

세라믹 분말을 이용한 나노 충격 완화 장치의 에너지 소산 효율 특성에 대한 연구

Characteristics of Energy Dissipation in Nano Shock Suspension System Using Silica Gel

문 병 영* 정 성 원**
Moon, Byung Young Chung, Sung Won

국문요약

본 연구에서는 나노기술을 이용하여 에너지 감쇠 기능을 활용한 감쇠기 개발에 대한 연구를 하였다. 유체 감쇠기를 대체하는 완충역할을 하는 미로구조를 가지는 실리카 겔 입자를 사용하였으며, 입자에 관련한 작동 유체로는 물을 사용하여 그 효과를 검증하였다. 콜로이드 감쇠기를 구현하기 위해서는 형성된 실리카 겔 입자의 표면을 유기 실리콘 매질을 이용한 소수화 코팅 처리를 하였다.

정적 하중 상태에서의 가역적 콜로이드 감쇠기에 대한 실험을 수행하였다. 콜로이드 감쇠기내 다공질 입자의 나노 유로(pore)와 다공성 입자의 직경, 다공성 입자의 구조, 그리고 대기압 상태에서 유체의 출입을 통제하기 위한 코팅처리의 분자 간 길이와 같이 여러 가지 요인의 콜로이드 감쇠기 이력현상에 대한 영향을 평가하였다. 감쇠기의 소산 에너지양과 효율에 대해서도 조사하여 유압 감쇠기 보다 뛰어난 결과를 얻었으며 콜로이드 감쇠기로 사용 가능하다는 사실을 입증하였다.

주요어 : 콜로이드 감쇠기, 나노기술, 다공질 세라믹, 이력곡선, 충격흡수장치, 에너지 소산

ABSTRACT

This paper presents an experimental investigation of a reversible colloidal seismic damper, which is statically loaded. The porous matrix is composed from silica gel (labyrinth or central-cavity architecture), coated by organo-silicones substances, in order to achieve a hydrophobic surface. Water is considered as associated lyophobic liquid. Reversible colloidal damper static test rig and the measuring technique of the static hysteresis are described. Influence of the pore and particle diameters, particle architecture and length of the grafted molecule upon the reversible colloidal damper hysteresis is investigated, for distinctive types and mixtures of porous matrices. Variation of the reversible colloidal damper dissipated energy and efficiency with temperature, pressure, is illustrated.

Key words : colloidal damper, nano-technology, porous silica, hysteresis curve, shock absorber, energy dissipate

1. 서 론

산업시설의 기계구조 중에서 외란에 대한 충격흡수 장치는 여러 가지가 있다. 이러한 기구 중에서 산업시설에 널리 사용되고 있는 것이 실린더와 피스톤 구조로 이루어진 유압 감쇠기이다(Fig. 1(a)). 유압 감쇠기⁽¹⁾는 좁은 영역의 오리피스스를 지나는 유체의 흐름을 통한 에너지 소산 원리를 이용하여 임의의 구조물에 작용하는 충격이나 진동을 억제하는 원리를 이용한 기계장치로써 점성 감쇠기 역할을 건축 구조물 등에서 사용되고 있다. 그러나 유압감쇠기는 외부에서 가해진 충격을 흡수할 때 감쇠기의 유체내부에서 열이 발생하여 점성의 성질이 바뀔 수도 있다. 또한 가해진 충격에 의해 피스톤이 실린더 쪽으로 밀려 내려왔을 때 자력으로 복원하지를 못해 스프링을 추가로 설치해야하며, 복원하는 시간이 길어 다음에 오는 외부의 충격에 대비하지를 못한다. 뿐만 아니라 유압 감쇠기는 외부에서 가해지는 외부 가진의 주파수에 적응하지를 못하며 대응 주파수 대역이 좁다.

본 연구에서는 이러한 유압 감쇠기의 단점을 보완하고 보

다 효율이 높은 감쇠기를 최신기술인 나노기술을 응용하여 새로운 감쇠기에 대한 연구를 하였다. 새로운 감쇠기는 내부에 점성 유체 대신에 무기재료의 입자를 유체와 혼합하여 콜로이드 상태로 사용하였고 오리피스를 생략함으로써 보다 간단한 구조로 설계가 가능하다(Fig. 1(b)). Fig. 1은 기존의 유압 감쇠기와 콜로이드 감쇠기의 작동유체가 좁은 오리피스를 통해 유입되면서 기계적 에너지를 소산시키는 원리를 간략하게 보여주고 있다. 에로셴코(Eroshenko)^{(2),(3)}에 의해 제안된 이 콜로이드(colloid) 감쇠기는 기존의 실린더 피스톤 구조의 유압 감쇠기를 대체하여 사용이 가능하다(Fig. 1(a)). 본 논문에서는 이 감쇠기를 콜로이드 감쇠기로 표현하기로 한다. 이러한 콜로이드 감쇠기에 대한 이론적 연구는 유체 동역학, 열역학, 분자 간 물리-화학을 고려한 분자 동역학, 그리고 진동학 등의 다학제 간 접근이 요구되어 진다. 따라서 본 연구에서는 현재까지의 콜로이드 감쇠기에서 실험적으로 그 효과를 예상만 하였고, 밝혀내지 못한 이론적인 배경과 그 효과를 실험을 통해서 보다 구체적으로 검증하고자 한다.

2. 나노 콜로이드 감쇠기의 구조

콜로이드 감쇠기는 기계공학 분야에서 나노기술을 적용한

* 정희원 · 동서대학교, 학술연구교수(대표저자 : moonby@pusan.ac.kr)

** 밀양대학교 기계공학과, 교수

본 논문에 대한 토의를 2003년 8월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다. (논문접수일 : 2003. 1. 24 / 심사종료일 : 2003. 3. 27)

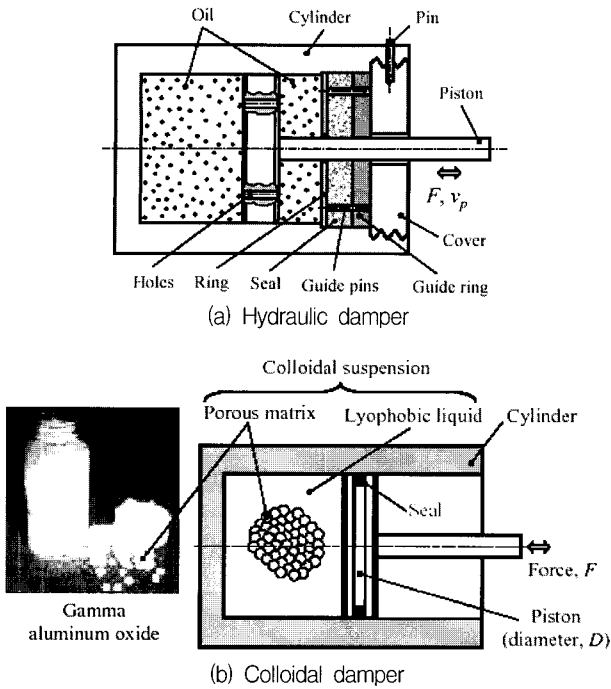


Fig. 1 Construction of hydraulic damper and colloidal damper

새로운 구조물이다. 콜로이드 상태의 무기재료 입자와 유체를 혼합하여 유압감쇠기의 점성유체를 대신하게 된다. 외부의 충격에 대한 완충장치는 특수한 구조를 가진 마이크로 크기의 다공 입자로 구성된다(Fig. 2(a)).

감쇠기에 사용되는 다공질의 입자는 Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 마이크로 단위의 크기의 중공에 나노 단위 크기의 구멍들이 연결되는 구조를 가지고 있다. 예를 들어, 이러한 구조의 다공질 입자는 유기 실리콘 물질로 처리된 실리카 겔 등으로부터 생성이 가능하다. 콜로이드 감쇠기의 내부에 관련된 유체로는 물이 가능하다. 콜로이드 감쇠기가 외란에 의한 압축이 가해지면(Fig. 1(b)), 물은 다공 입자의 나노크기의 입자가 통과 할 수 있는 유로를 통해 입자의 중앙에 위치한 중공내로 유입되어 내부의 공기를 압축한다(Fig. 2(b)). 외란이 제거되어지면, 다공질 입자 표면의 소수화 처리를 통해 발생하는 표면장력이 나노 유로를 통해 중공에 유입

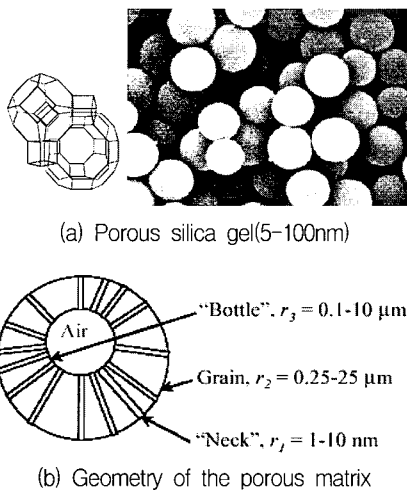


Fig. 2 Structure of silica gel

된 물을 밖으로 밀어내게 되며 이때 압축되었던 공기는 팽창하게 된다. 기존의 유압감쇠기와 콜로이드 감쇠기와와의 차이점은 작동유체가 이동하는 오리피스 크기가 유압감쇠기는 밀리미터 단위, 콜로이드 감쇠기는 나노 단위인 것에 있다.

2.1 가역적 콜로이드 감쇠기의 모델링

콜로이드 감쇠기에서는 고체의 다공성 입자(porous matrix)와 이러한 입자에 대한 소액성 유체(lyophobic liquid)가 콜로이드 완충 역할(colloid suspension)을 하게 된다. 이 때, 고체의 다공성 입자의 표면은 작동유체에 대해 소액화 코팅 처리가 되어 있다. 본 연구에서는 다공성 입자로서 실리카 겔(silica gel)을 사용하였다. Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 반경이 b 인 다공질 입자는 두 가지 형태의 구조를 가질 수 있다. 반경이 a 인 나노 크기의 좁은 통로, 즉 유체가 통과할 수 있는 유로(mesopore)가 일정하지 않은 방향으로 연결된 복잡한 미로 형 구조(labyrinth architecture)(Fig. 3(a))와 나노 유로가 중앙의 공간으로 원형으로 평형을 이루며 일정하게 연결된 중공 형 구조(central cavity architecture)가 있다(Fig. 3(b)). 다공질 입자의 내부와 외부 모든 표면은 유기 실리콘 제질(organo-silicon substance)에 의한 화학처리를 하므로 인해서 소수화 특성(hydrophobic)을 띤다.⁽⁴⁾ 콜로이드 감쇠기에 사용 가능한 소수성 다공질 입자는 최근 그 효율이 매우 높은 것으로 인정되어 공학의 응용분야인 액상도금분야에서 사용되고 있어 그 효과는 이미 입증되고 있다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 본 연구에서는 다공성 입자의 소수화 처리를 다음과 같이 처리하였다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이 긴 선형 n -알킬실레인(n -alkylchlorosilanes)의 분자체인($n=18$, $-\text{Si}(\text{CH}_3)_2 \text{C}_{18} \text{H}_{37}$, 약자표시; C18) 또는 짧은 친수성의 수소화 이온 그룹($n=1$, $-\text{Si}(\text{CH}_3)_3$, 약자표시; C1)의 수소원자로서 대체하여 두 가지 종류의 코팅처리를 하여 실리카겔을 얻을 수 있다.

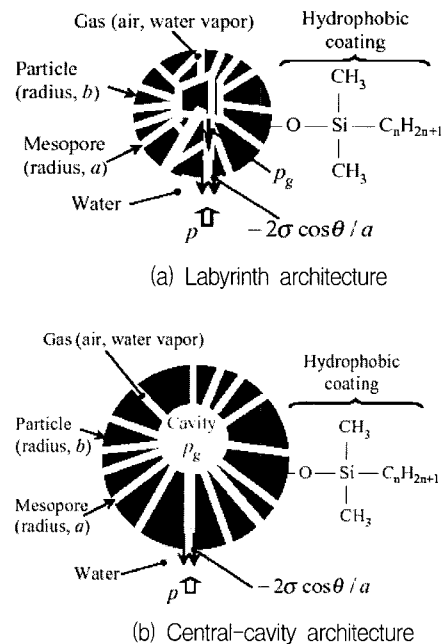


Fig. 3 Architecture of the porous matrix

이렇게 함으로써, 콜로이드 감쇠기는 친수성의 수소화 이온의 그룹으로 구성된 표면을 알킬실레인을 이용한 결합형태로 전환된 실리카 겔로 생성할 수 있는 소수성을 띠는 표면을 가진 다공성 입자로 이루어지 구조로 만들어 질 수 있다. 콜로이드 감쇠기의 에너지 소산 능력은 수소화 처리가 완료된 표면적의 비율과 수소화 코팅을 위해 사용되는 화학 시료의 분자 간 선형 결합 길이에 의해 아주 큰 영향을 받는다. 이들 두 가지 종류의 실리카 겔을 사용하여 각각의 코팅 처리에 대한 효과를 검토해 보고자 한다.

콜로이드 감쇠기의 에너지 사이클 중 압축 공정에서 작동 유체인 물은 다공성 입자 내부로 유입된다. 입자의 모든 표면이 수소화 처리가 되어 있기 때문에 가해진 외부의 압력은 유입된 물을 입자 외부로 밀어 내려는 라플라스 모세관(Laplace capillary) 압력 p_l 과 다공 입자 중앙의 공기의 압력, p_g 에 대해서 같은 크기로 반대 방향으로 작용한다. 외부 합력 p 와 라플라스 압력 p_l 은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$p = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (1)$$

$$p_l = -\frac{2\sigma \cos \theta}{a} \quad (2)$$

여기서 F 는 가해지고 있는 외력이고 D 는 실린더의 직경이다. 그러므로 전체의 압력은 다음과 같이 된다.

$$p = -\frac{2\sigma \cos \theta}{a} + p_g \quad (3)$$

여기서, σ , θ 는 각각 표면장력, 접촉 각도를 나타낸다. 이러한 구조의 압력과 표면장력의 관계는 수은 다공질(porosimetry)⁽⁸⁾와의 유사성과 비교하여 볼 때 이 구조 역시 입자의 다공질이라고 할 수 있다.⁽⁴⁾

콜로이드 감쇠기의 기본 개념은 가해지는 힘(Force)과 실린더의 변위(stroke) 선도의 압축과 압축 해제 곡선 상에서 이력현상(hysteresis)이 발생한다는 것으로 설명 할 수 있다.⁽⁹⁾ 그리고 소산된 에너지는 이력곡선의 면적과 동일하므로 계산 할 수 있다. 결과적으로 액체가 다공질의 입자를 통과하면서 흡수되는 에너지 현상을 기초로 하는 이러한 원리를 충격이나 진동에 의한 에너지의 감쇠 장치에 적용할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 원리를 이용하여 정적 하중 상태에서의 가역적 콜로이드 감쇠기에 대한 실험을 수행하였다. 그리고 가역적 콜로이드 감쇠기의 정적 하중 실험 장치를 구축하였고 실험 결과를 측정하는 방법을 구성하여 그 효과를 검토하였다. 가역성을 띠는 콜로이드 감쇠기에 대한 실험적 연구는 Fig. 4와 같은 정적 실험 장치를 이용하여 수행되었다.

본 연구에서는 나노 유로(pore)와 다공성 입자의 직경, 다공성 입자의 구조, 그리고 대기압 상태에서 유체의 출입을 통제하기위한 코팅처리의 분자 간 길이와 같이 여러 가지

요인의 콜로이드 감쇠기 이력현상에 대한 영향을 실험을 통해 평가하여 검토하였다. 또한 온도, 압력콜로이드 감쇠기의 소산 에너지양과 효율에 대해서도 연구하였다.

2.2 가역적 콜로이드 감쇠기의 실험 장치

Fig. 4는 가역적 콜로이드 감쇠기에 대한 정적 실험장치를 보여 주고 있다. 콜로이드 감쇠작용은 고압 실린더내의 실험 챔버에서 발생한다. 직경, $D=20\text{mm}$ 인 고압 실린더와 고압 용 압력 게이지, 그리고 스레드 플러그(thread plug)가 챔버를 구성하며 장착되어 있다. 실험 챔버에 120MPa 정도의 고압을 발생시킬 수 있도록 실험 챔버는 구리 가스킷과 O형 고리(ring), V형 패킹으로 밀폐되어 있다.

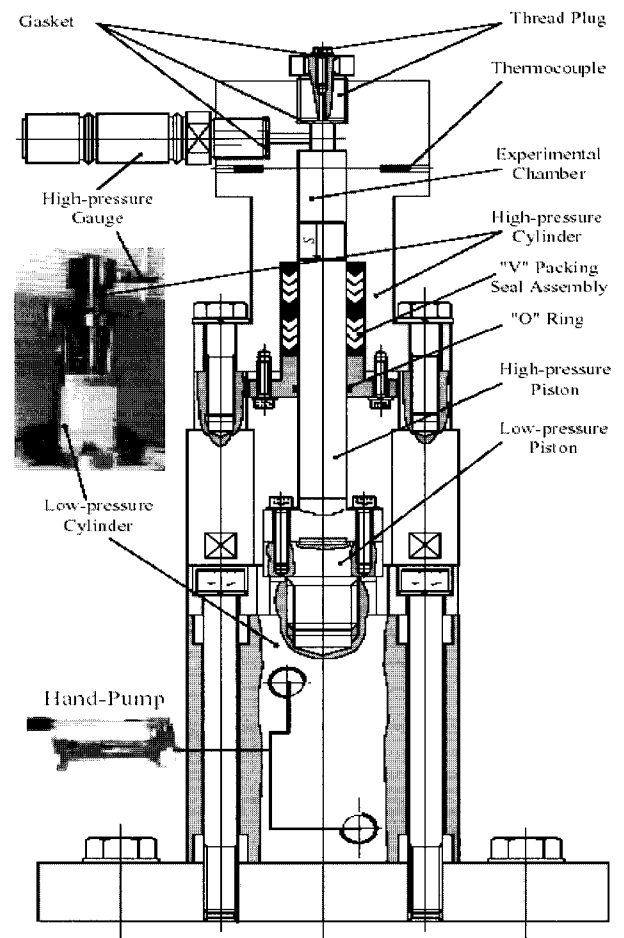


Fig. 4 Colloid damper static test rig

직경, $D_{ha}=80\text{mm}$ 인 저압 실린더는 직경비, $(D_{ha}/D)^2=16$ 을 유지하고, 펌프 압력 P_p 의 유압증폭기 역할을 한다. 낮은 피스톤 속도 또는 주파수의 정적 실험은 수동 펌프를 이용하여 수행하였다. 피스톤의 최대 속도는 다음의 식으로 구하였다.

$$v_{\max} = 4 \frac{Q_{\max}}{(\pi D_{ha}^2)} \quad (4)$$

수동 펌프에서의 유체가 최대 유량, $Q_{\max}=5\text{ml/sec}$ 의 비율

로 전달되었을 때, 피스톤의 최대속도, $v_{max}=1\text{mm/sec}$ 가 된다. Fadeev 등⁽⁴⁾에 의하면, 감쇠기 피스톤이 5~200 mm/sec⁽⁴⁾ 정도의 임계 속도 영역에 다다를 때까지는 콜로이드 감쇠기의 에너지 소산 사이클은 등온상태(isothermal)를 유지하고, 피스톤의 임계속도는 다공질 입자의 특징에 따라 바뀐다. 피스톤이 임계 속도 영역을 넘어선 상태에서는 콜로이드 감쇠기의 에너지 소산 사이클이 준 단열 상태(Quasi-adiabatic)가 된다. 본 연구의 실험에서는 발열 현상이 발생하지 않았다. 각각의 콜로이드 감쇠기에 대한 정적 실험에서 실린더의 변위(S), 감쇠기 챔버 내의 압력(p), 그리고 챔버 내의 온도(T)를 측정하였다. 이러한 실험 데이터는 측정시간(t)에 따라 고속 푸리에 변환장치(FFT Analyzer - Fast Fourier Transform Analyzer)에 기록된다. Fig. 5는 측정된 자료를 고속 푸리에 변환장치에 의해 기록하는 실험 장치의 구조도를 보여준다.

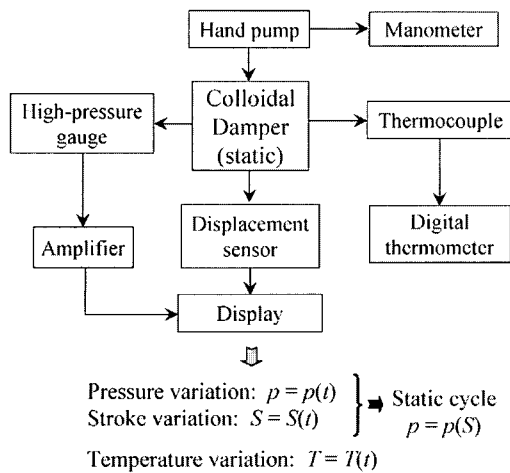


Fig. 5 Measurement equipment

측정된 압력과 실린더 변위 사이의 시간은 무시하였기 때문에 가역적 콜로이드 감쇠기의 정적 이력곡선에서 압력은 다음과 같이 변위의 함수로 나타내어진다.

$$p = p(S) \tag{5}$$

3. 실험과 해석의 결과 및 검토

고안된 실험 장치와 데이터 처리 방법을 이용하여 실험을 수행하였고 그 결과를 토대로 제안된 감쇠기의 효과를 검토하였다.

실험에 사용된 다공성 입자를 이루는 재질들의 대한 주요 특성 값들을 Table 1에 정리하여 나타내었다. 재료는 실리카 겔을 사용하였다. 각 재료의 심볼과 상표를 표시하였으며 각 입자의 다공질 구조도 함께 표현하였다. 그리고 코팅 처리 방법과 물성치들을 각각 표현하였다.

3.1 감쇠기의 소산된 에너지량과 효율

가역적 콜로이드 감쇠기의 소산된 에너지량과 효율은 다음과 같이 구해질 수 있다.

Table 1 Characteristics of the studied porous materials

Material	Silica gel		
	TMS	ODS	
	Sylosphere		BU
Symbol	S1	S2	S3
Trade name	C1504 DBA4.5	C1504	0020MT
Architecture	Labyrinth		
Grafted molecule	C1	C18	C18
(2a) _{mean} [nm]	12.8	8.9	7.0
(2b) _{mean} [μm]	4	4	20
Bonding dens. [group/nm ²]	2.10	2.10	2.23

$$E = \frac{\pi D^2}{4} \int_0^{S_{max}} (p_C - p_R) \cdot dS \tag{6}$$

$$\eta = E / \int_0^{S_{max}} p_C \cdot dS \tag{7}$$

여기서 p_C , p_R 는 각각 압축 공정시 압력, 압축 해제 공정시 압력을 나타내고 있다.

그리고 콜로이드 감쇠기의 효율은 유압감쇠기의 효율과 비교하여 그 효과를 검토할 필요가 있다.

기존의 유압감쇠기가 에너지 소산 할 때의 감쇠의 효율은 η [%]는 사이클 동안에 소산된 에너지 E 와 사이클 동안에 외부로부터 흡수된 에너지 E_a 의 비율로써 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\eta = 100 E / E_a \tag{8}$$

그리고 유압감쇠기의 최대 효율은 Fig. 1(a)에서 알 수 있는 바와 같이 다음과 같이 표현 될 수 있다.⁽⁹⁾

$$\eta_{max,HD} = 100 [1 - (d/D)^2] \tag{9}$$

설계에 의하면 피스톤 로드의 지름이 $d=0.7D$ 일 때 유압 감쇠기의 이론적 효율은 51% 보다 적다. 그러나 실제의 제작된 감쇠기의 효율은 30-40%이다.

기계 구조물은 외부로부터 충격이나 진동을 받을 때 일회 에 한정된 하중을 받을 수도 있으나 가해지는 하중을 계속하여 연속적으로 받을 때도 있다. 구조물에 사용되는 감쇠기는 이러한 연속적인 하중을 받을 때도 에너지를 소산시키는 능력이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 맨 처음 하중이 가해졌을 때의 에너지 감쇠 효과와 첫 번째 이후의 두 번째, 세 번째의 연속적인 하중이 가해진 상태에서 에너지 소산 효율이 어느 정도 인지를 조사하여 m 번째(mth hysteresis) 사이클의 이력곡선으로 나타내었다.

식 (6), (7)을 이용하여 T=20°C, 실리카 겔, S3, M=4g을 이용한 가역적 콜로이드 감쇠기에 대한 에너지 소산량과 효율을 가해진 압력에 대해 구할 수 있다(Fig. 6(a),(b)). 연속하중 상태에 대한 그래프는 첫 번째(1st hysteresis) 이력곡선을

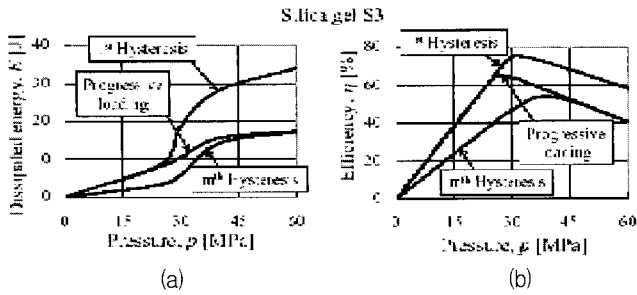


Fig. 6 Dissipated energy and efficiency versus pressure – Silica gel S3

시작으로 m 번째(m^{th} hysteresis) 사이클의 이력곡선으로 끝난다. m 번째 이력곡선 상에서 소산된 에너지량은 첫 번째 이력곡선의 대략 50% 정도이다. 그리고, 첫 번째와 m 번째 이력곡선의 최대 효율은 각각 76%, 54%이며, 각각 최적의 압력, 30MPa, 40MPa에서 발생한다는 것을 그림의 그래프에서 확인할 수 있다(Fig. 6(b)).

고안된 실험 장치와 데이터 처리 방법을 이용하여 실험을 수행하였고 그 결과를 토대로 제안된 감쇠기의 효과를 검토하여 Table 2에 나타내었다. 실리카 겔, S1, S2, S3을 사용한 콜로이드 감쇠기의 m 번째 이력곡선의 에너지 소산량은 첫 번째 이력곡선에서의 에너지 소산량의 비 $\left(\frac{E_{max, Cm}}{E_{max, C1}}\right)$ 는 대략 41%, 35%, 50% 정도이다.

실리카 겔, S1, S2, S3를 사용한 콜로이드 감쇠기의 첫 번째 이력곡선의 최대 효율($\eta_{max, C1}$)은 97%, 91%, 76%이다. 실리카 겔, S1, S2, S3을 사용한 콜로이드 감쇠기의 m 번째 이력곡선의 최대 효율($\eta_{max, Cm}$)은 81%, 80%, 54%이다. 이는 기존의 유압감쇠기의 최대효율에 비해 대략 2배 보다 높은 값을 보인다.

Table 2 Results of the studied porous materials

Material	Silica gel		
Symbol	S1	S2	S3
$E_{max, C1}$ [J]	20	35	34
$\frac{E_{max, Cm}}{E_{max, C1}}$	0.41	0.35	0.50
$\eta_{max, C1}$ [%]	97	91	76
$\eta_{max, Cm}$ [%]	81	80	54
p_{max} [MPa]	16.5	60	60

위에서 살펴본 바와 같이 콜로이드 감쇠기는 기존의 유압 감쇠기와 다른 특징을 가지고 있다. 이러한 장점들을 고려할 때, 콜로이드 감쇠기는 산업 기기 엔진의 방진마운트, 건물의 내진장치, 그리고 다양한 진동 억제 장치 등에도 적용될 수 있다.

3.2 코팅처리의 결합된 분자간 길이의 영향

코팅처리로 인한 분자 간 결합길이에 대한 영향을 알아보기 위하여 T=20°C의 실리카 겔, S1, M=2.5g과 실리카 겔, S2, M=2.5g에 대해 실험을 수행하여 각각 Fig. 7(a),(b)과 Fig. 8(a),(b)에 나타내었다.

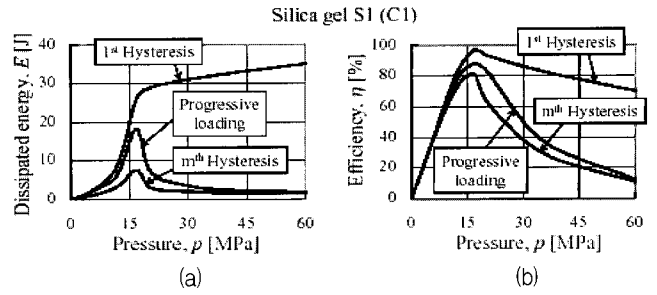


Fig. 7 Influence of the length of the grafted molecule – Silica gel S1(C1)

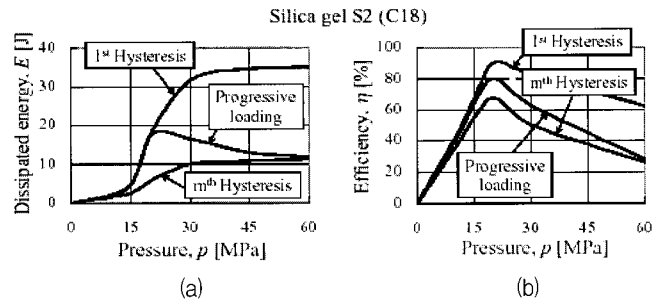


Fig. 8 Influence of the length of the grafted molecule – Silica gel S2(C18)

이러한 실리카 겔은 동일한 초기 구조와 결합밀도($2.1 \frac{groups}{nm^2}$)를 가지고 있다(Table 1). 두 가지 종류의 실리카 겔의 차이는 소수화 처리에 사용된 알킬실레인 결합 길이가 실리카 겔, S1,은 짧고(C1), 실리카 겔, S2,는 길다(C18)는 것이다. 첫 번째 이력곡선의 에너지는 C1과 C18 소수화 처리에 의한 코팅에 대해 가해진 압력에 의해서 발생하는 변화량이 유사하다(Fig. 7(a), Fig. 8(a)). 실리카 겔, S1,에 대해서 m 번째 이력곡선은 압력이 증가함에 따라 에너지 소산량이 증가하다가 최적값인 16.5MPa 압력을 기점으로 압력이 증가함에 따라 서서히 감소한다. 25MPa 이상의 압력에서는 에너지 소산량이 거의 나타나지 않는다(Fig. 7(a)). 이것은 에너지 소산 사이클의 압축공정에서 유입된 물이 입자 내에 남아 있음으로써 압축 해제 공정 시에 표면장력에 의한 작용 물을 밀어내는 역할이 원활하게 이루어지지 않고 있음을 보여준다. 그러나 실리카 겔, S2,의 경우 m 번째 이력곡선의 에너지 변화량 추이가 첫 번째 이력곡선에서와 동일한 양상을 보이고 있다. 이것은 에너지가 압력과 함께 점진적으로 증가하고 있음을 보여준다(Fig. 8(a)). 60MPa에서의 m 번째 이력곡선의 에너지 소산량은 첫 번째 이력곡선에서의 에너지 소산량의 대략 30% 정도이다(Fig. 8(a)). 콜로이드 감쇠기의 에너지 소산효율 측면에서는 C1, C18에 의한 소수화 코팅처리 모델이 비슷한 경향을 보이고 있다(Fig. 7(b), Fig. 8(b)). 실리카 겔, S1,을 사용한 콜로이드 감쇠기의 첫 번째 이력곡선의 최대 효율, 97%,는 기존의 유압감쇠기의 최대효율에 비해 대략 3배 보다 높은 값을 보인다(Fig. 7(b)). 소수화 코팅처리로 인한 분자간 거리의 영향을 설명하기 위해 실리카 겔, S1, S2,에 대해 서로 다른 열에 의한 실험을 수행하여 그 결과를 검토하였다. 이러한 실험은 다공질 입자에 대한 소수화

처리가 확실하게 되어 그 결과가 성공적으로 실시되었다는 사실과 소수화 처리된 실리카 겔이 물과 무관하게 작동함을 보여 준다. 실험에 의한 증발 온도는 분자간 거리가 C18에 대해선 220°C, C1에 대해선 450°C이다. 이러한 열의 측면에서 살펴 볼 때, C1 소수화 처리가 C18보다 더 안정적임을 알 수 있다. 반면에, 60MPa의 압력은 코팅 분자 거리 C18 실리카 겔 모델에서는 아무런 영향을 미치지 않지만, C1코팅 모델의 경우에는 부분적으로 손상을 입히는 압력이다. 결과적으로 압력을 가하는 실험의 관점에서는 C18 소수화 처리 모델이 C1 모델보다 더 안정적임을 보여 준다.

3.3 소산된 에너지량과 압력과의 관계

실리카 겔 모델, S1(첫 번째 이력곡선), S2, S3(첫 번째와 m 번째 이력곡선),에 대한 무차원화 된 소산된 에너지량과 무차원화 압력사이의 그래프를 Fig. 9에서 보여주고 있다. C18 인 모델의 경우, 첫 번째와 m 번째 이력곡선이 일치함을 알 수 있다. 본 연구의 실험결과는 에로센코의 결과⁽³⁾와 동일한 양상을 보이며, 실험에 사용된 다공 입자의 서로 다른 구조로 인하여 결과 값의 차이가 발생한다.

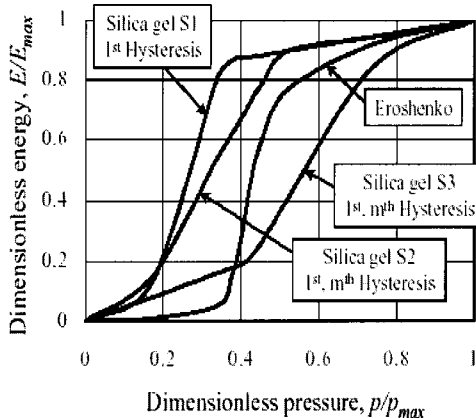


Fig. 9 Dimensionless energy versus dimensionless pressure

에로센코의 모델과 실리카 겔, S1(C1코팅),은 동일한 수평의 중심 구조 영역을 가지고 있다. 마찬가지로 실리카 겔, S2, S3(C18 코팅),도 동일한 수평의 중심 구조 영역을 가지고 있다. 따라서 가해진 외부 압력의 무차원량에 대한 에너지 소산량의 무차원화된 그래프의 중앙 고조 영역의 기울기는 소수화 코팅 처리에 사용된 분자간 거리에 관계가 있음을 알 수 있다.

기존의 유압감쇠기에서는 나타나지 않는 이러한 특징은 콜로이드 감쇠기가 내진 감쇠기나 항공기 랜딩 기어용으로 사용 가능하다는 사실을 입증한다. 이러한 종류의 시스템에 가역적 콜로이드 감쇠기가 채용되어 사용된다

면 산업시설에 경제적인 뿐만 아니라 유용한 구조가 될 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 외부의 충격에 대한 새로운 감쇠기를 나노 기술을 이용하여 설계하는 연구를하였다. 콜로이드와충역할을 하는 입자로는 미로구조를 가지는 실리카 겔을 사용하였고, 입자에 관련한 작동 유체로는 물을 사용하여 실험적으로 그 효과를 검증하였다. 콜로이드 감쇠기를 구현하기 위해서는 형성된 실리카 겔 입자의 표면을 유기 실리콘 매질을 이용한 소수화 코팅 처리를 하였다. 콜로이드 감쇠기의 이력곡선의 형상은 소수화 처리의 분자간 거리와 결합밀도에 따라서 변함을 알 수 있었다. 열역학적 측면과 가압을 하는 측면에서의 소수화 처리에 따른 안정성을 확인하였다. 또한, 에너지 소산량은 소수화 처리에 사용된 분자간 거리에 관계가 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Chironis N. P., *Spring Design and Application*, McGraw-Hill, New York, 1961.
2. Eroshenko V. A. and Fadeev A. Y., "Intrusion and Extrusion of Water in Hydrophobized Porous Silica," *Colloid Journal*, No. 57, 1995, pp. 480-483.
3. Eroshenko V.A. and Fadeev A.Y., "A Study of the Surface of Chemically Modified Porous Silicas by Water Porosimetr," *Russian Journal Physical Chemistry*, No. 70, 1996, pp. 1380-1383.
4. Fadeev A. Y. and Eroshenko A. V., "Study of Penetration of Water into Hydrophobized Porous Silica," *Journal of Colloid and Interface Science*, No. 187, 1997, pp. 275-282.
5. Snyder L.R. and Kirkland J. J., *Introduction to Modern Liquid Chromatography*, John Wiley & Sons, New York, 1979.
6. Staroverov S. M. and Fadeev A. Y., "Apparent Simplicity of Reversed Stationary Phases for High-Performance Liquid Chromatograph," *Journal of Chromatography*, No. 544, 1991, pp. 77-98.
7. Unger K. K., *Porous Silica - Its Properties and Use as Support in Column Liquid Chromatography*, Elsevier, Amsterdam, 1988.
8. Gregg S. J. and Sing K. S. W., *Adsorption, Surface Area and Porosity*, Academic Press, San Diego, 1982.
9. Harris C. M. and Crede C. E., *Shock and Vibration Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1968.