

고무 동특성 해석 기술 개발

Development of dynamic modeling of rubber mount

이신복† · 정직한* · 최재환** · 이영환**
Shin-Bog Lee, Jig-Han Jung Jae-Hwan Choi Young-Hwan Lee

Key Words : rubber, isolation, hyperelastic, viscoelastic, elasto-plastic, noise, vibration, dynamic stiffness, dynamic modulus.

ABSTRACT

Rubber Components have been playing important role for the isolation of noise and vibration of vehicle. This paper is presented the new method of dynamic modeling of rubber component for simulating the dynamic characteristics of it under the varying loading condition. Rubber dynamic model consists of the hyperelastic, viscoelastic and elasto-plastic characteristics of rubber. Dynamic properties of rubber are calculated at each preload and frequency conditions, compared to test data, and evaluated the validity of rubber dynamic model. This technique is expected to understand and improve the characteristics of noise and vibration with relation to rubber components.

기 호 설 명

Kd : 고무 동강성(Dynamic Stiffness of rubber).
Fmin, Fmax : 하중의 최소, 최대치
Dmin, Dmax : 변위의 최소치, 최대치

1. 서 론

차량에서의 고무부품은 주행시 파워트레인 및 서스펜션 등 가진원으로 부터 전달되는 하중을 절연하므로 차량 NVH성능에서 중요한 역할을 한다. 고무부품의 동적특성을 해석적으로 구현하기 위해 기존의 고무모델링방법은 고무의 초탄성(Hyperelastic) 및 점탄성(Viscoelastic) 재질특성을 이용하여 고무의 선형 및 비선형 해석에 사용이 되어져 왔다. (1-2) 그러나 이러한 고무모델링방법은 고무의 히스테리시스(Hysteresis) 특성을 고려할 수 없어 정적하중

및 가진 진폭의 변화에 대한 고무의 동강성(Dynamic Stiffness) 변화를 표현할 수 없었다..

본 논문은 고무의 초기 하중, 진폭의 변화 및 주파수변화에 따른 고무의 비선형 동특성을 구하기위해 초탄성, 점탄성 외에 탄소성(Elasto-plastic)특성을 갖는 고무동특성 해석모델을 사용하였는데, 이는 상용 S/W인 ABAQUS고무해석을 응용한 것이다. (3)

한편 고무동특성 해석모델에 시편시험을 통해 고무의 재료물성치를 입력하고 시험결과와 비교하여 고무동특성 해석모델의 타당성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 고무재료 물성 시험

고무시험은 크게 두가지로 진행되었다. 첫째는 고무의 기본 물성치를 구하기위한 시편단위의 시험이고 둘째는 고무시편에서 구한 물성치를 입력한 해석모델과 비교 검토를 위해 서스펜션마운트인 트레일링암 마운트의 정, 동특성

† 교신저자; 이신복, 현대자동차, 진동소음해석팀

E-mail : shinbog@hyundai.com

Tel : 031-368-3141 , Fax :031-368-2733

* 현대자동차, 차량열유동해석팀

** 최재환/이영환 ; 다쏘시스템 시물리아

시험이다. 고무 시편 물성 시험은 고무 경도 (Hardness) 45/50/55/60 도에 대해 시편 3개 Sample 을 만들어 시험을 수행하였다. 한편 시험 조건 및 시험종류는 Fig.1 와 같다.

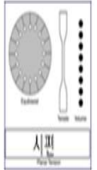


		시험종류	시험조건
Static	Simple Tension	 시편 : 경도 45, 50, 55, 60	
	Equibiaxial Tension		
	Planar Tension		
	Volumetric Tension		
Dynamic	Stress Relaxation		
	Harmonic Vibration		

Fig. 1 Conditions of Test and Specimen

Fig.2 의 시편 시험 결과에서 고무의 비선형성으로 인해 Stress-Strain 곡선의 기울기가 시험 할 때마다 조금씩 달라지게 되는데 시편 3 개로 시험하여 가장 낮은 기울기의 평균치로 해석모델에 입력하는 물성치로 선정했다. (4)

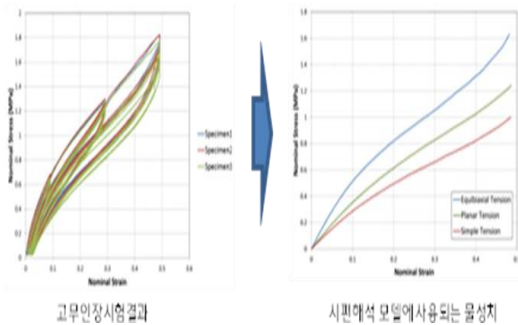


Fig. 2 Test results of specimen

한편 Fig.3 은 초기하중의 영향을 보기 위해 고무시편의 Strain 을 10%, 30%, 50% 증가시키고 진폭에 대한 영향을 보기 위해 진폭을 0.05, 0.1, 0.2mm 로 증가시킨 고무시편의 동특성계수(Dynamic Modulus)시험결과 이다. 그림에서 보는 바와 같이 초기하중이 클 수록, 진폭이 클수록 동특성 계수는 낮아지고 주파수가 증가 할 수록 동탄성 계수는 높아진다

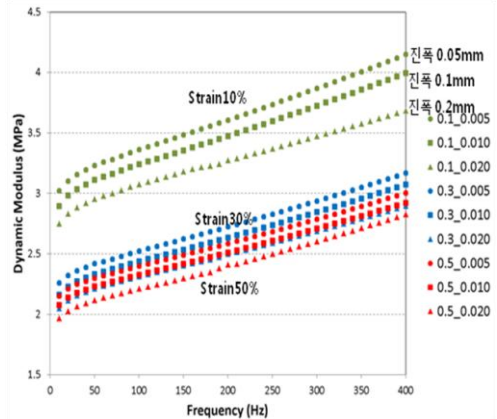


Fig. 3 Dynamic modulus of specimen

Fig.4는 자동차 현가장치의 고무부품 동강성 계수(Dynamic Stiffness)이다. .
 고무부품 시험은 결과는 시편시험결과와 동일하게 진폭이 커질수록 동강성은 떨어지며 주파수가 증가할 수록 동강성이 떨어지는데 이것은 고무의 공진특성으로 인한 것이다.

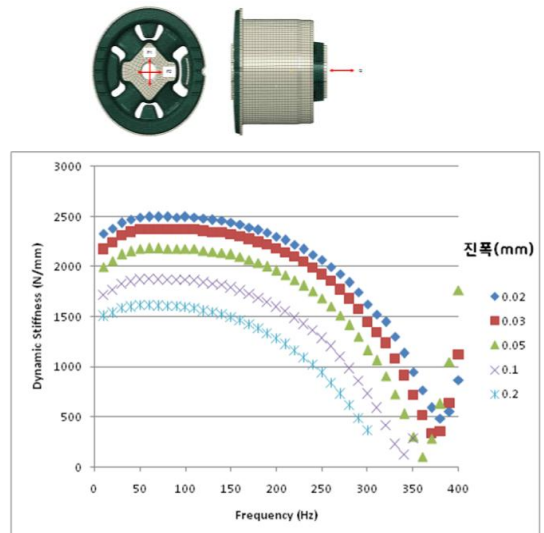


Fig.4 Dynamic Stiffness of suspension rubber mount(Hardness 55, Preload 500N)

2.2 고무요소 모델링

고무요소의 재료특성은 고무의 기본 정적 특성을 나타내는 초탄성(Hyperelastic), 점탄성(Viscoelastic), 탄소성(Elasto-plastic) 등, 3가지 특성으로 구성된다 이를 반영하는 고무모델의 메카니즘은 Fig.5와 같다.

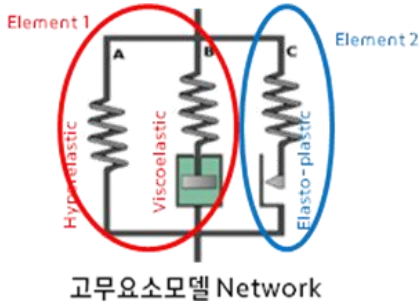


Fig. 5 Theological schematic of material model

초탄성과 점성특성이 같은 요소로 공유되고 고무가 변형하면서 소성특성을 보이는 모델을 다른 요소로 구성하여 두개의 요소가 결합된 유한요소모델을 사용한다.

고무요소모델에 입력이 되는 재료물성치는 고무시편시험에서 구한 물성치를 커브피팅한 값을 넣게 된다. Hyperelastic물성치의 경우 에너지포텐셜함수⁽⁵⁾를 사용하여 커브피팅하게 되는데 본 논문에서는 Yeoh모델⁽⁶⁾을 사용하여 커브피팅하였다.

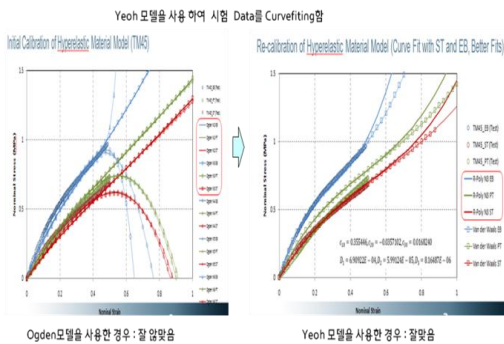


Fig.6 Curve fitting of Hyperelastic material (energy potential function: Yeoh model)

Viscoelastic 및 Elasto-plastic 물성치도 커브 피팅을 통해 고무요소모델에 입력하는 재료물성치계수를 구했다.

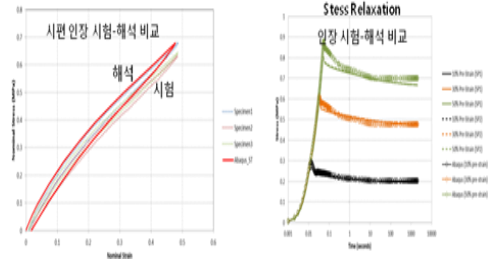


Fig.7 Comparison between test and analysis of characteristics of specimen (simple tension Stress Relaxation)

한편 시험에서 구한 고무재료 물성치를 입력하고 고무시편에서의 특성과 부합하는지를 검토하였다. Fig.7 은 초탄성특성을 나타내는 인장 및 동특성을 나타내는 Stress Relaxation 시험결과에 대해 시험해석결과와 비교하였으며 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다.

탄소성은 고무요소를 각각 항복강도를 갖는 여러 개의 서브볼륨으로 구성하고 초탄성과 점탄성 특성의 해석결과와 시편의 시험결과를 Calibration 하여 구했다.⁽³⁾

고무시편의 초탄성, 점성 및 탄소성에 해당되는 재료 물성치를 입력하고 해석-시험결과를 Fig.8 에 비교하였다. 해석-시험결과가 비교적 잘 일치하였고, 고무 동특성 요소 해석모델이 타당성이 있음을 확인하였다.

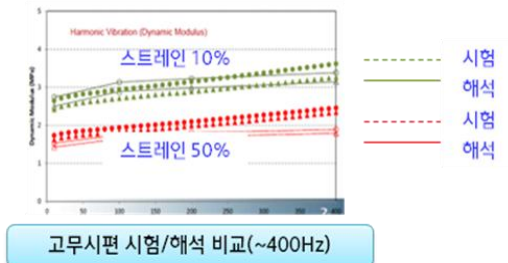


Fig.8 Comparison dynamic modulus between test and analysis of f specimen (Frequency range: ~400Hz)

2.3 고무 단품 해석

고무요소에 고무시편에서 구한 물성치와 고무요소의 접촉특성을 고려하여 경계조건을 부여하고 정적 자중을 고려한 정하중을 입력한 상태에서 정현파 가진으로 주파를 증가시키면서 고무동특성해석을 실시하였다 Fig.9 는 고무동특성 해석절차를 나타낸다

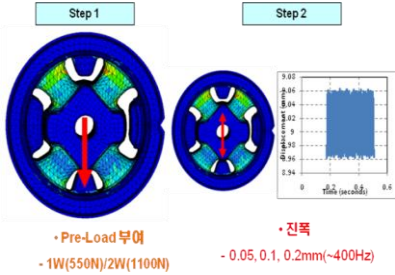


Fig.9 Flow of rubber dynamic analysis

Fig.10은 해석결과 중 10Hz에서의 하중-변위 곡선을 나타낸다. 한편 고무부품의 동강성은 하중-변위 히스테릭 곡선의 기울기로 표현된다

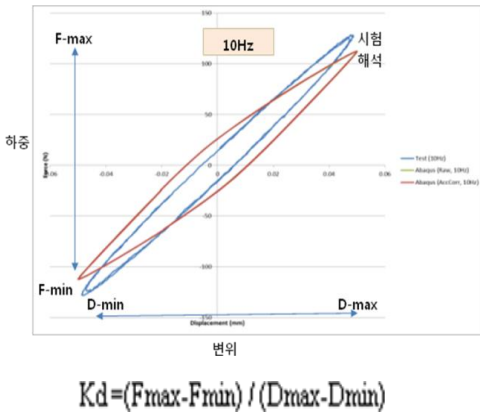


Fig.10 Comparison of the hysteresis curve of force-displacement between test and analysis of suspension rubber mount (10Hz)

10~400Hz까지의 하중-변위 곡선으로 부터 구한 동강성 값과 하중-변위곡선의 위상차인

Tan δ 값을 Fig.11에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 해석-시험결과의 경향은 비교적 잘 일치한다.

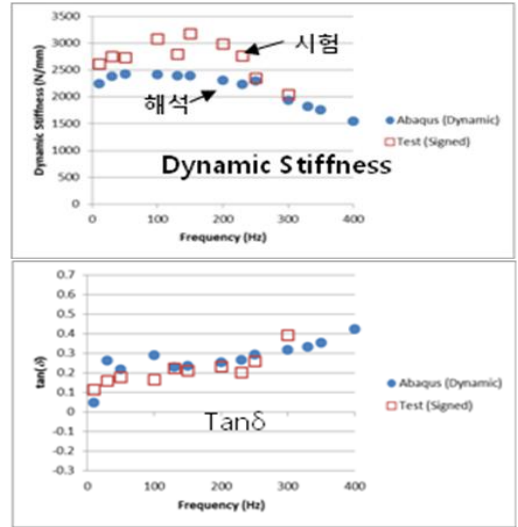


Fig.11 Comparison between test and analysis of dynamic stiffness and Tan δ of suspension rubber mount(0~400Hz, Amplitude: 0.1mm)

결론

주행시 다양한 동하중에 의해 차량부품이 진동을 하게 되는데 특히 고무부품의 경우, 진폭이 변하면 동적 특성이 달라지며 이러한 진동, 소음 현상을 재현하기 위한 고무 동특성 모델을 제시하고 이에 대한 타당성 검토를 하였다.

(1) 고무의 초탄성, 점탄성 특성 및 탄소성 특성을 갖는 두개의 요소가 중첩이 되는 고무 동특성 해석모델은 정적 하중의 변화, 가진 진폭의 변화와 주파수의 변화에 따른 고무의 동적 특성을 잘 조사하고 있다.

(2) 고무 동특성 해석을 통해 주행 중 자동차의 고무부품 변형특성을 이해하고 고무 절연율 성능을 분석함으로써 고무마운트로 인해 발생하는 각종 NVH 현상에 대한 원인규명 및 개선이 기대된다.

참고문헌

- (1) Ahmadi, H., Kingston, J. & Muhr, A., “Dynamic Properties of Filler Rubber – Part I: Simple Model, Experimental Data and Simulated Results,” Pittsburgh: Technical Meeting of the Rubber Division, American Chemical Society, 2007
- (2) Ahmadi, H., Kingston, J., Muhr, A., Gracia, L. & Gómez, B., “Interpretation of the high low-strain modulus of filled rubbers as an inelastic effect”, Busfield & Muhr Eds, 2003
- (3) Harley, C.R. & Choi, J., “Finite Element Overlay Technique for Predicting the Payne Effect in a Filled-Rubber Cab Mount”, SAE Int. J. Passeng. Cars – Mech. Syst., 413-424, doi:10.4271/2012-01
- (4) Dassault Systèmes Simulia Corp., “Abaqus Analysis User’s Manual”, 2012
- (5) Dalrymple, T., Choi, J. & Miller, K., “Elastomer Rate-Dependence: A Testing and Material Modeling Methodology”, 172nd Technical Meeting of the Rubber Division of American Chemical Society, Cleveland, 2007
- (6) Yeoh, O., “Some Forms of the Strain Energy Function for Rubber”, Rubber Chemistry and Technology, 66, 754-771, 1993
- (7) Heon-Seob Jung, Byung-Kwon Min, Seong-Hoon Lee, Hee-Soo Woo and Hyun-Ho Park, 2012, “Improvement of Insulation Performance of Vehicle Rubber Hoses” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering v.22, no.9, pp.837-844