

# 고무엔진마운트의 온도변화에 따른 동특성 해석

## Analysis of Dynamic Characteristics According to Temperature Variation on Rubber Engine Mount

황인성\* · 안태수\*\* · 이두호†

In Seong Hwang, Tae Soo Ahn and Dooho Lee

### 1. 서 론

엔진과 같은 구조물은 작동과정에서 크고 작은 진동이 발생하게 되는데 이를 감쇠시키는 일반적인 방법은 손실계수가 큰 점탄성 물질을 이용하여 진동을 절연시키는 방법이다. 대표적인 점탄성 물질로는 고무를 꼽을 수 있으며 여러 가지 환경요인에 의해 동특성이 달라지기도 하는데, 대표적으로 영향을 주는 환경적 요인으로는 주파수, 온도, 부식, 외부충격 등이 있다. 특히 점탄성 물질은 주파수와 온도의 영향을 많이 받는데 본 연구에서는 외부의 온도와 실험데이터의 오차, 그리고 모델의 오차 등으로부터 발생하는 고무재료의 변동성을 통계적인 방법으로 추정하고, 실제 사용되어지는 합성고무 엔진마운트에 적용하여 그 변동성을 추정하였다

### 2. 점탄성 물질의 거동모델

고무엔진 마운트가 합성고무의 일종인 SBR로 만들어 졌다 가정하였다. 점탄성 물질은 복소계수를 이용하면 응력-변형을 관계를 나타내는데 매우 유용하게 사용할 수 있는데 복소계수를 도입하고 4변수 분수차 미분모델로 나타내면 식(1)과 같다.

$$\sigma = E^* \varepsilon = E(1 + i\eta)\varepsilon$$

$$E^* = E(1 + i\eta) = \frac{a_0 + a_1(i2\pi f\alpha(T))^\beta}{1 + c_1(i2\pi f\alpha(T))^\beta} \quad (1)$$

여기서 사용된  $a_0, a_1, c_1, \beta$  는 점탄성 물질의 물성 계수이며  $0 < \beta < 1$ 이다.

또한 점탄성 물질의 변동성을 평가하기 위해 복소계수의 변동성이 나타나는 원인을 분석해야 하는데 주된 원인으로는 외부의 온도와 물성치 측정에서 발생하는 오류를 꼽을 수 있다. 이 두 가지의 원인은 서로 독립적으로 발생한다고 가정할 수 있으며 다음과 같이 두 개의 항으로 나눌 수 있다.

$$E^*(f, T) = E^*(f, T) + e_1^*(f) \quad (2)$$

식(2)에서  $E^*(f, T)$ 는 온도의 변동성에 따른 복소계수의 무작위 변동량이고,  $e_1^*(f)$ 는 기준온도에서 복소계수의 평균 값과 실제 값의 차이로 정의할 수 있다. 물성계수의 통계적 모멘트 값을 추정하기 위해 통 확률밀도함수를 사용하는데 확률변수의 통계량을 결정하기 위해 다음과 같은 우도함수를 정의할 수 있다.

$$L(\theta | y) = \sum_{i=1}^q [\log_{10}(p(y | \theta))] \quad (3)$$

여기서  $q$ 는 실험데이터의 수이고  $p$ 는 확률밀도함수,  $y$ 는 점탄성 물질의 실험값이며  $\theta$ 는 미지의 물성계수에 대한 통계량이다. 우도함수가 최대가 되는 확률통계량은 식(4)와 같이 최적화 문제로 정식화 할 수 있다.

Find  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$  such that

$$\text{Maximize } L(\theta | y) = \sum_{i=1}^q [\log_{10}(p(y | \theta))] \quad (4)$$

최적화 문제풀이는 MATLAB의 fmincon 함수를 사용하였고 기울기 정보는 유한차분법을 이용하였다. 또한 변동성을 추정하기 위해 몬테카를로해석(monte carlo simulation) 방법을 이용하여 저장계수와 손실계수를 계산하여 변동성을 평가하였다.

† 교신저자; 정회원, 동의대학교 기계공학과  
E-mail : dooho@deu.ac.kr  
Tel : (051)890-1658 , Fax : (051)890-2232  
\* 동의대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 동의대학교 산업기술개발연구소

### 3. SBR 엔진마운트의 동특성 변동해석

해석을 위해 전륜구동 승용차의 FR(front), LH(left hand), RR(rear) 3가지 유한요소모델을 개발하였다. 대표적으로 FR 유한요소모델을 Fig.1에 나타내었다. 총 노드수는 6,245개 이고 엘리먼트수는 4,825개 이다. 또한 SBR고무의 Poisson비와 밀도는 0.49와 2.971 kg/m<sup>3</sup> 이다. 동강성의 해석은 MSC/NASTRAN의 직접주파수 응답해석(SOL 108)을 이용하여 단위 힘 입력에 대한 주파수 응답함수를 구하였으며, 고무의 예압 하중은 고려하지 않았고 유한요소해석의 소요시간을 고려하여 몬테카를로해석의 시해횟수를 초 1,000회로 한정하고 그 변동성을 살펴보았다. 계산된 동강성의 변화는 fig.2에 나타내었다. 그림에서 보면 동강성의 변동성 크기는 주파수에 따라서 차수가 변할 정도의 큰 폭을 보이고 있다. 또한 table1에는 3가지 타입의 엔진마운트에 대해 대표 주파수인 10 Hz와 100 Hz에서의 각 방향에 대한 신뢰구간 폭을 dB 크기로 나타내었다.

### 4. 결 론

엔진마운트의 동강성 변동성은 주파수에 따라서 큰 차이를 보인다. 따라서 고성능 엔진마운트를 설계하기 위해서는 동특성의 변화가 꼭 고려되어야 하며 보다 정확한 변동성 추정방법 및 물성데이터의 확보할 필요가 있다.

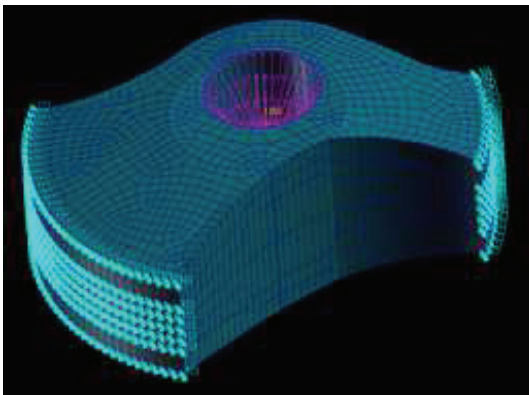
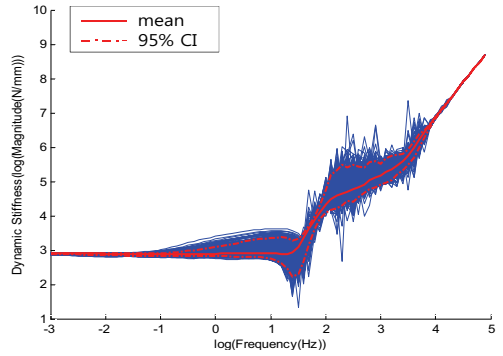
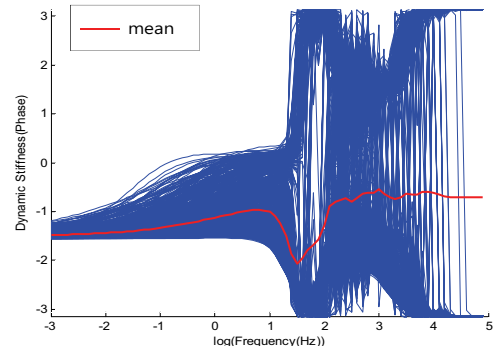


Fig. 1 Finite elements model of FR mount



a) Magnitude



b) Phase

Fig.2 Dynamic stiffness variation for the FR engine mount in z-direction

Table 1 Width of 95% confidence interval for dynamic stiffness magnitude at 10 Hz and 100Hz

type	direction	10 Hz	100 Hz
FR	x	5.5 dB	10 dB
	y	6 dB	11 dB
	z	5 dB	5 dB
LH	x	5 dB	12 dB
	y	6 dB	10 dB
	z	5 dB	12 dB
RR	x	5 dB	12 dB
	y	5 dB	10 dB
	z	5 dB	8 dB

### 후 기

This work was supported by a National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MEST; Grant No. 2010-0023464).