

실리카 분말을 이용한 나노 충격완화 장치의 설계에서 작동 유체 영향과 복원 시간에 대한 연구

문병영[†] · 김병수*

동서대학교 산업기술연구소

*인제대학교 기계 자동차 공학부

(2003년 2월 27일 접수; 2003년 3월 19일 승인)

Effect of Water Volume and Relaxation Time in the Design of Nano Shock Absorbing Damper Using Silica Particle

Byung Young Moon[†] and Byeong Soo Kim*

Industrial Technical Research Center, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

*Mechanical Automobile Department, Inje University, Kyongnam 621-749, Korea

(Received February 27, 2003; Accepted March 19, 2003)

초 록

본 연구에서는 나노기술을 이용하여 에너지 감쇄 기능을 활용한 감쇄기 개발에 대한 기초적인 연구를 하였다. 기계 구조물에 사용되는 기존의 유체 감쇄기를 대체할 수 있는 무기재료를 이용한 새로운 감쇄기에 대한 기초연구를 수행하여 감쇄기 설계와 실용화에 적용하고자 하였다. 완충역할을 하는 입자로는 미로구조를 가지는 실리카겔을 사용하였고, 입자에 관련한 작동 유체로는 물을 사용하여 실험적으로 그 효과를 검증하였다. 콜로이드 감쇄기를 구현하기 위해서는 형성된 실리카겔 입자의 표면을 유기 실리콘 매질을 이용한 소수화 코팅 처리를 하였다. 콜로이드 감쇄기의 에너지 감쇄량과 효율을 작동 유체에 대하여 각각 구하여 유효한 감쇄 효과를 입증하여 설계에 반영할 수 있게 되었다. 또한 압축해체에 걸리는 시간을 조사하여 기존의 유압 감쇄기와 비교한 결과 본 논문에서 제안된 감쇄기의 기능이 우수함이 입증되었다.

ABSTRACT

In this study, new shock absorbing system was proposed using silica gel particles according to the nano-technology. For the design and real application of the proposed damper, an experimental investigations are carried out using colloidal damper, which is statically loaded. The porous matrix is composed from silica gel(labyrinth 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 were described. Influence of the water volume and particle diameters upon the reversible colloidal damper hysteresis was investigated. Also, influence of the relaxation time on the hysteresis of the damper was investigated. As a result, the proposed new shock absorbing damper is proved as an effective one, which can be replaced for the conventional hydraulic damper.

Key words : Nano-technology, Porous silica gel, Labyrinth mesopore particle, Hydrophobic coating, Relaxation time, Water volume

1. 서 론

산업시설의 기계구조 중에서 외부에 대한 충격흡수 장치는 여러 가지가 있다. 이러한 기구 중에서 산업시설에 널리 사용되고 있는 것이 Fig. 1(a)에서 볼 수 있는 피스톤, 실린더, 점성유체 그리고 좁은 관인 오리피스 구조로 이루어진 유압 감쇄기이다. 유압 감쇄기¹⁾는 좁은 영역의 오리피스를 지나는 유체의 흐름을 통한 에너지 소산 원

리를 이용하여 임의의 구조물에 작용하는 충격이나 진동을 억제하는 원리를 이용한 기계장치로서 기계 구조물 등에서 사용되고 있다. 그러나 점성 감쇄기 역할을 하는 유압 감쇄기는 외부에서 가해진 충격을 흡수할 때 감쇄기의 유체 내부에서 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 감쇄기는 외부에서 가해지는 진동의 주파수에 적응하지를 못하며 대응 주파수 대역이 좁다.

본 연구에서는 이러한 유압 감쇄기의 단점을 보완하고

[†]Corresponding author : Moon Byung Young
E-mail : moonby20@hanmail.net
Tel : +82-51-510-3442 Fax : +82-51- 513-3760

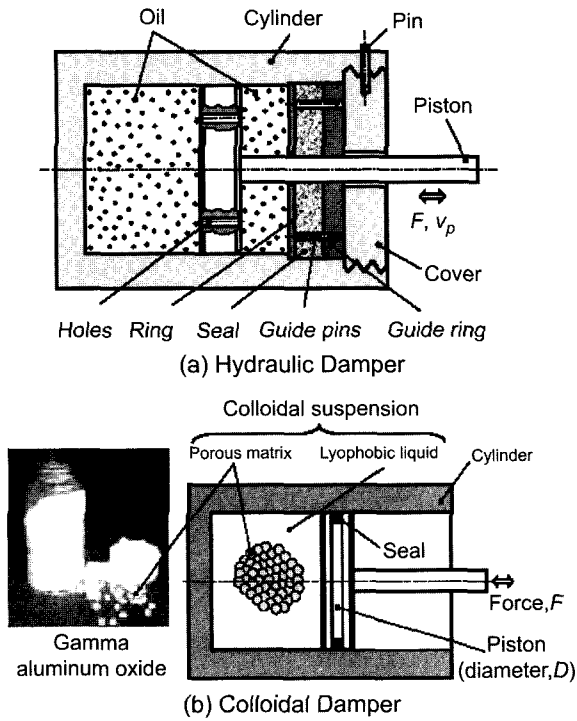


Fig. 1. Construction of hydraulic damper and colloidal damper.

보다 효율이 높은 감쇄기를 나노기술을 응용하여 새로운 감쇄기에 대한 기초적 연구를 하였다. 새로운 감쇄기는 내부에 점성 유체 대신에 무기재료의 입자를 유체와 혼합하여 콜로이드 상태로 사용하였고 오리피스를 생략함으로써 보다 간단한 구조로 설계를 Fig. 1(b)와 같이 하였다. Fig. 1은 기존의 유압 감쇄기와 콜로이드 감쇄기의 작동유체가 좁은 오리피스를 통해 유입되면서 기계적 에너지를 소산시키는 원리를 간략하게 보여주고 있다.

Eroshenko^{2,3)}에 의해 제안된 이 감쇄기는 기존의 실린더, 피스톤 구조의 유압 감쇄기를 대체하여 사용이 가능하다. 본 논문에서는 이 감쇄기를 콜로이드(colloid) 감쇄기로 표현하기로 한다. 이러한 콜로이드 감쇄기에 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 감쇄기에서 실험적으로 그 효과를 예상만 하였고, 밝혀내지 못한 이론적인 배경과 그 효과를 실험을 통해서 보다 구체적으로 검증하여 실제의 감쇄기를 설계하는데 도움이 되고자 한다.

2. 나노 콜로이드 감쇄기의 구조

콜로이드 감쇄기는 공학 분야에서 나노기술을 적용한 새로운 구조물이다. 콜로이드 상태의 무기재료 입자와 유체를 혼합하여 유압감쇄기의 점성 유체를 대신하게 된다.

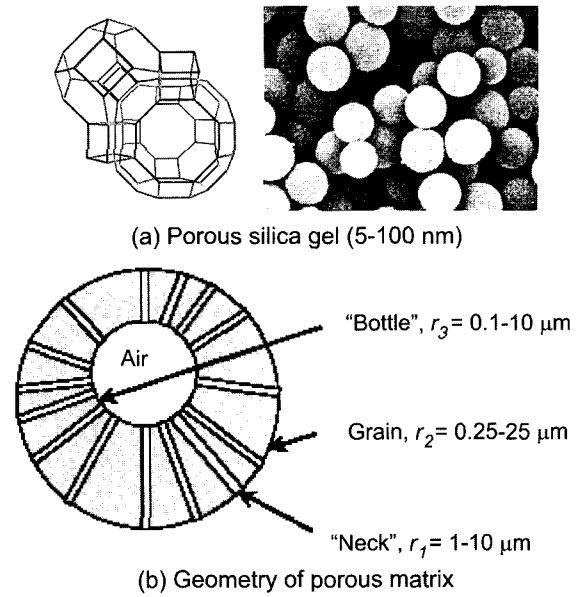


Fig. 2. Structure of silica gel.

외부의 충격에 대한 완충장치는 특수한 구조를 가진 Fig. 2(a)와 같은 마이크로 크기의 다공 입자로 구성된다. 다공질의 입자는 Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 마이크로 단위의 크기의 중공에 나노 단위 크기의 구멍들이 연결되는 구조를 가지고 있다. 이러한 구조의 다공질 입자는 유기 실리콘 물질로 처리된 실리카 겔 등으로부터 생성이 가능하다. 콜로이드 감쇄기의 내부에 관련된 유체로는 물이 가능하다. 콜로이드 감쇄기가 충격, 진동과 같은 외부 가진에 의한 압축이 Fig. 1(b)와 같이 가해지면, 물은 다공 입자의 나노 크기의 입자가 통과 할 수 있는 유로(pore)를 통해 입자의 중앙에 위치한 중공내로 유입되어 내부의 공기를 Fig. 2(b)와 같이 압축한다. 외란이 제거되어지면, 다공질 입자 표면의 소수화 처리를 통해 발생하는 표면장력이 나노 유로를 통해 중공에 유입된 물을 밖으로 밀어내게 되며 이때 압축되었던 공기는 팽창하게 된다. 기존의 유압감쇄기와 콜로이드 감쇄기와의 차이점은 작동유체가 이동하는 오리피스의 크기가 유압감쇄기는 밀리미터 단위, 콜로이드 감쇄기는 나노 단위인 것에 있다.

2.1. 실리카 입자의 내부구조와 소수화 코팅

콜로이드 감쇄기에서는 고체의 다공성 입자(porous matrix)와 이러한 입자에 대한 소액성 유체(lyophobic liquid)가 콜로이드 완충 역할(colloid suspension)을 하게 된다. 이때, 고체의 다공성 입자의 표면은 작동유체에 대해 소액화 코팅 처리가 되어 있다. 본 연구에서는 다공성 입자로서 실리카 겔(silica gel)을 사용하였다.

다공질 입자의 내부와 외부 모든 표면은 유기 실리콘 재질(organo-silicon substance)에 의한 화학처리를 함으로

인해서 소수화 특성(hydrophobic)을 가지게 된다.⁴⁾ 콜로이드 감쇄기에 사용 가능한 소수성 다공질 입자는 최근 그 효율이 매우 높은 것으로 인정되어 액상 도금분야에서 사용되고 있어 그 효과는 이미 입증되고 있다.⁵⁻⁷⁾

콜로이드 감쇄기의 에너지 소산 능력은 소수화 처리가 완료된 표면적의 비율과 소수화 코팅을 위해 사용되는 화학 시료의 분자 간 선형 결합 길이에 의해 아주 큰 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 다공성의 무기재료입자를 소수화 처리하여 코팅 처리에 대한 효과를 검토해 보고자 한다. 소수화 처리하여 실험에 사용된 다공성 입자를 이루는 재질들의 대한 주요 특성 값의 한 예를 Table 1에 정리하여 나타내었다.

재료는 중공구조의 실리카 겔을 사용하였고 재료의 심볼과 상표를 표시하였다. 그리고 코팅 처리 방법을 표현하였다. Table 1에 나타낸 실리카겔 입자의 중공타입 모양을 현미경을 통해 조사하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)에는 입자의 형태가 나타나 있고, Fig. 3(b)에는 입자를 광학적으로 조사한 모양이며 Fig. 3(c)에는 전자식으로 스캔한 입자의 모양을 보여 주고 있다. 각 입자의 소수화

Table 1. Characteristics of the Studied Silica Gels

Trade name of silica gel	B-6C
Range of grain diameter	0.5-6.0 μm
Grain mean diameter	2.0-2.5 μm
Real density	2.1 g/ml
Apparent density	0.18-0.20 g/ml
Range of pore diameter on the grain surface	5-15 nm
Specific surface area	550-600 m ² /g
Pore volume	1.2-1.3 ml/g
Molecule used for hydrophobic coating	C18
Bonding density, N [groups/nm ²]	1.8

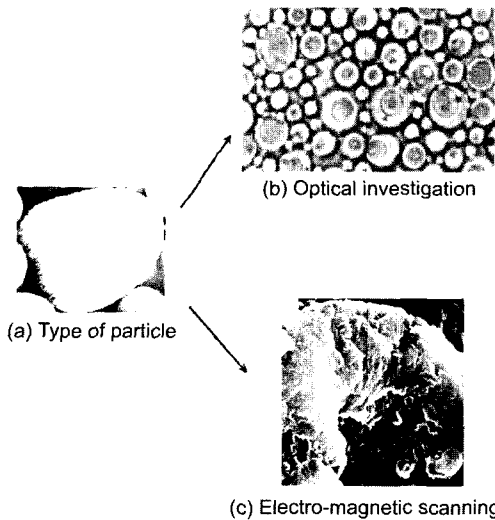


Fig. 3. Photo of silica gel balls with central-cavity architecture.

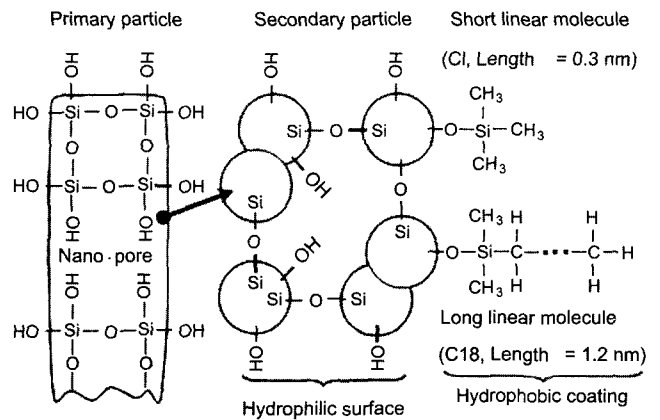


Fig. 4. Structure and hydrophobic coating of silica gel particles.

처리과정은 Fig. 4에 보이는 바와 같이 나노 관(pore)에 소수성의 표면이 이차적으로 구성되고 다음에 분자들이 코팅을 이루게 된다.

이때 코팅되는 두께는 짧은 분자결합인 경우 (C1길이= 0.3 nm)이고 긴 분자결합인 경우 (C18 길이=1.2 nm)이다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 긴 선형 n-알킬실레인(n-alkylchlorosilanes)의 분자체인(n=18, -Si(CH₃)₂C₁₈H₃₇, 약자표시; C18) 또는 짧은 친수성의 수소화 이온 그룹(n=1, -Si(CH₃)₃, 약자표시; C1)의 수소원자로써 대체하여 두 가지 종류의 코팅처리를 하여 실리카겔을 얻을 수 있었다.

이렇게 함으로써, 콜로이드 감쇄기는 친수성의 수소화 이온의 그룹으로 구성된 표면을 알킬실레인을 이용한 결합형태로 전환된 실리카 겔로 생성할 수 있는 소수성을 띄는 표면을 가진 다공성 입자로 이루어지는 구조로 만들어 질 수 있다. 이 실리카 겔을 이용하여 감쇄기에 사용하여 감쇄 효과를 고찰하였다.

2.2. 입자에 가해지는 압력과 표면장력

콜로이드 감쇄기의 에너지 사이클 중 압축 공정에서 작동 유체인 물은 다공성 입자 내부로 유입되어 공기를 압축하게 되고 외부하중이 제거 되었을 때는 관의 표면 장력으로 인해 유체가 밖으로 나오게 된다. 이 과정을 Fig. 5에 나타내었다.

입자의 모든 표면이 소수화 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 압력 p 와 라플라스 압력 p_l 은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$p = \frac{4F}{\pi D^2} \tag{1}$$

$$p_l = -\frac{2\sigma \cos \theta}{a} \tag{2}$$

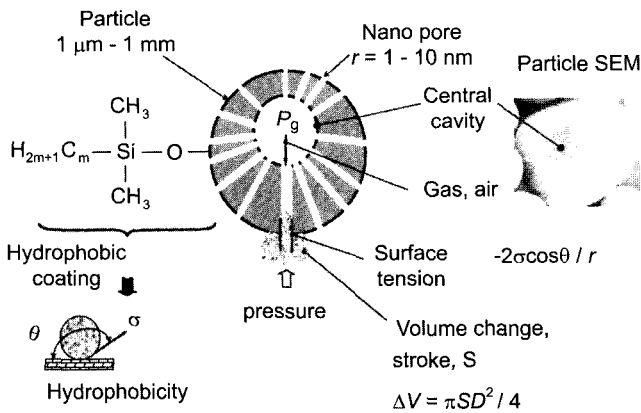


Fig. 5. Mechanism of colloidal dissipation.

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, α , θ 는 각각 표면장력, 접촉 각도를 나타낸다. 이러한 구조의 압력과 표면장력의 관계는 수은 다공질 (porosimetry)⁸⁾과의 유사성과 비교하여 볼 때 이 구조 역시 입자의 다공질이라고 할 수 있다.⁴⁾ 콜로이드 감쇄기의 기본 개념은 가해지는 힘과 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 계산할 수 있다. 결과적으로 액체가 다공질의 입자를 통과하면서 흡수되는 에너지 현상을 기초로 하는 이러한 원리를 충격이나 진동에 의한 에너지의 감쇄 장치에 적용할 수 있다.

3. 감쇄기의 설계 및 실험

본 연구에서는 정적 하중 상태에서의 가역적 콜로이드 감쇄기에 대한 실험을 수행하였다. 그리고 가역적 콜로이드 감쇄기의 정적 하중 실험 장치를 구축하였고 실험 결과를 측정하는 방법을 구성하여 그 효과를 검토하였다. 가역성을 띄는 콜로이드 감쇄기에 대한 실험적 연구는 Fig. 6과 같은 감쇄기를 설계하여 이 성능을 실험하기 위해 정적 실험 장치를 구성하였다. 이 실험 장치를 이용하여 콜로이드 감쇄기내 에서의 다공질 입자와 혼합되어 사용되는 작동 유체의 적정량에 대한 연구를 수행하였다. 또한 감쇄기가 하중을 받아서 압축이 되고 하중이 제거 되어 피스톤이 원래의 위치로 되돌아오는 시간은 감쇄기의 성능상 매우 중요하기 때문에 이를 조사하여 이력현상에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

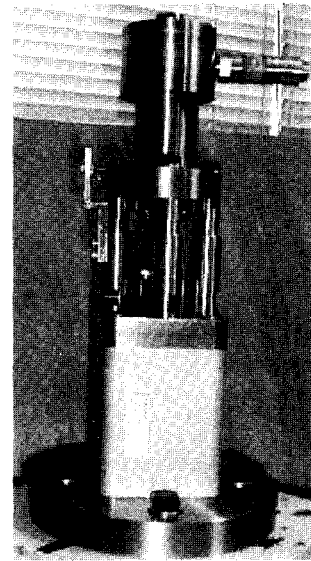


Fig. 6. Colloid damper static test rig.

3.1. 콜로이드 감쇄기의 실험 장치

Fig. 6은 가역적 콜로이드 감쇄기에 대한 정적 실험 장치를 보여 주고 있다. 콜로이드 감쇄작용은 고압 실린더 내의 실험 챔버에서 발생한다. 직경, $D=20$ mm인 고압 실린더와 고압용 압력 게이지, 그리고 스레드 플러그(thread plug)가 챔버를 구성하며 장착되어 있다. 실험 챔버에 120 MPa 정도의 고압을 발생시킬 수 있도록 실험 챔버는 구리 가스킷과 O형 고리(ring), V형 패킹으로 밀폐되어 있다. 직경, $D_{ha}=80$ mm인 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 $Q_{max}=5$ ml/s의 비율로 전달되었을 때, 피스톤의 최대속도, $v_{max}=1$ mm/s가 된다. 참고문헌에 의하면, 감쇄기 피스톤이 5~200 mm/s⁴⁾ 정도의 임계 속도 영역에 다다를 때까지는 콜로이드 감쇄기의 에너지 소산 사이클은 등온상태(isothermal)를 유지한다. 그리고 피스톤의 임계속도는 다공질 입자의 특징에 따라 바뀐다. 피스톤이 임계 속도 영역을 넘어선 상태에서는 콜로이드 감쇄기의 에너지 소산 사이클이 준 단열 상태(Quasi-adiabatic)가 된다. 본 연구의 실험에서는 주목할 만한 큰 발열 현상이 발생하지 않았다. 각각의 콜로이드 감쇄기에 대한 정적 실험에서 실린더의 변위(S), 감쇄기 챔버 내의 압력(p), 그리고 챔버 내의 온도(T)를 측정하였다.

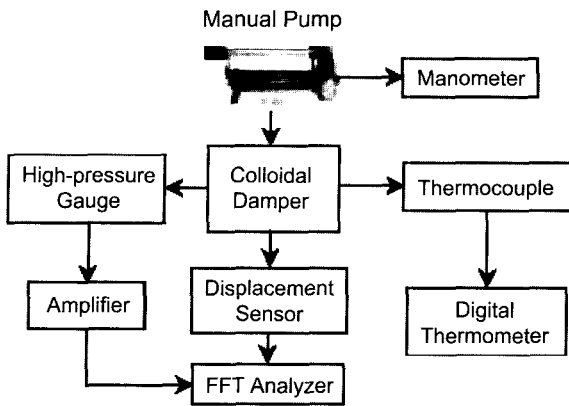


Fig. 7. Measurement equipment.

이러한 실험 데이터는 측정시간에 따라 고속 푸리에 변환장치(FFT Analyzer-Fast Fourier Transform Analyzer)에 기록된다. Fig. 7은 측정된 자료를 고속 푸리에 변환장치에 의해 기록하는 실험 장치의 구조도를 보여준다. 측정된 압력과 실린더 변위 사이의 시간은 무시하였기 때문에 가역적 콜로이드 감쇄기의 정적 이력곡선에서 압력은 다음과 같이 변위의 함수로 나타내어진다.

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

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

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

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

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

3.2. 다공성 입자 구조-미로형 구조

감쇄기에 사용된 실리카 겔의 내부 구조를 Fig. 8에 미로형 구조로 나타내었다.

미로형 구조에서 입자의 반경은 고 다공관의 반경이다. 나노 단위 크기의 좁은 통로, 즉 유체가 통과 할 수 있는 유로(mesopore)가 일정하지 않은 방향으로 연결된 복잡한 구조를 구성하고 있음을 Fig. 8에서 알 수 있다(Labyrinth architecture). 실험에 사용된 실리카 겔의 다공성 입자를 이루는 재질에 대한 주요 특성 값들을 Table 2에 정리하여 나타내었다. 각 재료의 심볼과 상표를 표시하였다. 그리고 코팅 처리 방법과 물성치들을 각각 표현하였다.

4. 실험 해석의 결과 및 검토

고안된 실험 장치와 코팅 처리된 실리카 분말을 이용

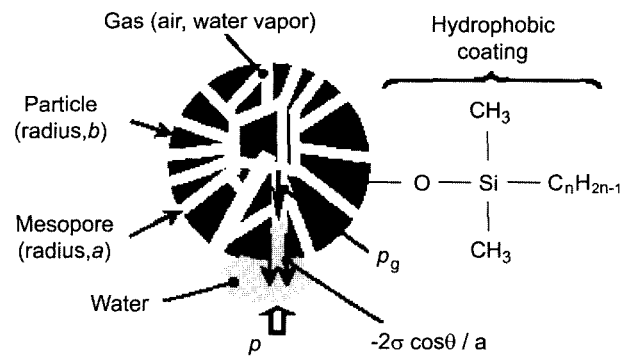


Fig. 8. Labyrinth architecture of the porous matrix.

Table 2. 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} [nm]	4	4	20
Bonding dens. [group/nm ²]	2.10	2.10	2.23

하여 실험을 수행하였고 그 결과를 고찰하여 제안된 감쇄기의 효과를 검토하였다.

4.1. 미로구조의 다공성 입자에 의한 감쇄 효과

미로 구조 실리카겔 재료를 사용하여 가역적 콜로이드 감쇄기에 대한 에너지 소산량과 효율을 식 (6), (7)을 이용하여 T=20°C, M=4 g을 이용하여 각각 구하였다. 에너지 소산량의 최대값, 최대효율 그리고 최대 압력에 대한 값을 분자의 코팅 구조에 따라서 구하여 그 결과 값을 Table 3에 나타내었다.

그리고 다공성 입자가 미로구조인 S3의 경우에 대한 감쇄기의 실험 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9(a), (b)는 온도 20°C의 실리카 겔, S3, M=4 g을 사용한 가역적 콜로이드 감쇄기의 최대 하중상태에 따른 첫 번째와 mth의 이력곡선을 보여주고 있다. 가역적 콜로이드 감쇄기의 에너지 소산량을 나타내는 이력곡선의 면적은 압력이 증가함에 따라 같이 증가함을 알 수 있다. 첫 번째 이력곡선은 감쇄기의 특성을 나타내는 대표적 곡선으로써 동일한 조건의 m 번째 이력곡선에 비해 면적이 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 실리카 겔, S1, S2, S3를 사용한 콜로이드 감쇄기의 m 번째 이력곡선의 에너지 소산량은 첫 번째 이력곡선에서의 에너지 소산량에 대하여

Table 3. Results of the Labyrinth Type 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

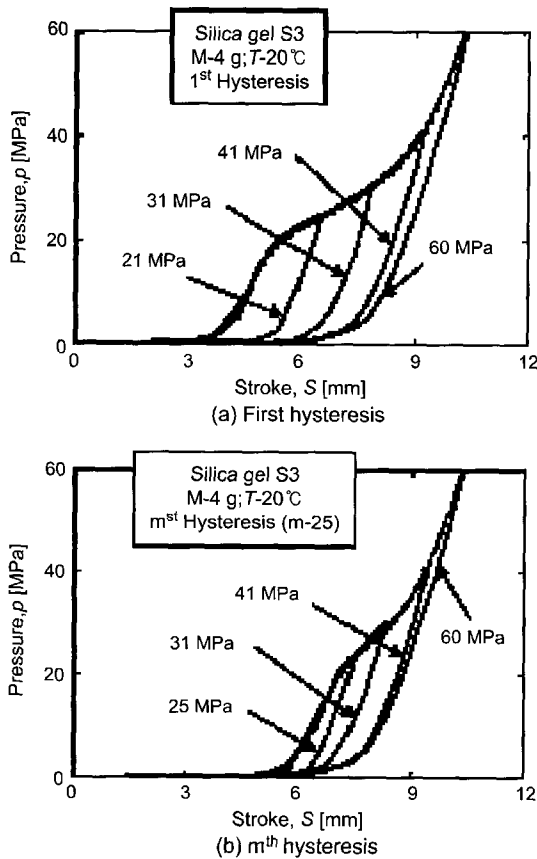


Fig. 9. Influence of pressure on the hysteresis, for Labyrinth architecture-silica gel S3.

$\frac{E_{max,Cm}}{E_{max,C1}}$ 은 대략 41%, 35%, 50% 정도이다. 감쇄기의 첫

번째 이력곡선의 최대 효율 $\eta_{max,C1}$ 은 97%, 91%, 76% 이다. 콜로이드 감쇄기의 m 번째 이력곡선의 최대 효율 $\eta_{max,Cm}$ 은 81%, 80%, 54%이다. 이는 기존의 유압감쇄기의 최대효율에 비해 대략 2배 보다 높은 값을 보인다.

4.2. 작동유체인 물의 양에 의한 영향

Fig. 10은 온도 $T=20^{\circ}C$, 압력 $p=60$ MPa의 실리카 겔 S1을 사용한 가역적 콜로이드 감쇄기의 첫 번째 이력곡

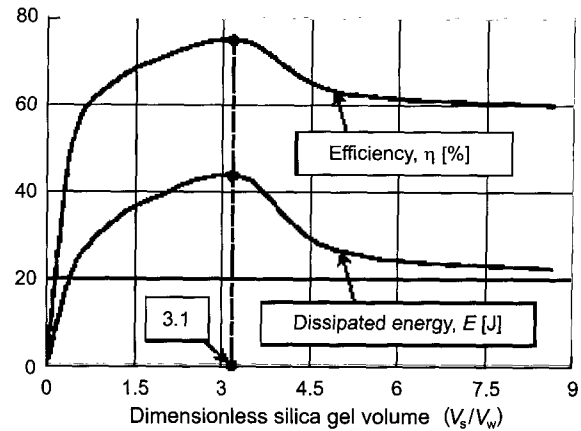


Fig. 10. Dissipated energy and efficiency versus dimensionless silica gel volume.

선에 대해 무차원화된 체적비(V_s/V_w)에 대한 소산된 에너지 및 효율을 보여주고 있다. 여기서 V_s, V_w 는 각각 실리카 겔과 물의 체적을 나타낸다. 최대 에너지 감쇄량과 효율은 체적비, $V_s/V_w=3.1$ 일 경우에 발생하고, 이 때의 실리카 겔의 질량은 $M=3$ g이며 물의 체적은 $V_w=3.1$ ml이다. 이것은 물의 최적 상대 체적은 $V_w/M=1.033$ ml/g이며, 다공성 입자인 실리카 겔의 나노 유로의 체적과 동일하다는 것을 알 수 있다. 이러한 실험 결과는 작은 실리카 겔의 양일 때는 실험시 물이 실리카 겔의 다공질을 다 채워 유입되고 난 후, 챔버 내에 물이 과다하여 남게 된다는 물리적 의미를 뜻한다.

반대로 너무 많은 실리카 겔의 양은 챔버 내 물이 부족하여 다공성 입자에 물이 충분히 유입되지 못하는 현상이 발생하게 되는 물리적 의미를 가진다. 그러므로 최적 양의 물은 실리카 구조의 다공질의 나노 단위 유로 체적과 같아야 한다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 감쇄기의 설계에 있어서 작동 유체의 적정량은 감쇄기의 효율에 큰 영향을 미치므로 설계시 이를 적절히 고려해야 한다.

4.3. 압축해제 시간에 의한 영향

감쇄기의 설계에 있어서 하중을 받아 압축된 피스톤이 해제되어 원래의 위치로 복원 되는 시간은 감쇄기의 기능상 다음에 오는 하중에 대비해야 하므로 매우 중요하다.

Fig. 11은 $T=20^{\circ}C$, $M=4$ g의 실리카 겔 S3을 사용한 가역적 콜로이드 감쇄기에 대해 첫 번째 이력곡선에서의 압축 해제 시간 R의 영향을 보여주고 있다. Fig. 11(a)에서는 $R=0$ 일 때 첫 번째 이력곡선은 제일 큰 값을 나타내고 있다. 두 번째부터 m 번째까지의 이력곡선은 부분적으로 거의 동일함을 Fig. 11(b)에서 알 수 있다. 각각의 콜로이드 감쇄기의 압력 해제 시간 R에 대한 실험은 압력을 가하고 압력을 해제한 후 임의의 시간동안 정지한 후 각각의 실험이 반복되었다. 각각의 압축 해제 후의 첫 번째

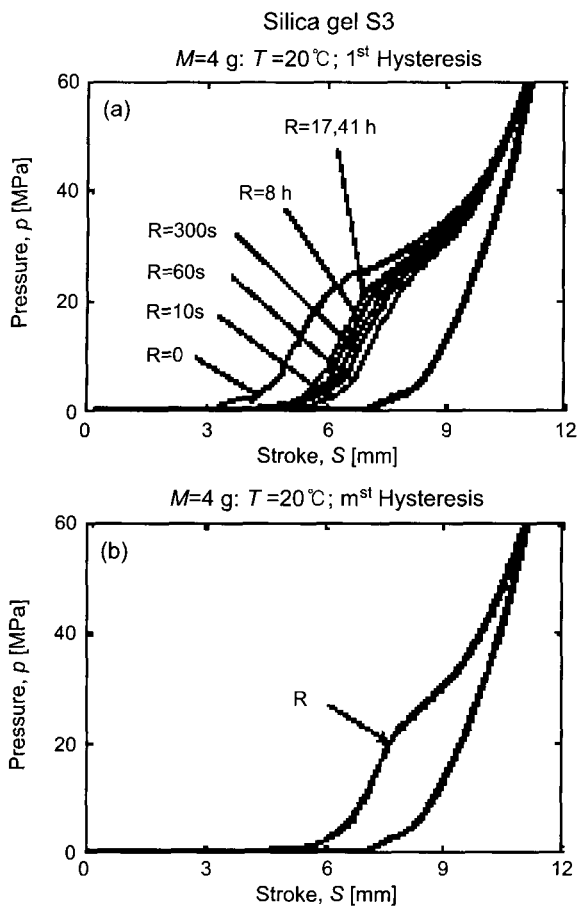


Fig. 11. Influence of the relaxation time on the hysteresis-silica gel S3.

이력곡선은 m 번째 이력곡선보다 크다는 것을 Fig. 11(a)에서 알 수 있다. $R=0$ 일 경우의 첫 번째 이력곡선보다 두 번째에서 m 번째 이력곡선은 작게 나타나며 두 번째에서 m 번째 이력곡선들은 서로 겹쳐서 나타나고 있음을 알 수 있다. 첫 번째 이력곡선의 면적은 압력해제시간 $R=17.1$ 시간이 될 때까지 R 이 증가함에 따라 증가한다. 17.1시간 이후의 R 에서는 이러한 영향을 더 이상 적용되지 않아 무시할 수 있다. 다시 말하면, 가역적 콜로이드 감쇄기의 이력곡선은 부분적으로 제때에 정해진 시간에 회복할 수 있는 성향을 보이고 있다. 그러나 이러한 성질은, 다공성 입자의 내부에 처음 물이 침투하여 발생한 이력곡선과는 시간이 지남에 따라 점점 더 일치하지 않는다. 하지만 이들 각각의 압축 해제 시간은 유압감쇄기 보다 빠른 시간 내에 복원됨을 알 수 있다. 기존의 유압감쇄기에서는 나타나지 않는 이러한 특징은 콜로이드 감쇄기가 내진 감쇄기나 항공기 랜딩 기어용으로 사용 가능하다는 사실을 입증한다. 이러한 종류의 시스템에 가역적 콜로이드 감쇄기가 채용되어 사용된다면 어떤 외부의 가진에 대해 회

복할 수 있는 몇 시간 정도의 해제 기간을 항상 가지고 있으므로 설계 시 이를 반영하면 산업시설에 경제적인 뿐만 아니라 유용한 구조가 될 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 외부의 충격에 대한 새로운 감쇄기를 나노 기술을 이용하여 설계하는 연구를 하였다. 콜로이드를 사용한 완충역할을 하는 입자로는 미로형 구조를 가지는 실리카 겔을 사용하였고, 입자에 관련한 작동 유체로는 물을 사용하여 실험적으로 그 효과를 검증하였다. 콜로이드 감쇄기를 구현하기 위해서는 형성된 실리카겔 입자의 표면을 유기 실리콘 매질을 이용한 소수화 코팅 처리를 하였다. 콜로이드 감쇄기의 에너지 감쇄량과 효율을 작동 유체에 대하여 검토하여 설계에 반영할 수 있게 되었다. 또한 압축해제에 걸리는 시간을 조사하여 기존의 유압 감쇄기와 비교한 결과 본 논문에서 제안된 감쇄기의 기능이 우수함이 입증되었다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국 학술 진흥 재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-050-D00001).

REFERENCES

1. N. P. Chironis, *Spring Design and Application*, McGraw-Hill, New York, 1961.
2. V. A. Eroshenko and A. Y. Fadeev, "Intrusion and Extrusion of Water in Hydrophobized Porous Silica," *Colloid J.*, **57** 480-83 (1995).
3. V. A. Eroshenko and A. Y. Fadeev, "A Study of the Surface of Chemically Modified Porous Silicas by Water Porosimetry," *Russian J. Phys. Chem.*, **70** 1380-83 (1996).
4. A. Y. Fadeev and A. V. Eroshenko, "Study of Penetration of Water into Hydrophobized Porous Silica," *J. of Coll. and Int. Sci.*, **187** 275-82 (1997).
5. L. R. Snyder and J. J. Kirkland, *Introduction to Modern Liquid Chromatography*, John Wiley & Sons, New York (1979).
6. S. M. Staroverov and A. Y. Fadeev, "Apparent Simplicity of Reversed Stationary Phases for High-performance Liquid Chromatograph," *J. Chromatography*, **544** 77-98 (1991).
7. K. K. Unger, *Porous Silica-its Properties and Use as Support in Column Liquid Chromatography*, Elsevier, Amsterdam, 1988.
8. S. J. Gregg and K. S. W. Sing, *Adsorption, Surface Area and Porosity*, Academic Press, San Diego, 1982.
9. C. M. Harris and C. E. Crede, *Shock and Vibration Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1968.