

브레이크 패드의 이방성 탄성 물성에 따른 모달 민감도 분석에 관한 연구

A Study on the Modal Sensitivity Analysis According to Transversely Isotropic Elastic Properties of Brake Pads

권성진† · 배철용* · 김현중* · 김효성* · 김찬중* · 이봉현*

Seong-Jin Kwon, Chul-Yong Bae, Hyoun-Jung Kim, Hyo-Sung Kim, Chan-Jung Kim, and Bong-Hyun Lee

1. 서 론

자동차용 디스크 브레이크 시스템(disc brake system)의 패드(pad) 마찰재(friction materials)는 크게 상층재, 하층재, 백플레이트(back plate), 각종 shim(shim) 등으로 복잡하게 구성되어 있다. 이 중 상층재는 디스크와의 마찰을 일으켜 제동력을 발생시키는 마찰재로써 수십가지 화합물로 이루어진 복합재로 구성되어 있다. 디스크 브레이크 시스템의 패드 마찰재와 관련한 많은 연구가 수행되었으나, 이방성 재질(anisotropic material)과 점탄성(visco-elasticity)을 가지는 패드 마찰재의 정확한 탄성 물성(elastic properties)과 모달 특성(modal characteristics)과의 상관관계를 예측 및 평가하는 연구는 미진한 실정이다.

이에 본 연구에서는 브레이크 패드 마찰재의 3축 방향 탄성 물성을 초음파(ultrasonic wave)를 이용하여 정밀하게 측정하고, 이를 활용한 CAE(Computer Aided Engineering) 기반 모달 해석(modal analysis)을 수행하여 패드 마찰재의 탄성 물성에 따른 모달 민감도 분석(modal sensitivity analysis)을 수행하였다.

2. 이방성 탄성 물성 측정

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 자동차부품연구원이 보유하고 있는 IMS(Industrial Measurement System, Inc.)의 ETEK-3000 장비를 활용하여 브레이크 패드 마찰재의 3축 방향별 초음파 투과속도 및 탄성 물성을 측정하였다. 시험방법은 SAE(Society of Automotive Engineers) J2725 규격을 사용하였다. 패드 마찰재와 같은 횡적 등방성(transversely isotropic) 재질에서의 후크의 법칙은 식(1)

과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 σ 는 수직 응력, τ 는 전단 응력, ϵ 는 수직 변형율, γ 는 전단 변형율, c 는 탄성 상수(elastic constants)를 나타낸다. 본 연구에서는 Table 1과 같이 대상 패드 마찰재의 탄성 상수를 3축 방향별 초음파 투과속도와 밀도를 바탕으로 산출하였다.



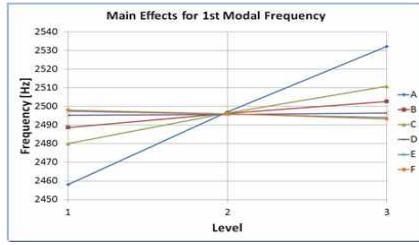
Fig. 1 Ultrasonic velocity measurement machine

Table 1 Design variables of test samples

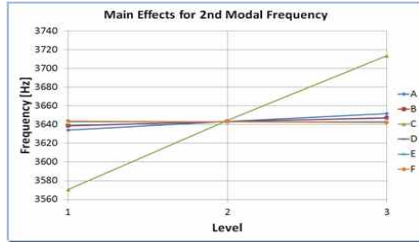
design variables		coordinates
A	c_{11}	
B	c_{33}	
C	c_{44}	
D	c_{66}	
E	c_{12}	
F	c_{13}	

† 교신저자 ; 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터
E-mail : sjkwon@katech.re.kr
Tel : (041) 559-3337, Fax : (041) 559-3340

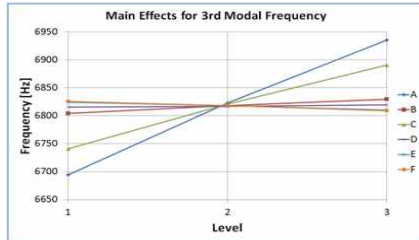
* 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터



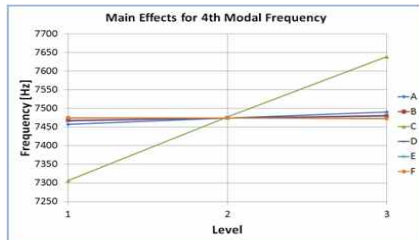
(a) 1st modal frequency



(b) 2nd modal frequency



(c) 3rd modal frequency



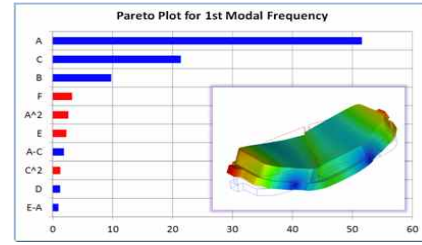
(d) 4th modal frequency

Fig. 2 Main effects analysis of brake pads

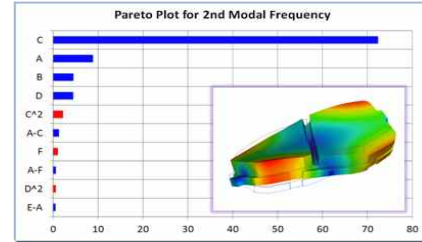
3. 모달 민감도 분석 결과

본 연구에서는 앞서 초음파 탄성 물성 측정시험 결과를 바탕으로 MSC社의 Nastran을 활용한 유한요소 해석을 수행하였다. 또한 브레이크 패드 마찰재의 방향별 탄성 상수 6개의 3수준에 따른 모달 민감도 해석을 수행하기 위하여 DOE(Design of Experiment) 기반 모달 해석을 수행하였다. 모달 해석 결과는 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 1차, 2차, 3차, 4차 고유진동수(modal frequency)를 각각 분석하여 주효과 분석과 퍼센트 영향도 분석을 수행하였다.

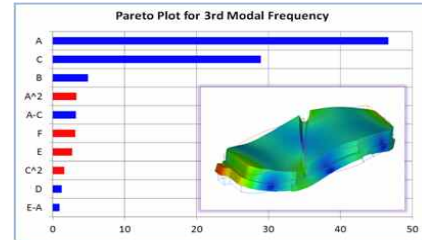
모드형상(mode shape)이 굽힘변형(bending)으로 나타나는 1차와 3차 고유진동수에서는 c_{11} 탄성 상수의 기여도가 가장 높게 분석되었다. 또한 모드형상이 비틀림변형(twist)으로 나타나는 2차와 4차 고유진동수에서는 c_{44} 탄성 상수의 기여도가 가장 높게 분석되었다.



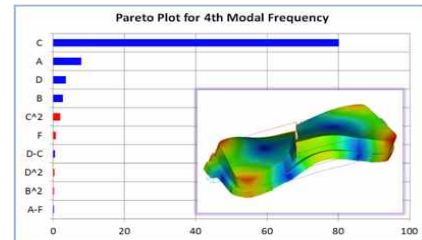
(a) 1st modal frequency



(b) 2nd modal frequency



(c) 3rd modal frequency



(d) 4th modal frequency

Fig. 3 Percent effects analysis of brake pads

4. 결 론

본 연구에서는 디스크 브레이크 시스템의 패드 마찰재에 대한 3축 방향별 탄성 물성을 초음파를 이용하여 정확히 측정하였다. 이를 바탕으로 패드 마찰재의 방향별 탄성 상수에 따른 모달 민감도 분석을 수행하여 각각의 고유진동수와 모드형상에 따른 방향별 탄성 상수의 기여도 및 민감도 분석을 수행하여 고부가가치 패드 마찰재 개발을 위한 기반기술을 확보하였다.

후 기

본 논문은 중소기업기술정보진흥원에서 주관하는 첨단장비활용기술개발사업(초음파 탄성 물성 측정기를 활용한 브레이크 패드 마찰재의 스릴 노이즈 성능 향상 기술 개발)의 성과물로서 관계자 여러분께 감사드립니다.