환원된다.



환원분철은 제동시 마찰재에 기공성 확보를 가능하게 하여 소음개선 효과가 있고, 저가이면서도 우수한 마찰성능을 가지고 있다.

### 2.3 환원분철의 제조공정

환원조건은 로내 온도를 최대 1030 °C로 하고 N<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub> 가스를 혼합하여 상온으로 유입하는데 슬러지는 상온에서 약 200~300 kg/h로 장입되고 환원로는 일정속도로 회전하면서 장입시료를 이송시킨다. 시료 내의 산화철은 예비가열구간을 지나면서 환원이 시작되어 FeO 형태로 존재하고 환원구역을 지나면서 Fe로 환원하게 되는데, 환원반응이 빠르게 일어나면 수소가스는 평형상태를 유지하게 된다.

### 2.4 환원율의 계산

환원분철 제조 후 전체 함량 중 Fe를 포함하는 화학식을 가진 원소의 중량비를 전체 철(total Fe)이라고 하고 순수한 상태인 Fe 분말의 중량비를 순철(metal Fe)이라고 할 때 전체 철 중 순철의 중량비를 환원율(reduction ratio)은 아래와 같다.<sup>(4)</sup>

**Table 1** Chemical composition and physical property after reduction treatment for collected sludge

Chemical composition(% by weight)								
T.Fe	M.Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	ZnO
70~85	68~83	≤2	1.0~8.0	0.3~2.5	1.0~6.0	1.0~5.0	≤1	0.1~1.0
Physical characteristics								
ASG (g/cc)	RSG (g/cc)	Porosity	Grain size	Pore distribution				
1.55~2.25	5.0~6.0	50~75%	Angular	Irregular				

$$\text{Reduction ratio}(\%) = \frac{\text{Metal } Fe}{\text{Total } Fe} \times 100(\%)$$

이 연구에서 이용된 환원분철의 환원율은 Table 4에서 보는바와 같다.

### 2.5 마찰재 배합설계

실험에 적용할 마찰재의 배합은 건조 슬러지(G1) 및 환원분철(G3)의 함량을 각각 5, 10, 15, 20%로 변량하고 마찰재에서 결합재로 사용되는 페놀 수지, 티탄산칼륨의 종류를 변화시켜 배합설계를 하였다. 초기에 환원분철은 10~40%의 적용을 고려하였으나 환원분철의 함량이 20% 이상일 때 마찰성능이 저하되는 경향이 나타나서 이 연구에서는 환원분철의 함량을 5~20%로 설계하여 총 12종의 시제품을 제작하였다. 시험배합에 대한 설계비의 일부는 Table 2와 같다.

Table 2에서 A resin은 미변성 페놀수지, B resin은 에폭시변성 페놀수지, C resin은 고무변성 페놀수지이다.

### 2.6 시편제작

마찰재 배합설계 후 물성 및 마찰성능 평가를 위한 실험용 마찰재를 제작하였는데, 제작공정은 다음과 같다.

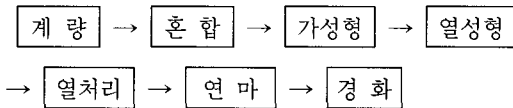


Table 2 Composition of compounds(weight %)

Sample	A1	B1	C1	D1
G1	5			
G3		5	10	10
A resin			2.5	
B resin	4.9	4.9	2.4	
C resin				5
K <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ·TiO <sub>2</sub>				5
K <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ·TiO <sub>2</sub>				
BaSO <sub>4</sub>	30.5	30.5	25.5	20.5
Others	59.6			
Total wt%	100.0			

재료의 균일한 혼합을 목적으로 분산성의 문제가 발생할 수 있는 파이버류를 1차로 배합하고 1차 배합된 파이버류와 나머지 원재료들을 2차로 배합한 후 가성형하여 온도, 압력, 시간의 조건을 설정하여 마찰재를 성형하고 열처리를 실시한 후에 연마(slot → champer → surface)하여 본 실험의 시편을 제작하였다.

## 3. 마찰재 특성 파악을 위한 실험

### 3.1 실험방법

#### (1) 물성실험

정해진 배합비와 제조조건에 의해 제작된 마찰재의 물성을 파악하기 위해 Table 3과 같은 실험항목 및 실험방법을 기준으로 물성시험을 실시하였다.

#### (2) 마찰성능실험

마찰실험시 마찰재와 상대재간의 마찰력을 표현하는 마찰계수는 마찰재의 마찰력이나 제동력에 비례하는데, 자동차 전륜의 경우 미국이나 일본은 0.35, 유럽은 0.4이며 후륜은 0.35 정도의 수준을 요구한다. 마찰재의 성능을 평가할 때 마찰계수뿐 아니라 기타 특성도 동일하게 평가하는데 특히, 유럽의 경우 마찰계수보다 마찰재의 페이드 특성을, 미국이나 일본의 경우 상대재의 두께변화에 의한 마찰재의 떨림 현상인 저더(judder) 특성을 마찰재 평가시 중요한 인자로 판단한다.<sup>(3)</sup> 마찰계수는 마찰시의 토크 값(torque), 켈리피에 설치된 피스톤(piston)에 의한 가압력(input pressure), 피스톤의 면적 및 마찰재의 접촉형상으로부터 계산하는데 마찰계수 계산식은 식 (1)과 같다.

$$\mu = \frac{T}{2 \cdot P \cdot R_{eff} \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{T}{P} \cdot G \quad (1)$$

Table 3 Test item and method for physical property measurement

Physical properties	Test method	Test instrument
Specific gravity	KS R 1099	Density test balance
Hardness	KS R 1072	Rockwell hardness tester
Blow hole rate	KS R 1100	Mercury porsimeter
Adhesion strength	KS R 1070	Universal test machine
Shear strength	KS R 1097	

여기서,  $\mu$ : 마찰계수,  $R_{eff}$ : 상대재의 유효반지름,  
 $T$ : 토크(Nm),  $P$ : 하중(MPa),  
 $r$ : 실린더 반지름,  $G$ : 기하학적인 요소

실험용 마찰재로부터 규정된 크기로 inner 및 outer 각 1개씩 시편을 제작하여 스케일 테스터(scale tester)로 마찰성능실험을 실시하였다. 특히, 이 시험기는 마찰재와 상대재간의 마찰이 일어나는 챔버(chamber)내 온도와 습도의 환경조절 및 냉각속도(cooling speed) 조절이 가능하다. 이 실험에 시험법은 일본자동차공학회에서 제정한 자동차용 브레이크 패드의 성능시험법인 JASO C406-P1을 적용하였다.

### 3.2 실험결과

#### (1) 시편 및 물성실험

이 실험에 이용된 건조슬러지와 환원분철을 습식분 석한 결과는 Table 4와 같다. 건조슬러지(이하 G1 라고 함)와 환원분철(이하 G3 라고 함)의 탄소함량은

각각 34.21 %와 34.86 %로 비슷하며 전체 함량 중 순수 철(Metal-Fe)의 함량은 0.50 %, 36.15 %, 환원분 철의 환원율을 계산하면 92.01 %로 나타났다. 산화철을 포함한 전체 철(T-Fe)의 함량은 G3가 G1보다 5.94 % 높는데, 이는 환원과정 중 순철(M-Fe)과 산화물을 형성하고 있던 산소의 질량만큼이 전체 질량에서 감량되기 때문이다. Fig. 1과 2는 주사전자현미경을 이용한 G1 및 G3의 표면조직인데 G3가 G1보다 입자 크기가 크게 나타났다.<sup>(7)</sup> 이 연구에 이용된 시편의 비중, 기공률, 경도, 접착 및 전단강도 등의 물성실험 결과는 Table 4와 같다.

마찰재 비중은 마찰재의 소음, 마모, 기공률 및 경도에 영향을 미치는 물성으로 초기 마찰재 배합 설계시에 고려해야 하는데, 마찰재를 구성하는 각 원재료들의 비중 및 증량에 의해 계산된 이론비중 값은 실제 얻기가 불가능하므로 이 연구에서는 이론비중 대비 설계비중의 85~88 %로 응집률(compaction)을 설정하고 기공률을 12~15 %로 설계하였다.<sup>(5)</sup> 실험결과 응집률이 최소 73.58 %에서 최대 87.21 %로 13.63 %의 편차가 나타났고, 마찰재와 같은 다공성 물질의 기공률은 성능평가시 소음측면에서 밀접한 관계를 갖고 있는데 실험결과 모든 시편이 10 % 이상의 기공률을 나타냈고 A1 시편은 기공률이 20.81 %이며, G1의 함량이 증가함에 따라 기공률이 감소하는 경향을 보인다. 기공측정시 동일시편에서도 기공률의 차이가 발생하는데 이는 시편중 닫힌 기공(closing pore)의 부피 측정이 불가능하기 때문이다.

Rockwell 경도기로 동일한 시편당 4점(points)을 측정하여 평균값을 계산한 결과가 Table 5와 같다. 동일한 배합비를 가질 경우 마찰재 제조시 일반적으로 경도에 미치는 인자는 성형압력, 열처리 시간, 열처리온도 순이며, 경도값이 40~60정도 범위를 가지면 정상적인 마찰재 성능을 유지하는데 지장이 없고 경도가 높으면 상대재의 마모 및 소음에 불리하게 작용하기 때문에 일정 수준이 경도를 유지하고 동일한 마찰재에서 균일한 경도를 갖는 것이 중요하다.

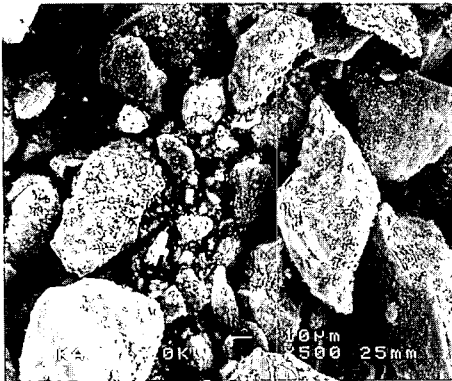


Fig. 1 Morphology of G1

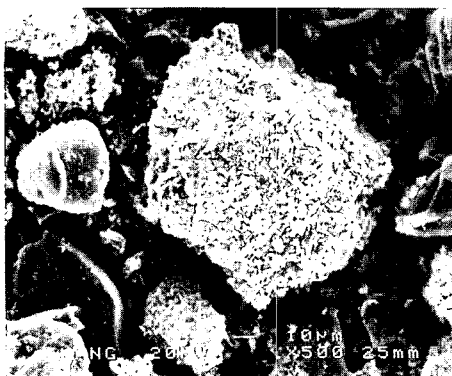


Fig. 2 Morphology of G3

Table 4 chemical composition of G1 & G3

	C	Total-Fe	Metal-Fe	Reduction ratio(%)
G1	34.21	33.35	0.50	1.50
G3	34.86	39.29	36.15	92.01

인장시험기를 이용하여 마찰재의 접착강도와 전단강도를 측정된 결과 접착강도가 높은 시편이 전단강도도 높은 상관관계를 나타냈는데 A2 시편과 A3 시편의 접착 및 전단강도가 각각 52.23 kg/cm<sup>2</sup>, 60.69 kg/cm<sup>2</sup> 및 51.02 kg/cm<sup>2</sup>, 67.13 kg/cm<sup>2</sup>로 다른 시편에 비해 상대적으로 높다. 강도측면에서 G1의 첨가는 10%와 15%가 이상적인 것으로 판단되며, G3는 5%와 15%를 첨가한 경우에 강도가 높다.

(2) 마찰성능

이 실험의 평가항목은 실험방법에서 기술한 바와 같이 마찰계수( $\mu$ ), 발열, 소음, 마모량, 상대재 공격성 및 대면손상이며 특히, 소음발생 수는 스케일 테스트기 내부에 마이크로폰을 설치하고 소음레벨이 70 dB(A) 이상이면 소음으로 설정하였다. 제동성능 실험결과는 Table 6과 같다. 제동성능 실험결과 초기마

찰계수는 G1의 함량이 증가함에 따라 0.196에서 0.215로 증가하지만 평균마찰계수는 10% 첨가까지는 거의 변화가 없었고 10%를 초과하여 사용할 때는 0.372과 0.321로 감소하였다. G1을 첨가한 시편 중에 10%를 첨가한 A2 시편의 초기 마찰계수와 평균마찰계수가 다른 시편에 비해 높게 나타났다. G1의 함량이 증가할수록 소음과 발열온도는 우수한 반면 마찰계수가 낮아졌다.

B1 시편의 경우 초기마찰계수와 평균마찰계수는 0.234와 0.362로 다른 시편에 비해 높지만 상대재의 온도, 마찰재 마모두께 및 DTV(상대재의 두께변화)가 각각 660 °C, 0.76 mm 및 3.946  $\mu$ m로 다른 시편과 비교하여 가장 불리하며, 소음도 23회로 가장 많이 발생되었다.

B3의 경우 마모두께는 0.62 mm로 적지만, 초기마

Table 5 Results of physical property experiment

		Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )			Compaction (%)	Porosity (%)	Hardness (HRS)	Strength (kg/cm <sup>3</sup> )	
		The*	Tar**	Ach***				shear	Internal shear
G1	A1	2.81	2.39	2.29	79.19	20.81	44.75	43.94	55.57
	A2	2.80	2.38	2.29	84.04	15.96	60.00	52.23	60.69
	A3	2.78	2.36	2.28	85.35	14.65	50.50	51.02	67.13
	A4	2.77	2.35	2.21	84.36	15.64	53.75	34.81	61.35
G3	B1	2.81	2.39	2.38	79.19	23.81	53.00	45.59	55.11
	B2	2.80	2.38	2.24	86.57	13.43	48.75	39.19	55.35
	B3	2.78	2.36	2.22	85.85	14.15	47.00	45.92	61.18
	B4	2.77	2.35	2.25	81.41	18.59	41.25	41.45	54.84

\* The : Theoretical specific gravity

\*\*Tar : Target specific gravity

\*\*\* Ach : Achieved specific gravity

Table 6 Results of brake performance experiment

		Brake performance									
		Noise	$\mu$		Max Temp. (°C)			Wear(mm)		DTV*	
			Initial	Mean	1Fade	2Fade	Avg	I/O	Avg	$\Delta$ Ry	$\Delta$ Rymax
G1	A1	32	0.196	0.372	626	676	651	0.68/ 0.82	0.75	3.405	3.304
	A2	17	0.239	0.370	639	670	655	0.64/ 0.77	0.71	2.926	0.790
	A3	10	0.201	0.327	625	659	642	0.77/ 0.74	0.76	3.129	4.925
	A4	11	0.215	0.321	622	658	640	0.68/ 0.72	0.70	5.397	6.965
G3	B1	23	0.234	0.362	624	660	642	0.71/ 0.81	0.76	3.946	4.990
	B2	5	0.216	0.343	589	630	610	0.60/ 0.76	0.68	2.821	3.915
	B3	6	0.206	0.341	634	662	648	0.61/ 0.63	0.62	1.600	2.410
	B4	2	0.212	0.342	617	654	636	0.71/ 0.72	0.72	5.525	19.78

찰계수, 평균마찰계수 및 로터온도가 각각 0.206, 0.341 및 662 °C로 가장 불리하게 나타났으며, B4 시편의 경우도 소음 측면에서는 우수하지만 마모(0.72 mm)와 로터온도(654 °C)가 높고 페이드와 회복 실험 시 마찰계수가 불안정한 것으로 판단되었다. B2의 10%를 첨가한 시편은 마찰계수 안정성, 마모두께 및 발열온도가 0.68 mm 및 630 °C로 모든 측면에서 우수하게 나타났다.

G3의 비교 실험결과 G3의 함량이 증가함에 따라 마찰계수는 낮아지고 소음 측면에서는 유리하지만 다른 항목들은 G3의 함량변화에 따라 일관적인 경향을 나타내지 않았는데 이는 제동성능에 이상적인 G3의 함량이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

소음의 경우 G1 및 G3의 함량이 증가함에 따라 소음발생은 모두 감소하지만 A1~A4 시편 모두 10회 이상의 소음이 발생하여 G1의 효과는 미미한 반면, B시편은 G3의 첨가량이 증가함에 따라 소음이 급격히 감소하여 G3의 첨가가 G1의 첨가보다 소음에 유리하게 작용한 것을 확인하였다. 상대재의 최대 발열온도도 G1보다 G3를 첨가한 시편이 더 낮은데 G3 10%를 첨가한 경우에는 최대 40 °C가 적고 마모측면에서도 G3를 첨가한 시편이 G1을 첨가한 시편보다 우수하게 나타났다. 이상과 같은 실험결과 초기마찰계수, 평균마찰계수, 소음 발생수, 상대재 발열온도, 마모 및 상대재 공격성 등의 전 평가항목에서 G3의 첨가가 G1 첨가시편보다 우수한 성능을 나타내었는데 환원분철인 G3를 마찰재에 첨가시 소음, 마모를 포함한 모든 제동성능에 우수하게 작용하였으며 특히, 10 wt% 가장 이상적인 함량인 것으로 판단되었다.

#### 4. 환원분철을 이용한 마찰식 완충기

##### 4.1 마찰식 완충기의 기구학적인 측면 고찰

일반적으로, 여러 종류의 동하중이 배관계에 작용할 때 동하중의 운동에너지를 흡수하여 감소시키는 완충기는 그 구도방식에 따라 마찰식 완충기와 유압식 완충기로서 분류되며, 초창기에는 발전소, 선박 등에서 유압식 완충기가 많이 사용되었으나, 유압식 완충기는 설치되는 주변의 환경, 즉 온도, 습도, 방사능, 유압유의 점도성 등에 의해 사용시 많은 제약을 받는다. 그러나 기계식 완충기 경우에도 내장되는 부품이

마모에 대해 민감하게 반응하고, 설치시 읍셋 때문에 피스톤 로드가 굴곡되거나 축 방향으로 가해지는 동하중에 대해 민감하게 반응하며, 충격 또는 진동에 의해 부시 등의 해당 부품이 손상되거나 윤활 부위에서 휘발되는 경우 완충기능을 상실(lock-up)하게 되는 등의 문제점들이 있었다. 이로 인해, 최근에는 유압식 완충기의 강력한 파워와 기계식 완충기가 주변 환경으로부터 제한을 받지 않아 범용적으로 사용될 수 있다는 점을 고려한 마찰식 완충기가 개발이 절실한 상황이다.

##### (I) 마찰식 완충기의 구성

Fig. 3은 이 연구에서 제시한 실험용 마찰식 완충기이다. Fig. 4는 이 연구에서 제시한 실험용 마찰식 완충기의 단면도이다. 이 연구에서 개발한 마찰식 완충기는 구조가 간단하여 소형 및 경량화로 인해 설치가 용이하며, 사후 관리가 불필요하고 설치 후에도 내부의 완충력을 용이하게 조절할 수 있고, 내장된

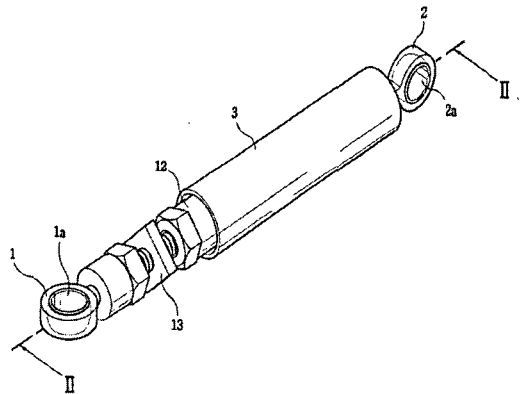
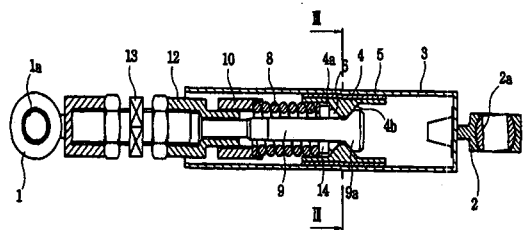


Fig. 3 Proposed frictional snubber in this study



- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| 1 : First fixation | 2 : Second fixation   |
| 3 : Cylinder       | 4 : Friction material |
| 5 : Lining         | 6 : Wedge             |
| 7 : Washer         | 8 : Elastic parts     |
| 9 : Piston rod     | 10 : Controller       |

Fig. 4 II-II line cross section view of Fig. 3

스프링의 압축력에 의해 항시 균일한 완충력을 유지할 수 있도록 설계하였다.

또한, 움직임이 미미한 상시진동, 해머링에 의한 진동 및 지진 등에 대해서도 응답성이 뛰어나고 동하중에 의한 피스톤 로드의 진동에너지를 열에너지로 소진하여 충격 또는 진동을 감소시킴에 따라 해당 부품이 열응력으로 인해 변형 및 피로 파괴되는 것을 방지할 수 있도록 하였다. 마찰식 완충기의 충격 흡수 능력을 평가하기 위하여 충격흡수 피로시험(shock absorber fatigue test)을 실시하였다.

#### 4.2 마찰식 완충기의 제작 및 성능평가

Fig. 5는 본 연구에서 의해 제작된 실험용 마찰식 완충기이다. 본 연구에 이용된 시험장치와 시험조건은 Table 7과 같다.

Fig. 6은 본 연구에 이용된 충격흡수 피로시험장치이다. 시험 제작된 마찰식 완충기를 충격흡수 피로시험기에 설치한 후 완충기에 가해지는 하중과 변위의

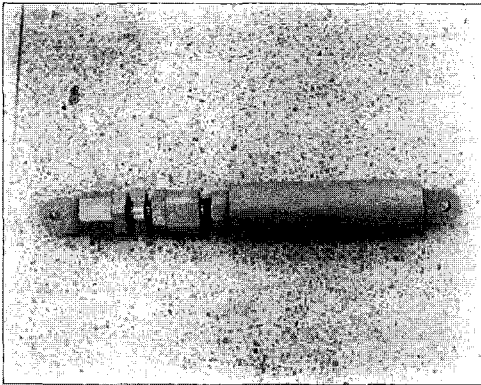


Fig. 5 Proposed experimental friction snubber in this study

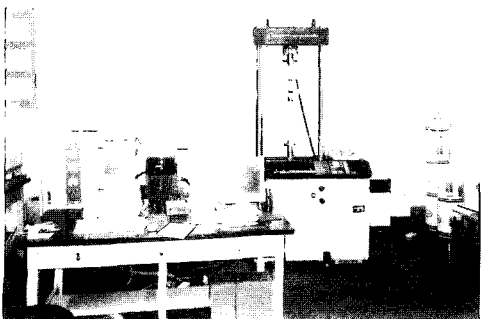


Fig. 6 Shock absorber fatigue test machine

관계를 측정하였다. Fig. 7은 이 연구를 통해 개발한 마찰재를 이용한 마찰식 완충기에 대한 측정결과이고, Fig. 8은 종래 자동차 브레이크 패드(pad)에 사용되는 마찰재를 이용한 마찰식 완충기에 대한 측정결과

Table 7 Test equipment and condition

Test equipment			
Type	Model	Load cell capacity	
Hydraulic fatigue testing machine	INSTRON 8516	10 Ton	
Test condition			
Control	Amplitude	Waveform	Frequency
Position	50 mm	Sine	0.017 Hz (1cycle/60sec)

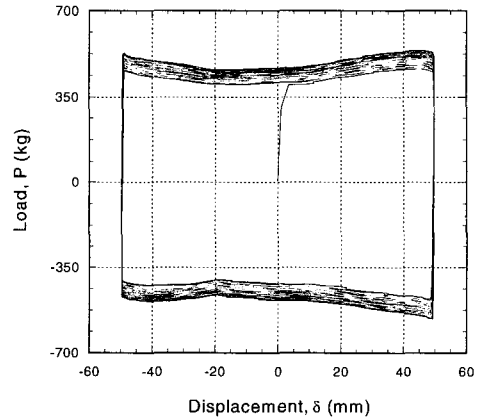


Fig. 7 Shock absorber fatigue test result of friction snubber using sponge iron

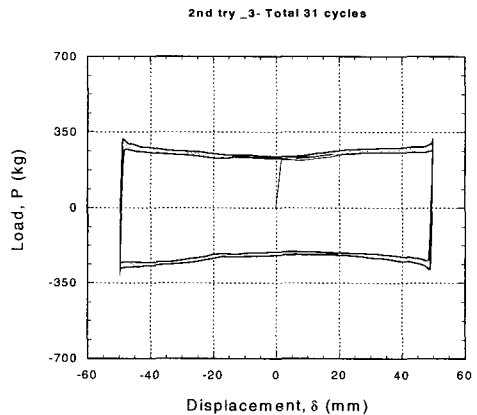


Fig. 8 Shock absorber fatigue test result of friction snubber using common friction material

과이다. 충격흡수 피로시험기에 설치된 마찰식 완충기의 변위를  $\pm 50$  mm로 설정한 후 변위에 대한 하중을 측정하였다. 즉, 마찰식 완충기를 50 mm씩 압축-인장하였을 때 마찰식 완충기에 가해지는 하중을 측정하였다. Fig. 7, 8은 이 연구를 통해 개발한 마찰재를 장착한 마찰식 완충기와 종래 자동차 브레이크 패드 등에 이용되는 마찰재를 장착한 마찰식 완충기에 50 mm씩 압축-인장하였을 때, 마찰식 완충기에 가해지는 하중을 측정한 결과이다. 마찰식 완충기에 압축-인장하중을 일정시간 동안 반복적으로 가한 후, 마찰식 완충기로서의 역할이 지속적으로 가능한가를 검토하였다. 마찰식 완충기에 압축-인장하중을 반복적으로 가하게 되면 마찰재에 히스테리시스 현상이 발생하고 열이 발생하게 되는데, 50분 이상 장시간 하중을 받아도 마찰재로서의 기본성능을 유지하고 있었다. 또한, 동일한 스프링 상수를 가진 마찰식 완충기에 본 연구를 통해 개발한 마찰재를 장착한 후 500 kg의 하중을 가했을 경우, 50 mm의 변위가 발생하는 반면, 자동차 브레이크 패드의 용도를 가진 마찰재를 장착한 경우에는 350 kg의 하중만 가해도 50 mm의 변위가 발생하였다. 따라서, 환원분철을 포함하고 있는 마찰재가 일반 마찰재보다 마찰력이 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 이 연구를 통해 개발된 마찰재를 이용한 마찰식 완충기의 성능이 종래의 마찰재를 이용한 마찰식 완충기보다 마찰력 측면에서 우수하다는 것을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

이 연구에서는 충격이나 진동 등의 충격에너지를 기계 마찰에 따른 열에너지로 변환하여 대기 중에 방출함과 아울러 탄성에너지로 축적한 후 마찰에 따른 열에너지로 점진적으로 방출하여 충격을 감쇠시키는 마찰식 완충기를 개발하였다. 이 연구에서 개발한 마찰식 완충기는 유압식 완충기에 비해 구조가 간단하여 소형 및 경량화로 인해 설치가 용이하며, 사후 관리가 불필요하다. 또한, 설치 후에도 내부의 완충력을 용이하게 조절할 수 있고, 내장된 스프링의 압축력에 의해 항상 균일한 완충력을 유지할 수 있어야 하며, 움직임이 미미한 상시진동, 해머링에 의한 진동 및 지진 등에 대해서도 응답성이 뛰어나고, 동하중에 의한 피스톤 로드와 진동에너지로 열에너지로 소진하여

충격 또는 진동을 감쇠시킴에 따라 해당 부품이 열응력으로 인해 변형 및 피로 파괴되는 것을 방지할 수 있도록 설계되어 있어 배관이 많이 있는 화학공장이나 제철소 등에 산업용으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 제철소에서 폐기물로 처리하는 슬러지(sludge)를 환원분철로 재활용할 수 있어 폐기물 재활용 측면에서 경제성이 있으며, 마찰력 측면에서도 종래에 개발된 일반 마찰재보다 우수한 장점이 있다. 그러나 본 연구결과는 시험장치의 가진 주파수가 0.17 Hz에 한정된 결과이므로 향후 현장에서 실제로 적용하기 위해서는 가진 주파수의 변화에 대한 영향을 조사해야 할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 연구는 한국과학재단의 산학협력연구(과제번호 : I01- 2001-000-00042-0) 지원에 의해 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) Shibata, K., et al, 1993, "Development of Drake Friction Material", SAE paper 930806, 149~161.
- (2) Sasaki, Y., 1996, "Development Philosophy of Friction Materials for Automobile Disc Brakes", SAE Paper 9631679, 407~412.
- (3) Hohmann, C. H., et al, 1999, "Pad Wear Simulation Model", SAE Paper 1999-01-3392, 25~33.
- (4) KSA, 철광석의 총철 분석방법, KS R 1070, 88.
- (5) Nakajima, T. and Okada, Y., 1997, "Study on Reduction Method of Brake Squeal", SAE Paper 973029, 103~107.
- (6) Bauer, H., et al, 1995, Automotive Brake Systems, Robert Bosch.
- (7) Kumsan Materials, 1996, "Raw Materials for Producing Ferrite Dust for Friction Elements and Method of Reducing the Same", US Patent 5, 486, 226.
- (8) 최현, 박건록, 김두훈, 이상조, 1997, "점탄성 재료의 동적특성 측정에 관한 연구", 한국소음진동공학논문집, 제 7 권, 제 6 호, pp. 937~943.