

방진고무 완충재의 진동특성 해석 및 실험

유춘화 · 권형오 · 김석홍 · 이신언

유니슨산업주식회사 부설 유니슨기술연구소

1. 서 론

방진고무는 고분자 유기물의 복합체로써 그 물성치를 정확히 해석하거나 표현하기가 어렵고, 상용 방진고무의 제작시 첨가하는 첨가재의 양과 Moulding시의 온도 및 압력등의 조건에 따라 고무의 동특성이 변화하며 그 동특성은 이론적 해석으로 얻어지는 것이 아니라 다분히 실험적, 경험적으로 결정되며, 이러한 경험적 결과치는 각 방진고무 제품을 생산하는 기업들의 Know-how로 은폐되어 있는 실정이다.

방진고무는 진동을 방지하기 위한 목적으로 사용되므로 그 동적인 특성을 파악하는 것이 중요하며, 특히 고유진동수와 감쇠비는 진동계의 동특성을 설명해주는 가장 중요한 파라미터이다. 고무의 감쇠는 Hysteresis감쇠로 구분되며 정확한 수학적 모델은 아직 제시되고 있지 않다.

방진고무의 동적특성을 일반화 시키기란 매우 어렵기 때문에 현재 시판되고 있는 방진고무 제품들에 대한 사양은 정격하중과 정적처짐을 제시하는

것이 대부분이다.

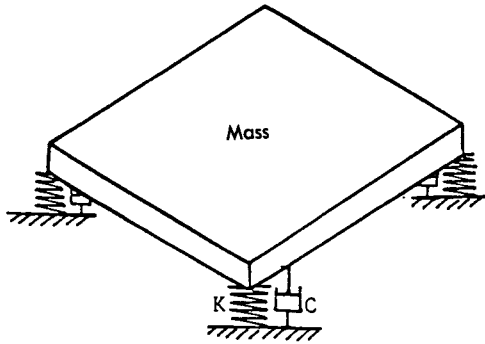
충격에 민감한 용기나 기계들이 운반이나 보관 중에 받을 수 있는 진동충격을 완화시키기 위해 개발된 방진고무 완충재를 이론해석하여 설계 제작하였으며 실제 적용하고자 하는 동적 거동에 만족한가를 평가하기 위해 완충재의 정적, 동적시험을 수행하여 System의 고유진동수와 동배율, 감쇠비를 산출하고 시험결과를 고찰하였다.

본 논문에서는 개발된 완충재의 동적시험 방법을 소개하고 mass와 입력 Force를 변화시켜 관찰함으로써 사용중에 발생할 수 있는 동적 특성을 파악하여, 적용범위를 넓히고자 하며, 방진고무 완충재의 제품 설계시 재료특성을 기초로 하여 설계 제작을 위한 자료를 제시함으로써 방진설계와 방진고무 제품개발에 도움을 주고자 한다.

2. 이론 Modeling

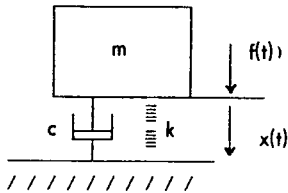
그림 1과 같이 Mass의 4개 지점에 4개의 완충재를 설치하여 System을 구성하고 다음과 같이 1차

유도 System으로 Modeling하였다.



〈그림 1〉 Mass와 4개의 완충재 System

2.1 1자유도 Modeling



〈그림 2〉 1자유도 Modeling System

1자유도 Modeling System의 운동방정식을 Newton의 제2법칙으로 표시하면 다음 식(1)과 같아진다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서 m : Mass/4
- c : damping
- k : 완충재의 스프링 상수
- \ddot{x} : acceleration
- \dot{x} : velocity
- x : Displacement
- f(t) : 외력의 가진함수

2.2 동배율

완충재의 정적스프링 상수 k_s 에 대한 동적 Sp-ring 상수 k_d 의 비인 동배율 α 는 다음식(2)이며,

$$\alpha = \frac{k_d}{k_s} \dots\dots\dots (2)$$

이 System의 고유진동수(Natural frequency) f_n 은 다음과 같다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k_d/m} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k_d \cdot g/w} \dots (3)$$

식(2)와 식(3)에 의해 고유진동수 f_n 은 다음식(4)와 같이 정리된다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\alpha \cdot g/\delta_{st}} \doteq 4.98 \sqrt{\alpha/\delta_{st}} \dots (4)$$

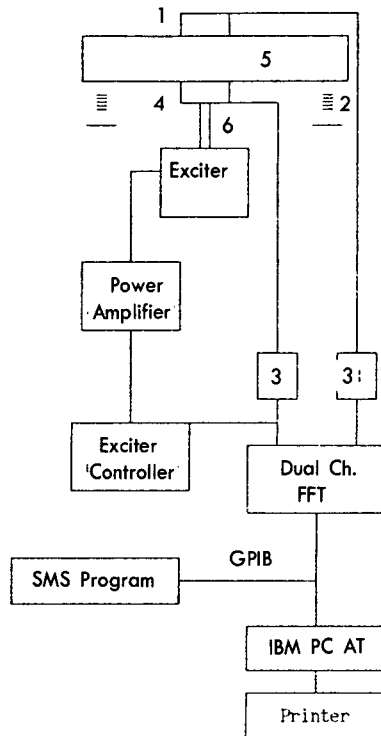
여기서 δ_{st} 의 단위는 cm이다.

식(4)를 이용하여 동배율

$$\alpha = \left(\frac{f_n}{4.98}\right)^2 \times \delta_{st} \dots\dots\dots (5)$$

를 구하고, 식(2)를 이용하여 동적 스프링상수를 계산하였다.

3. 시 험



- 1 : Accelerometer, 2 : 완충재, 3 : Charge Amp.
- 4 : Force transducer, 5 : Mass, 6 : Extension joint bar

〈그림 3〉 완충재의 동특성 시험장치 구성도

3.1 동적시험

3.1.1 시험장치

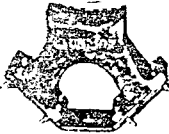


시험장치 구성은 그림 3과 같다.

시험장치는 중량 625kg과 325kg 두 종류의 강판 모서리 4곳에 bracket를 부착하고 완충재를 설치하여 System을 구성하였으며, Mass 바닥 중앙에 Force Transducer를 부착하고 Exciter와 Extention Joint bar로 연결하여 가진력이 전달되도록하고, Mass 윗면 중앙에 가속도계를 부착하여 가진력에 따른 가속도를 측정하였으며, 시험에 사용된 장비의 사양은 <표 1>과 같고, 시편의 종류는 <표 2>와 같다.

<표 1> 시험에 사용된 장비의 사양

장 비 명	제작사	사 양
Exciter System	B & K	Force : 112N Frequency Range : 0~100KHz 4808, 2712, 1050
Force Transducer	B & K	Force : -4~16KN Frequency Range : 20KHz 8201
Accelerometer	B & K	Frequency Range : 0.1~4.8KHz 60g
FFT	B & K	Dual Channel Analyzer 2034
Charge Amp.	B & K	Sensitivity : 0.1~10.99 pc/m/sec ² , 2635

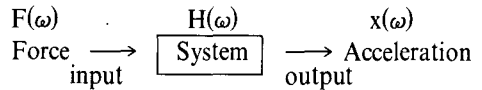
<표 2> 시험에 사용된 시편의 제원

	형 상	경도 (Duro)	정격하중 (kg)
완충재		50	200 (180)
Super Waffle Pad (Rubber)		60	200
Spring			200

* 제작사 : 유닉스산업주식회사

3.1.2 시험방법

Mass 625kg과 325kg 두종류와 10, 20, 30, 40, 60N으로 가진력을 변화시키면서 이에따른 동적 특성 변화를 관찰하였다.



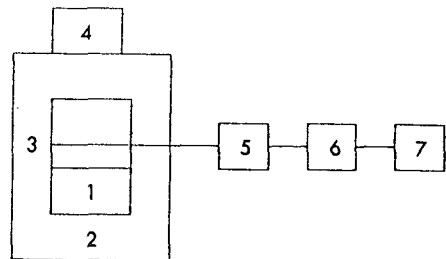
<그림 4> H(omega) 주파수 응답 함수(FRF)

1Hz~51Hz까지 Sweep 가진시켜 FFT로 주파수 분석을 수행하였고, 같은 방법으로 정격하중 200kg에 맞는 스프링과 Super-W-pad로 System을 구성하여 그 결과를 비교하였다. 또한, 모드해석 Computer Software인 SMS(Star-Structure Model Analysis)로 이루어진 동적응답 시스템을 이용하여 Data를 정리하였다.

3.2 정적시험

3.2.1 시험장치

압축시험기 구성도 <그림 5>는 다음과 같다.



- 1 : 제품(완충재)
- 2 : 압축시험기
- 3 : Load cell
- 4 : 변위 측정기
- 5 : Control Box
- 6 : Computer
- 7 : Printer

그림 5 압축시험기 구성도

3.2.2 시험방법

완충재에 대한 정적시험은 수직방향에 대하여 압축시험기로 변위를 0.5mm씩 증가시켜가며 40mm까지 압축하여 변위에 따른 하중을 측정하였으며, Swper-W-Pad와 Spring에 대한 정적시험도 병행하였다.

4. 결 과

일반적으로 알려진 방진고무의 동배율 α 는 <표 3>과 같고 경도별 감쇠비는 <표 4>와 같다.

<표 3> 금속스프링과 방진고무의 동배율

방진재료	α
방진고무 (천연고무) (합성고무)	1.0~1.6 1.4~2.5
금속 코일 스프링	1

<표 4> 방진고무의 경도별 감쇠비

재료	감쇠비	
방진고무 (Duro)	30	0.015
	40	0.02
	50	0.04~0.05
	60	0.06~0.09
	70	0.08~0.13
금속 코일 스프링	0.001~0.005	

또한 방진고무 시편별 물성치도 <표 5>와 같다.

<표 5> 시편의 물성치

Duro	시편 Size (mm)	동적 Spring상수 K _d (kgf/mm)	정적 Spring상수 K _s (kgf/mm)	동배율 α	형상계수
50	40	11.213	8.00	1.40	0.1563
	30	15.392	9.34	1.64	0.2083
	25	19.368	11.68	1.66	0.2500
	20	24.669	14.00	1.76	0.3125

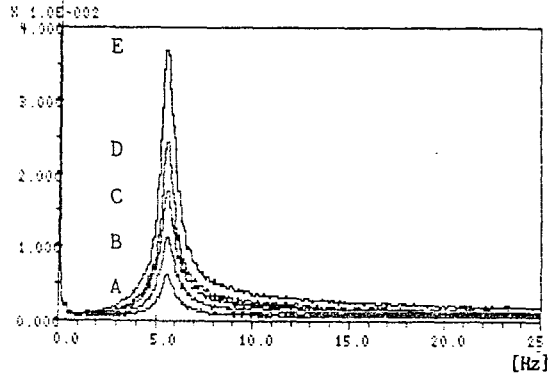
4.1 동적시험 결과

동적시험 결과는 다음과 같다.

<표 6> Mass 625kg(완충재 개당 156.25kg)일때 고유진동수

횟수	가진력 (N)	고유진동수 (Hz)	감쇠비	비고
1	10	5.54	0.0508	
2	20	5.53	0.0538	
3	30	5.51	0.0535	
4	40	5.5	0.0504	
5	60	5.48	0.0525	

Acceleration [m/s²]

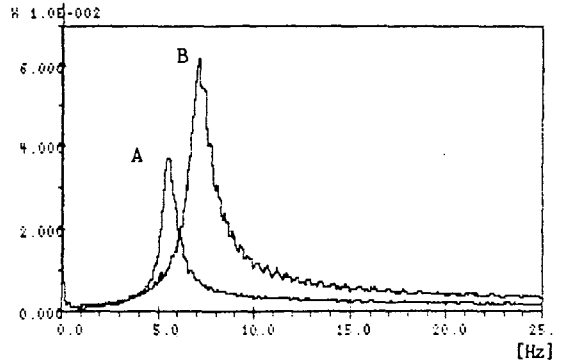


A: 10N B: 20N C: 30N D: 40N E: 60N
<그림 6> 가진력에 따른 완충재의 고유진동수

<표 7> Mass 325kg(완충재 개당 81.25kg)일때 고유진동수

횟수	가진력 (N)	고유진동수 (Hz)	감쇠비	비고
1	20	7.15	0.0582	
2	40	7.11	0.0603	
3	60	7.07	0.062	

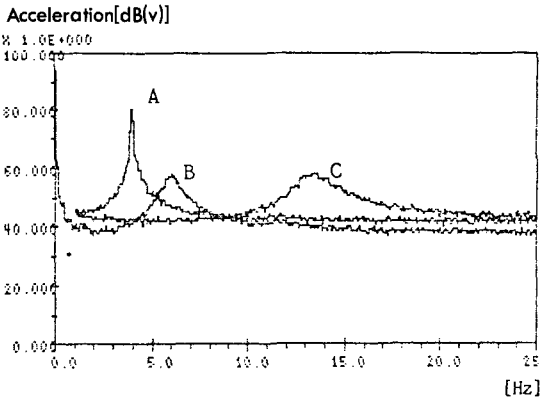
Acceleration[m/s²]



A: 625kg B: 325kg
<그림 7> Mass 변화에 따른 완충재의 고유진동수

<표 8> Mass 625kg에서의 방진제품의 동적특성 비교

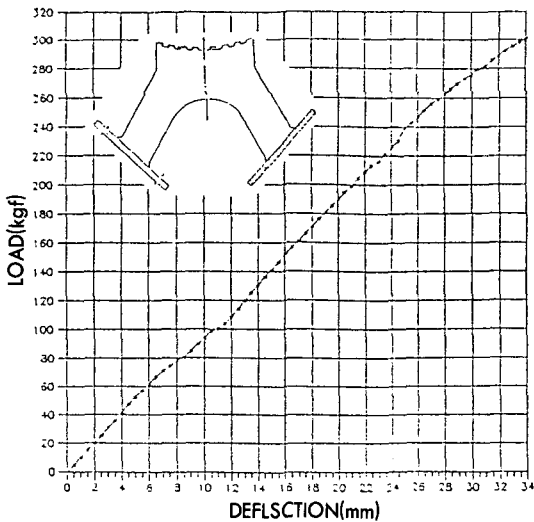
	가진력 (N)	고유진동수 (Hz)	감쇠비	비고
완충재	20	5.53	0.0538	
Super w-pad (Rubber)	20	13.23	0.063	
Spring	15	3.91	0.0036	



A : Spring B : 완충재 C : Super-W-Pad
 <그림 8> 시편에 따른 고유진동수

4.2 완충재의 정적시험 결과와 동배율

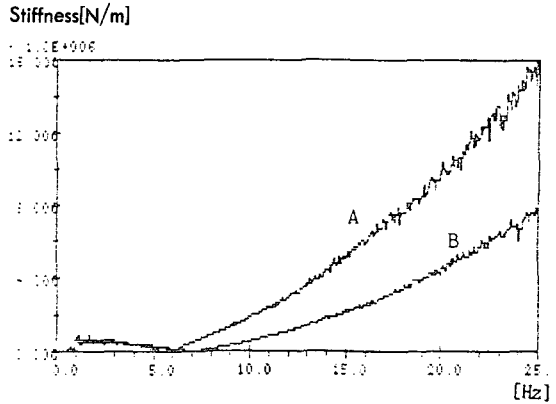
완충재의 정적시험 결과는 <그림 9>와 같고 방진제품에 따른 동배율은 <표 9>와 같다.



<그림 9> 완충재의 정적시험 결과

<표 9> 방진제품에 따른 동배율의 비교

	정적스프링 상수(Ks)	동적스프링 상수(Kd)	동배율
완충재	11.7kg/mm	19.1kg/mm	1.63
Super w-pad (Rubber)	44.3kg/mm	109.9kg/mm	2.48
Spring	8.7kg/mm	9.6kg/mm	1.1



A : Mass(625kg) B : Mass(325kg)
 <그림 10> 완충재의 Stiffness

5. 결 론

개발된 완충재의 동적시험 및 정적시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 개발된 완충재는 정적하중이 150kg에서 5.5Hz의 고유진동수를 나타내었고, 가진력을 변화시켜도 System의 고유진동수는 변화하지 않음을 알 수 있다.

2) 동배율은 $\alpha=1.63$ 정도로 방진고무 제품으로는 좋은 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

3) duro 50의 경도로 제작된 완충재는 정적하중 180kg으로 사용할 수 있는데 경도를 Duro 45, 55, 60, 65, 70등으로 변화시켜 알맞는 방진재로 제작이 용이하다.

4) 수직방향 방진재로 사용할수도 있으며, 실제 수평방향 방진재로 사용한 결과 설치가 용이하고 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

5) 정적처짐이 30mm까지 선형성을 유지하고 있어 방진효율 예측이 가능하며, 저주파 진동에 대한 방진고무 재료로서 좋은 장점을 가지고 있다.

<참고문헌>

1. Mechanical Vibration-Francis S. Tse외 2인 pp. 151-153.
2. 이규섭, 이상엽, 유춘화, 방진고무의 진동특성 해석 및 실험(I), 사단법인 한국소음진동공학회 pp.27-32, 1990.
3. 유춘화, 권형오, 이상엽, 이규섭, 방진고무를 이

용한 충격마운트 설계, 사단법인 한국소음진동 공학회 pp.127-132, 1991.

4. H.Tohara, et al, 방진고무, 사단법인 일본철도 차량공업회, 1975.

5. KS M6604-1985, "방진고무 시험방법"

6. 정일록, 소음·진동 이론과 실무. 녹화출판사, 1988.

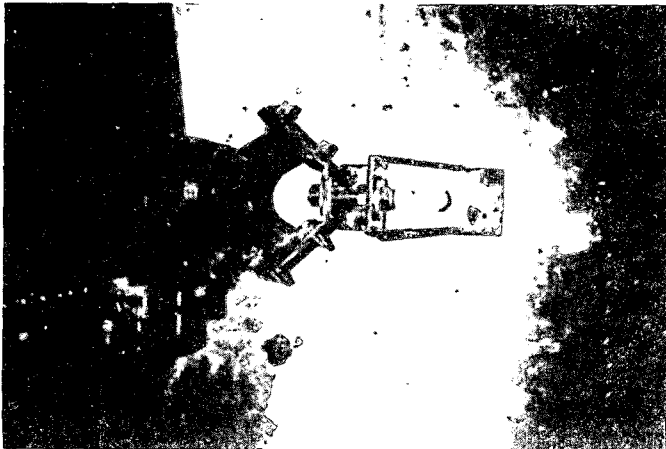
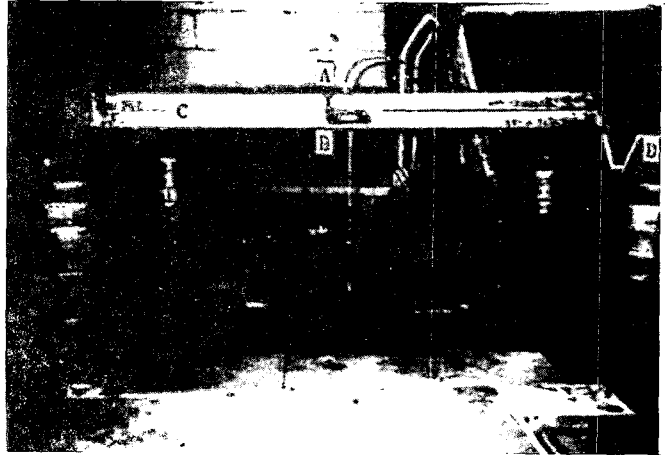
위 내용은 '91년 11월 22일 발표된 한국소음진동 공학회 '91추계 학술대회 논문집서 발췌 게재한 내용입니다.



〈그림 11〉 완충재의 동특성 시험장치

〈그림 12〉 Mass(625kg)와 Sencer의 부착

A : Accelerometer
 B : Force Transducer
 C : Mass D : 완충재



〈그림 13〉 완충재의 수평밀림 방진기로 적용 예