

## 세라믹 분말의 입자구조에 따른 나노 진동 흡수장치의 에너지 소산 효율 특성에 대한 연구

문병영<sup>†</sup> · 김홍섭<sup>\*</sup>

동서대학교

\*인제대학교

## Characteristics of Energy Dissipation in Vibration Absorbing Nano-Damper According to the Architecture of Silica Particle

Byung Young Moon<sup>†</sup> and Heung Seob Kim<sup>\*</sup>

Dongseo University

\*Inje University

(2003년 1월 25일 받음, 2003년 3월 3일 최종수정본 받음)

**ABSTRACT** This study shows an experimental investigation of a reversible nano colloidal 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. As a result, he proposed nano damper is effective one, which can be replaced the conventional damper.

**Key words** nano-technology, porous silica gel, mesopore particle architecture, lyophobic coating

### 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 감쇄기<sup>1)</sup>는 좁은 영역의 오리피스를 지나는 유체의 흐름을 통한 에너지 소산 원리를 이용하여 임의의 구조물에 작용하는 충격이나 진동을 억제하는 원리를 이용한 기계장치로써 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 외부 가진의 주파수에 적응하지를 못하며 대응 주파수 대역이 좁다.

본 연구에서는 이러한 유압 감쇄기의 단점을 보완하고 보다 효율이 높은 감쇄기를 최신기술인 나노기술을 응용하여 새로운 감쇄기에 대한 기초적 연구를 하였다. 새로운 감쇄기는 내부에 점성 유체 대신에 무기재료의 입자를 유체와 혼합하여 콜로이드 상태로 사용하였고 오리피스를 생략함으로써 해서 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.

에로셴코(Eroshenko) 등<sup>2,3)</sup>에 의해 제안된 이 콜로이드(colloid) 감쇄기는 기존의 실린더, 피스톤 구조의 유압 감쇄기를 대체하여 사용이 가능하다. 본 논문에서는 이 감쇄기를 콜로이드 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.

<sup>†</sup>E-Mail : moonby20@hanmail.net

## 2. 나노 콜로이드 감쇄기의 구조

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

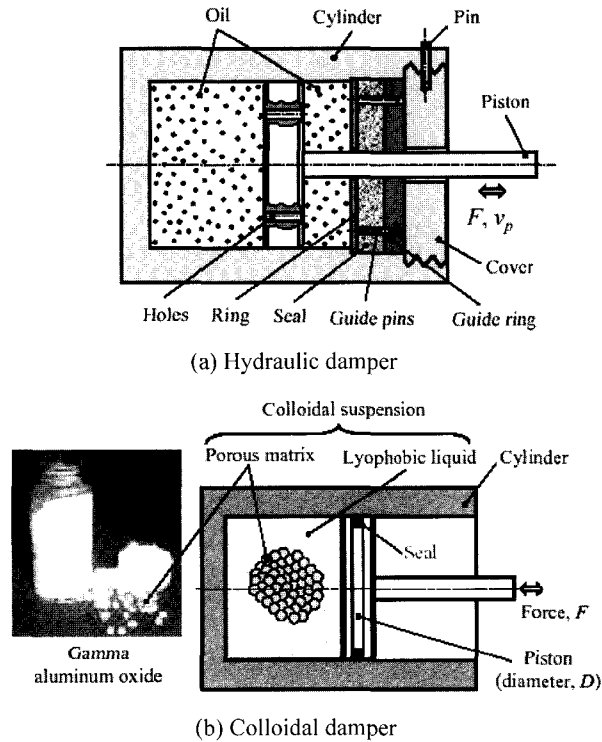


Fig. 1. Construction of hydraulic damper and colloidal damper.

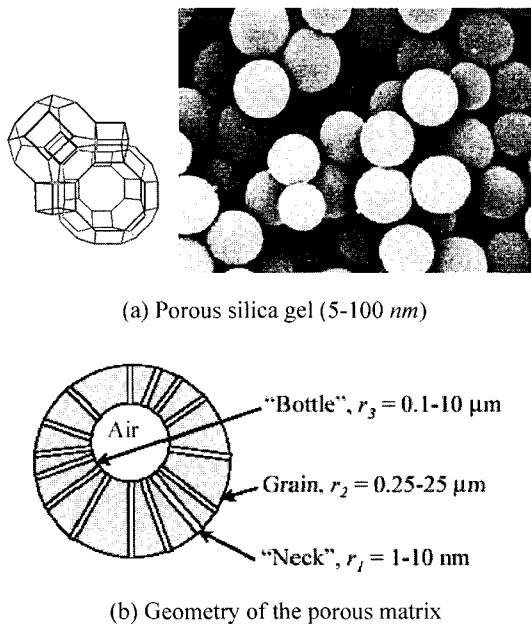


Fig. 2. Structure of Silica gel.

크로 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 감쇄기의 내부에 관련된 유체로는 물이 가능하다. 콜로이드 감쇄기가 지진과 같은 외부 가진에 의한 압축이 Fig. 1(b)와 같이 가해지면, 물은 다공 입자의 나노 크기의 입자가 통과할 수 있는 유로(pore)를 통해 입자의 중앙에 위치한 중공 내로 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 오리피스 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 하므로 인해서 소수화 특성(hydrophobic)을 띤다.<sup>4)</sup> 콜로이드 감쇄기에 사용 가능한 소수성 다공질 입자는 최근 그 효율이 매우 높은 것으로 인정되어 공학의 응용분야인 액상 도금분야에서 사용되고 있어 그 효과는 이미 입증되고 있다.<sup>5-7)</sup>

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 한

Table 1. Characteristics of the studied silica gels.

Trade name of silica gel	B-6C
Range of grain diameter	0.5-6.0 $\mu\text{m}$
Grain mean diameter	2.0-2.5 $\mu\text{m}$
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 $\text{m}^2/\text{g}$
Pore volume	1.2-1.3 ml/g
Molecule used for hydrophobic coating	C18
Bonding density, N[groups/ $\text{nm}^2$ ]	1.8

다. 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 나타난 실리카겔 입자의 중공타입 모양을 현미경을 통해 조사하여 Fig. 3에 나타내었다.

각 입자의 소수화 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 나타난 바와 같이 긴 선형 *n*-알킬실레인(*n*-alkylchlorosilanes)의 분자체인(*n* = 18, -Si(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>, 약자표시; C18) 또는 짧은 친수성의 수소화 이온 그룹(*n* = 1, -Si(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, 약자표시; C1)의 수소원자로써 대체하여 두 가지 종류의 코팅처리를 하여 실리카겔을 얻을 수 있었고 이 실리카 겔을 이용하여 감쇄기에 적절이 사용하여 감쇄 효과를 고찰하였다. 이렇게 함으로써, 콜로이드

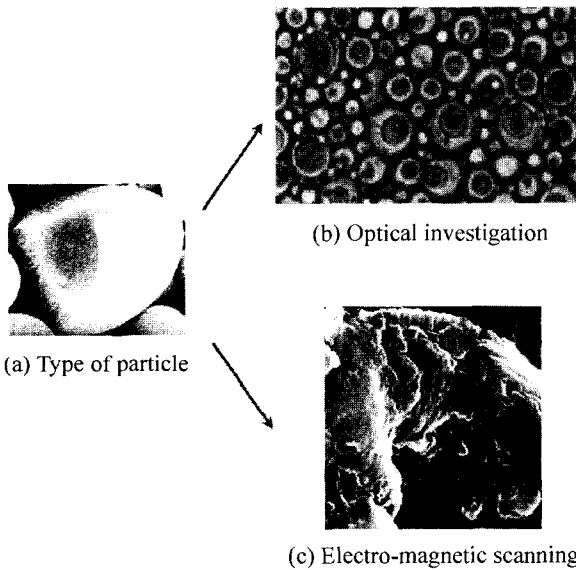


Fig. 3. Photo of silica gel balls with central-cavity architecture.

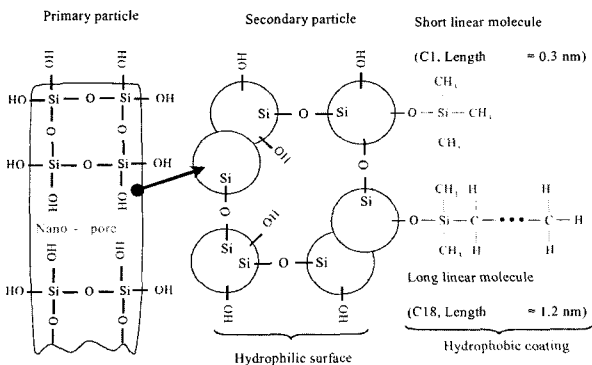


Fig. 4. Structure and hydrophobic coating of silica gel particles.

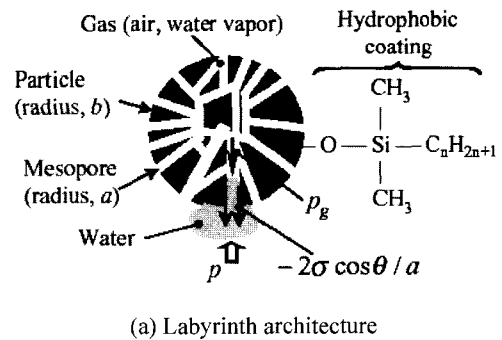
감쇄기는 친수성의 수소화 이온의 그룹으로 구성된 표면을 알킬실레인을 이용한 결합형태로 전환된 실리카 겔로 생성할 수 있는 소수성을 띄는 표면을 가진 다공성 입자로 이루어지 구조로 만들어 질 수 있다. 이를 Fig. 5에 미구조와 중공구조로 나누어 나타내었다. 반경이 *b*인 다공질 입자는 두 가지 형태의 구조를 가질 수 있다. 반경이 *a*인 나노 크기의 좁은 통로, 즉 유체가 통과 할 수 있는 유로(mesopore)가 일정하지 않은 방향으로 연결된 복잡한 미로형 구조(labyrinth architecture)(Fig. 5(a))와 나노 유로가 중앙의 공간으로 원형으로 평형을 이루며 일정하게 연결된 중공형 구조(central cavity architecture)가 있다(Fig. 5(b)).

2.2. 입자에 가해지는 압력과 표면장력

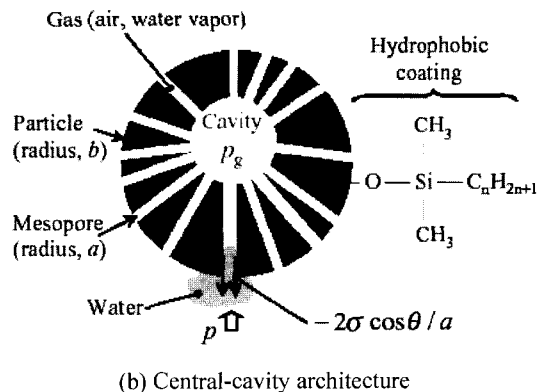
콜로이드 감쇄기의 에너지 사이클 중 압축 공정에서 작동 유체인 물은 다공성 입자 내부로 유입된다. 입자의 모든 표면이 소수화 처리가 되어 있기 때문에 가해진 외부의 압력은 유입된 물을 입자 외부로 밀어 내려는 라플라스 모세관(Laplace capillary) 압력 *p<sub>l</sub>*과 다공 입자 중앙의 공기의 압력 *p<sub>g</sub>*에 대해서 같은 크기로 반대 방향으로 작용한다. 외부 압력 *p*와 라플라스 압력 *p<sub>l</sub>*은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

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

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



(a) Labyrinth architecture



(b) Central-cavity architecture

Fig. 5. Architecture of the porous matrix.

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,  $\sigma$ ,  $\theta$ 는 각각 표면장력, 접촉 각도를 나타낸다. 이러한 구조의 압력과 표면장력의 관계는 수은 다공질 (porosimetry)<sup>8)</sup>과의 유사성과 비교하여 볼 때 이 구조 역시 입자의 다공질이라고 할 수 있다.<sup>4)</sup> 콜로이드 감쇄기의 기본 개념은 가해지는 힘과 실린더의 변위(stroke) 선도의 압축과 압축 해제 곡선 상에서 이력현상(hysteresis)이 발생한다는 것으로 설명 할 수 있다.<sup>9)</sup> 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 감쇄 장치에 적용할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 원리를 이용하여 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 정적 실험 장치를 이용하여 수행되었다. 이러한 실험과정을 이용하여 콜로이드 감쇄기내 다공질 입자의 소수화 표면처리에 대하여 분자 간 결합 밀도가 이력현상에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 또한, 나노 단위의 유로(pore)와 다공성 입자의 직경, 다공성 입자의 구조, 그리고 대기압 상태에서 유체의 출입을 통제하기위한 코팅처리된 분자 간 길이와 같이 여러 가지 요인의 콜로이드 감쇄기 이력현상에 대한 영향을 실험을 통해 평가하여 검토하였다.

### 2.3. 가역적 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/s 의 비율로 전달되었을 때, 피스톤의 최대속도,  $v_{max}=1$  mm/s가

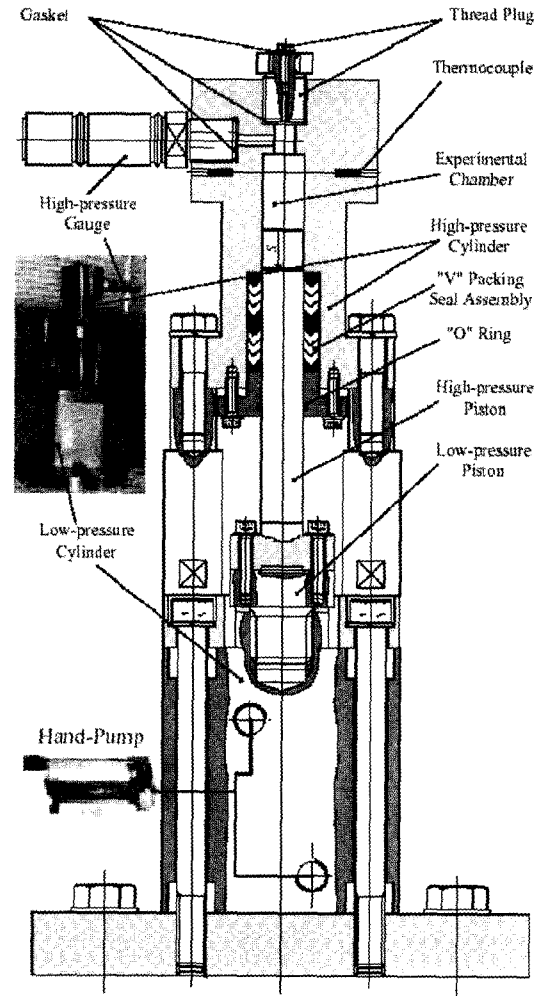


Fig. 6. Colloid damper static test rig.

된다. 참고문헌에 의하면, 감쇄기 피스톤이  $5\sim 200$  mm/s<sup>4)</sup> 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. 이러한 실험 데이터는 측정시간,  $t$ 에 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.

$$p = p(S) \quad (5)$$

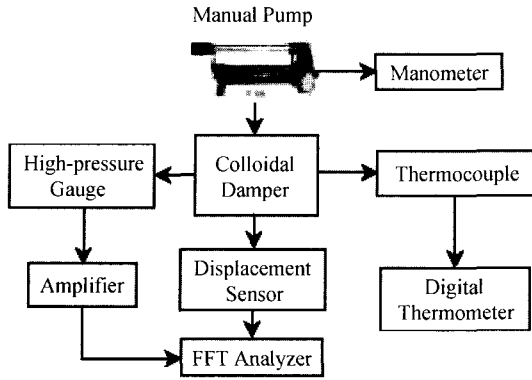


Fig. 7. Measurement equipment.

Table 2. Characteristics of the studied porous materials.

Material	Silica gel				
	TMS		ODS		
	Sylosphere		BU	God-ball	
Symbol	S1	S2	S3	S8	S9
Trade name	C1504 DBA4.5	C1504	0020MT	B-6C	B-25C
Architecture	Labyrinth		Central-cavity		
Grafted molecule	C1	18	C18	C18	C18
(2a) <sub>mean</sub> [nm]	12.8	8.9	7.0	8.7	8.7
(2a) <sub>mean</sub> [μm]	4	4	20	2.5	13
Bonding dens. [group/nm <sup>2</sup> ]	2.10	2.10	2.23	2.20	2.20

실험에 사용된 다공성 입자를 이루는 재질들의 대한 주요 특성 값들을 Table 2에 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. 실험과 해석의 결과 및 검토

고안된 실험 장치를 이용하여 실험을 수행하였고 그 결과를 토대로 제안된 감쇄기의 효과를 검토하여 Table 3에 나타내었다.

#### 3.1. 감쇄기의 소산된 에너지량과 효율

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

$$E = \frac{\pi D^2}{4} \int_0^{s_{max}} (p_c - p_R) \cdot ds \quad (6)$$

$$\eta = E / \int_0^{s_{max}} p_c \cdot ds \quad (7)$$

여기서  $p_c, p_R$ 는 각각 압축 공정시 압력, 압축 해제 공

Table 3. Results of the studied porous materials.

Material	Silica gel				
	S1	S2	S3	S8	S9
Symbol	S1	S2	S3	S8	S9
$E_{max,C1}$ [J]	20	35	34	41	43
$E_{max,Cm}/E_{max,C1}$	0.41	0.35	0.50	0.25	0.35
$\eta_{max,C1}$ [%]	97	91	76	87	86
$\eta_{max,Cm}$ [%]	81	80	54	64	63
$P_{max}$ [MPa]	16.5	60	60	60	60

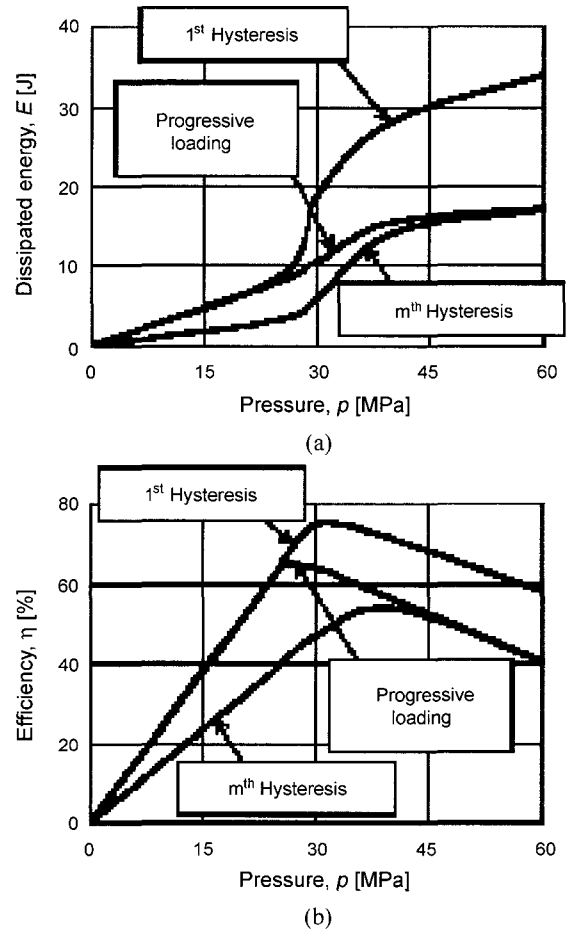


Fig. 8. Dissipated energy and efficiency versus pressure - Silica gel S3.

정시 압력을 나타내고 있다. 식 (6),(7)을 이용하여  $T = 20^\circ\text{C}$ , 실리카 겔, S3,  $M = 4\text{ g}$ 을 이용한 가역적 콜로이드 감쇄기에 대한 에너지 소산량과 효율을 가해진 압력에 대해 구하였고 그 결과를 Fig. 8(a),(b)에 나타내었다. 연속하중 상태에 대한 그래프는 첫번째(1st hysteresis) 이력곡선을 시작으로 m번째( $m^{\text{th}}$  hysteresis) 사이클의 이력곡선으로 끝난다. m번째 이력곡선 상에서 소산된 에너지량은 첫번째 이력곡선의 대략 50% 정도이다. 그리고 첫번째와 m번째 이력곡선의 최대 효율은 각각 76%, 54%이며, 각각 최적의 압력, 30, 40 MPa,에서 발생한다는 것을 Fig. 8(b)의 그래프에서 확인 할 수 있다.

실리카 겔, S1, S2, S3을 사용한 콜로이드 감쇄기의 m

번째 이력곡선의 에너지 소산량은 첫 번째 이력곡선에서의 에너지 소산량의 ( $E_{max,Cn}/E_{max,C1}$ ) 대략 41, 35, 50% 정도이다. 실리카 겔, S1, S2, S3를 사용한 콜로이드 감쇄기의 첫 번째 이력곡선의 최대 효율( $\eta_{max,C1}$ )은 97, 91, 76%이다. 실리카 겔, S1, S2, S3를 사용한 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. 각각의 실리카겔 재료에 대한 에너지 소산량의 최대값, 최대효율 그리고 최대 압력에 대한 값을 분자의 코팅 구조에 따라서 구하여 그 결과 값을 Table 3에 나타내었다.

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

### 3.2. 다공질 입자의 혼합에 대한 영향

Fig. 9는 실리카 겔 S1과 S2, 그리고 S1과 S2의 1:1로 혼합된 것을 사용한 가역적 콜로이드 감쇄기의 이력곡선을 보여주어 있다. 실리카 겔 S2 모델의 평균 압축 압력은 21 MPa로써 모델 S1의 평균압력 13 MPa 보다 더 높게 나타난다.

이는 S1 모델의 평균 나노 유로 반경이 S2 모델보다 Table 2에서 확인 할 수 있는 바와 같이 더 작기 때문이다. 혼합 실리카 겔을 사용한 콜로이드 감쇄기의 이력곡선은 각각의 이력곡선의 선형 조합과 같이 각 이력곡선 사이에서 발생하여 위치함을 알 수 있다. 결과적으로, 콜로이드 감쇄기의 이력곡선은 서로 다른 소수화 코팅처리가 된 입자의 혼합과 소수화 코팅 처리시의 분자간 거리, 그리고 다공성 입자의 구조로써 조절이 가능함을 알 수 있고 이들의 혼합으로써 사용자가 원하는 감쇄기를 설계할 수 있다.

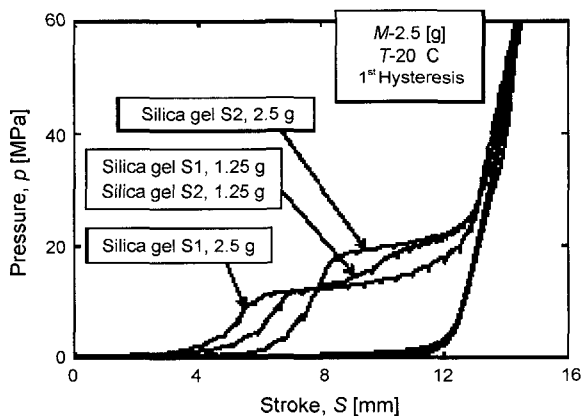


Fig. 9. Hysteresis for silica gels S1, S2 and their 1:1 mixture.

## 4. 결 론

본 연구에서는 외부의 충격에 대한 새로운 감쇄기를 나노 기술을 이용하여 설계하는 연구를 하였다. 콜로이드를 사용한 완충역할을 하는 입자로는 미로구조 및 중공 구조를 가지는 실리카 겔을 사용하였고, 입자에 관련한 작동 유체로는 물을 사용하여 실험적으로 그 효과를 검증하였다. 콜로이드 감쇄기를 구현하기 위해서는 형성된 실리카겔 입자의 표면을 유기 실리컨 매질을 이용한 소수화 코팅 처리를 하였다. 콜로이드 감쇄기의 최대 에너지 감쇄량과 효율은 적정의 압력값에서 발생함을 확인하였다. 콜로이드 감쇄기의 이력곡선은 서로 다른 소수화 코팅 처리가 된 입자의 혼합과 소수화 처리시의 분자간 거리, 그리고 다공성 입자의 구조로써 조절이 가능함을 알 수 있었고 감쇄기의 효율은 기존의 유압 감쇄기의 최대 효율보다 2~3배 높음을 알 수 있었다. 기존의 유압 감쇄기에서는 나타나지 않는 이러한 특징은 콜로이드 감쇄기가 진동, 충격 흡수 장치로 사용 가능하다는 사실을 입증한다. 이 새로운 감쇄기를 다양한 종류의 기계 시스템에 적용하여 사용된다면 산업시설에 경제적인 뿐만 아니라 유용한 시스템이 될 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2002-D00001)

## 참 고 문 헌

1. Chironis N.P., "Spring Design and Application", McGraw-Hill, (1961).
2. Eroshenko V. A. and Fadeev A. Y., Colloid J., No.57, 480-483 (1995).
3. Eroshenko V. A. and Fadeev A. Y., Russian J. Physical Chemistry, No.70, 1380-1383 (1996).
4. Fadeev A. Y. and Eroshenko A. V., J. of Colloid and Interface Science, No.187, 275-282 (1997).
5. Snyder L. R. and Kirkland J. J., Introduction to Modern Liquid Chromatography, John Wiley & Sons, (1979).
6. Staroverov S. M. and Fadeev A. Y., J. Chromatography, No. 544, 77-98 (1991).
7. Unger K. K., Porous Silica - Its Properties and Use as Support in Column Liquid Chromatography, Elsevier, (1988).
8. Gregg S. J. and Sing K. S. W., Adsorption, Surface Area and Porosity, Academic Press, (1982).
9. Harris C. M. and Crede C. E., Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill, (1968).