

상용화된 방진고무의 정적 및 동적특성 실험 및 분석 사례

The Experiment and Case Study on Static and Dynamic Properties of Commercialized Elastomer

최재성†·김창열*·윤대진*·김한준**·김기원**

Choi J. S., Kim C. Y., Yun D. J., Kim H. J. and Kim K. W.

1. 서 론

고무(elastomer)를 사용한 방진제품은 여러 산업분야에서 제진, 방진, 내진, 충격흡수, 완충 재료로서 널리 사용되고 있다. 이는 내부 감쇠저항이 커서 추가적인 감쇠장치가 불필요하고, 진동수비가 1이상인 방진영역에서도 진동 전달률은 거의 증대되지 않는 등의 여러 장점들을 가지고 있기 때문이다. 그러나 일반적으로 고무요소는 스프링 정수를 극히 작게 설계하여 고유진동수를 낮추기가 어려워서, 고유진동수가 4-5Hz 이하가 되도록 설계할 필요가 있을 경우에는 금속스프링이나 공기스프링을 일반적으로 사용한다.

따라서 본 연구에서는 고무요소의 형상 및 경도의 변화에 따른 실험시스템의 고유진동수의 변화 특성을 파악하여 시스템의 고유진동수를 낮출 수 있는 방진용 고무요소 형상 및 기타 방진 재료들과의 조합 제품을 연구개발하기 위한 기초적인 실험 자료를 획득하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 배경

2.1 방진 고무의 특성

고무요소는 하중과 변형이 비선형 관계를 보이고 대변형 범위에서도 탄성거동을 나타내는 초탄성(Hyper-elasticity) 특성을 가지며, 시간에 따라 재료의 물성치가 변하는 점탄성(Visco-elasticity) 특성을 나타내는 등 매우 복잡한 거동을 보인다. 또한 고무의 형상 따라 스프링정수가 변하는 특성을 보인다.

2.2 방진 고무의 고유진동수 및 진동전달률

방진고무의 정확한 사용을 위해서는 고유진동수는 식(1)과 같이 동적 배율을 고려하여 계산한다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\alpha k_s}{m}} \quad [Hz] \quad (1)$$

여기서, f_n 은 시스템의 고유진동수이며, m 은 질량, α 는 동적 배율, k_d 는 동적 스프링정수, k_s 는 정적 스프링정수이다. 동적배율은 $\alpha = k_d/k_s$ 의 관계를 나타내며, 네오프렌이 속하는 크로로프렌고무는 일반적으로 $\alpha=1.4\sim 2.8$ 의 범위를 나타낸다.

† 교신저자; 유노빅스이엔씨(주) 기술연구소
E-mail : unseng@chol.com
Tel : (02) 556-8466, Fax : (02) 556-8460

* 유노빅스이엔씨(주) 기술연구소

** 유노빅스이엔씨(주)

방진고무를 비롯한 일반적인 방진재를 적용한 시스템의 진동저감 성능을 향상시키기 위해서는 식(2)와 같이 진동수비를 $\sqrt{2}$ 보다 크게 해야 한다. 일반적으로 강제진동수를 바꾸기는 불가능하므로 시스템의 고유진동수를 낮출 수 있는 방진재를 사용해야 한다.

$$T = \left| \frac{F_{out}}{F_m} \right| = \frac{\sqrt{1 + (2\xi\eta)^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2\xi\eta)^2}} \quad (2)$$

여기서 F_m 는 가진력, F_{out} 는 전달력이며, $\xi = C/C_c$ 는 감쇠비, $C_c = 2\sqrt{mk_s}$ 는 임계 감쇠계수, $\eta = f/f_n$ 는 진동수비, f 는 강제진동수이다.

3. 본 론

3.1 고무 특성 실험

3.1.1 경도 실험

경도는 고무요소 특성 실험 중 가장 기본이 되는 특성값으로 시편을 제작한 후, 반드시 경도를 확인하여 경도차이에 의한 시편간 오차를 줄여야 한다. 고무요소의 경도는 일반적으로 두 가지 종류의 측정방법이 이용되며, 가장 보편화된 Shore A 경도와 국제 경도 규격인 Micro IRHD (International Rubber Hardness Degrees)가 있다.

본 연구에서는 Shore A 경도계를 사용하여 경도를 측정하였으며 시편당 임의의 다섯 지점을 선정하여 측정하였다.

3.1.2 정적 특성 실험

정적 특성 실험에서 사용된 시편은 Table 1과 같으며, 시편의 형상과 경도를 변화시켜가며 정적 특성 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 장비는 Fig. 1. a 와 같은 만능시험기(UTM)로 최대하중은 30KN 이다. 고무요소의 정적 특성 실험은 일반적으로 인장과 압축을 반복하지만 본 실험의 경우 부하와 제하를 통해 압축반복실험을 수행하였다. 압축반복실험 시에는 물린스(mullin's)효과에 의한 고무요소의 정적 특성 오차를 줄이고자 고무요소 당 10회씩 2회 (총 20회) 반복실험 후 다시 10회 반복실험을 실시하였다.

3.1.3 동적 특성 실험

방진제품의 성능을 결정하는 중요인자인 고유진동수를 파악하기 위해 동특성 측정시스템(Fig 1. c)에 각각의 시편을 설치한 후 임팩트 해머로 충격가진하여 고유진동수를 확인하였다.

정적처짐이 동일하게 발생 되도록 Table 1. 과 같이 실험시스템을 구성하였다.

Table 1. The total load and quantities of used specimen

Type	Total Load [kgf]	Quantity [EA]	Unit Load [kgf]
T-1	2400	12	200
T-2		8	300
T-3		4	600
T-4		4	600
T-5		8	300
T-6		4	600
T-7		4	600
T-8		6	400

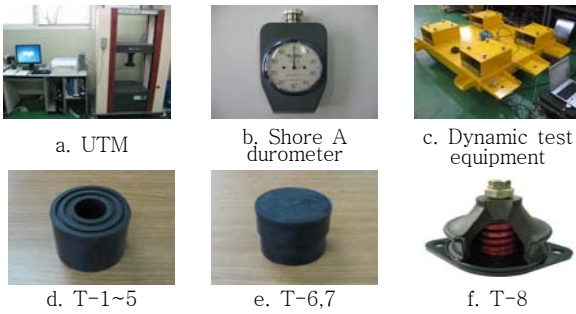


Fig. 1 Photograph of test equipments and specimens

3.2 실험 결과

3.2.1 경도 실험

임의의 다섯 지점에 대한 경도측정 결과를 평균한 결과 오차범위(±5) 내에서 요구하는 사양으로 제작이 되었음을 확인하였다. 측정결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Specification of specimens

Type	Product Title	Design Hardness (Shore A)	Measurement Hardness (AVG.)	Shape
T-1	PPM	40	40.6	원통형(inner hole), D ₁ :φ80
T-2		50	51.8	원통형(inner hole), D ₁ :φ80
T-3		60	62.0	원통형(inner hole), D ₁ :φ80
T-4		70	70.4	원통형(inner hole), D ₁ :φ80
T-5		60	61.7	원통형(inner hole), D ₁ :φ60
T-6	VJM	60	62.0	원통형, D ₁ :φ70, D ₂ :φ60
T-7		70	70.6	원통형, D ₁ :φ70, D ₂ :φ60
T-8	HERM	60	58.7	전단형 고무 + 코일 스프링

3.2.2 정적 특성 실험

각각의 시험편에 대한 정적 특성 실험 결과, 실험횟수가 반복될수록 고무요소가 안정화 되는 Mullin's 효과를 확인하였다.

Fig. 2는 시험시편 안정화 이후에 각 유형별 정적 특성 실험 결과로서, 경도 변화 및 시편의 형상에 따른 변위량의 변화를 파악할 수 있었다.

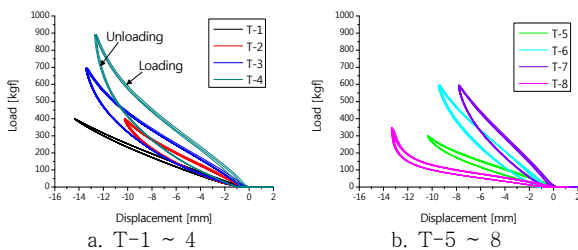


Fig. 2 Graph of results of static test

3.2.3 동적 특성 실험

고유진동수 실험 결과는 Fig. 4(a)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시험시편의 고유진동수 측정 결과, 동일소재 및 형태일때 경도가 높을수록 고유진동수가 높아지는 경향이 나타났으며, 형상의 경우, 동일소재 및 경도라 하더라도 소재의 압축시 자유도가 우수한 형태가 더 낮은 고유진동수를 갖는 것으로 나타났다. 이는 내부 공간으로 인해 압축력에 대해 보다 유연(flexible)하고 간섭이 적기 때문으로 판단된다.

고무로만 이루어진 시험편의 경우 고유진동수는 최하 8.25Hz로 나타나 이미 알려진 바와같이 타 방진소재인 스프링의 고유진동수 약 2-6Hz에는 미치지 못하는 것으로 나타났다.

T-8은 고무요소와 타 방진소재간의 조합에 따른 방진 성능을 파악하기 위해서 제작하였으며 고유진동수 측정결과 4.38Hz로 나타나 단일 고무시편에 비해 매우 우수한 동특성 결과를 나타내었다.

그러나, T-8의 경우 고무요소만으로 이루어진 시험편에 비하여 감쇠 효과는 다소 낮은 것으로 나타나 향후 복합형 소재의 개발 시 감쇠비와 강성의 최적화가 필요할 것으로 판단된다.

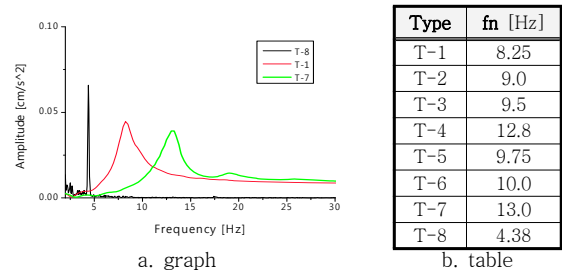


Fig. 3 Results of dynamic test (natural frequency)

4. 결 론

본 연구에서는 고무요소의 형상 및 경도의 변화에 따른 정적·동적 특성을 파악하여 실험을 수행하였다. 실험 결과, 고무요소의 형상 및 경도에 따른 변위를 측정하여 정적 특성을 파악할 수 있었으며, 동적 특성 파악을 위해 시험편의 고유진동수를 측정하였다.

각 시편의 동적 특성 측정결과, 고무요소만으로 이루어진 시험편은 고유진동수가 최소 8.25Hz이하로 나타나 방진 제품에 일반적으로 사용하는 스프링과 같은 요소에 비해 높게 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 방진 성능이 우수한 제품을 개발하기 위해 복합형(전단형 고무+ 압축 코일스프링) 소재를 제작하여 그 특성을 파악하였으며 그 결과, 단일 소재의 특성보다 우수한 결과를 보임을 입증하였다. 그러나 감쇠력이 상대적으로 다소 낮은 점을 보완하기 위해 최적화 작업이 필요한 것으로 나타났다.

또한, 향후 타 방진소재와의 복합형 방진 성능 연구를 추가적으로 연구할 예정이다.

후 기

이 연구는 서울시 산학연 협력사업(PA090912)의 지원으로 수행되었습니다.