

Isight를 이용한 브레이크 저더 진동의 최적설계 자동화에 관한 연구

A Study on the Optimization and Automation of Brake Judder Vibration by Using Isight

권성진† · 김문성* · 배철용** · 신천세** · 이동원** · 김찬중** · 이봉현**

Seong-Jin Kwon, Mun-Sung Kim, Chul-Yong Bae, Chun-Se Shin, Dong-Won Lee, Chan-Jung Kim, and Bong-Hyun Lee

1. 서 론

자동차 브레이크 시스템(brake system)의 진동소음 현상은 주파수 대역에 따라 다양하게 구분되지만, 주요 발생 진동은 고속에서 제동토크 변화(Brake Torque Variation, BTV)에 따른 조향 휠 및 차체의 이상 떨림을 야기하는 저더 진동(judder vibration)이다. 이는 일반적으로 100~130km/hr의 속도 대역에서만 발생하며, 크게 냉간 저더(cold judder)와 열간 저더(hot judder)로 나누어진다.

브레이크 저더 진동에 관련한 연구는 다양한 관점에서 많은 연구가 수행되었으며, 주로 브레이크 시스템의 DTV(Disc Thickness Variation) 및 런아웃(run-out) 관리를 통한 가진력 최소화, 시험을 통한 저더 진동의 재현, 차량의 현가계/조향계를 연계한 진동전달 경로의 분석 등의 연구가 수행되었다. 하지만 패드 마찰재(friction material) 특성과 설계변경에 따른 진동 특성 분석과 브레이크 시스템의 설계변수(design variables) 영향도 분석을 수행하여, 궁극적으로 저더 진동 저감을 위한 설계방안을 제시하는 연구는 상대적으로 미진한 실정이다.

본 연구에서는 대상 브레이크 시스템의 다물체 동역학(multi-body dynamics) 기반 해석 모델을 바탕으로 저더 진동 특성 및 운동 특성을 분석하고자 하였다. 또한 브레이크 다이내모미터(brake dynamometer)를 이용하여 실험적인 방법으로 검증을 수행하였다. 이를 바탕으로 저더 진동에 영향을 미치는 다양한 설계변수의 영향도 분석 및 실차기반 진동전달 경로 분석을 수행하였다. 또한 본 연구에서는 저더 진동 저감을 위한 대상 브레이크 시스템의 최적설계(optimal design)를 수행하였다. 이는 실험계획법(Design of Experiment, DOE) 기반 샘플링 및 다물체 동역학 해

석, EDM(Engineering Data Mining) 기반 최적설계 모델의 분석, 저더 진동의 설계변수 민감도 분석(sensitivity analysis) 등의 순으로 진행하였다. 이를 통하여 본 연구에서는 저더 진동 저감을 위한 최적설계 자동화 프로세스를 구축하였으며, 최적의 설계변수와 목적함수를 도출하였다.

2. DOE 샘플링 및 민감도 분석

저더 진동 저감을 위한 최적설계 설계변수의 선정은 저더 진동에 영향을 상대적으로 크게 미치는 18개의 설계변수(접촉강성, 접촉댐핑, 동마찰계수, DTV, 피스톤 면적, 백플레이트 부쉬 강성, 패드 형상 변수)를 최적설계 모델의 설계변수로 선정하였다. 또한 최적설계 모델의 목적함수는 다물체 동역학 해석 결과인 제동토크에 대하여 주파수 분석을 수행

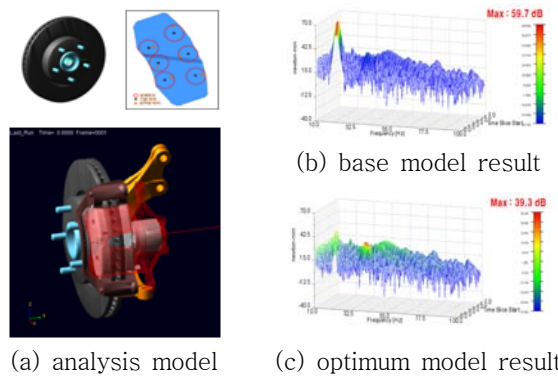


Fig. 1 Judder vibration analysis result

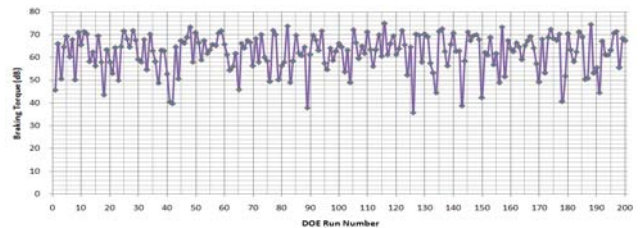


Fig. 2 Multi-body dynamic analysis by DOE sampling

† 교신저자; 자동차부품연구원
E-mail : sjkwon@katech.re.kr
Tel : (041) 559-3337, Fax : (041) 559-3070

* 인지니어스 코리아

** 자동차부품연구원

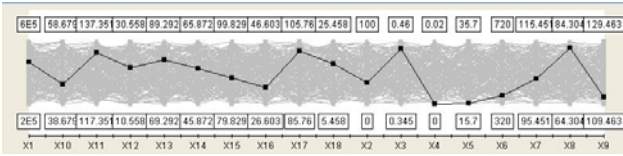
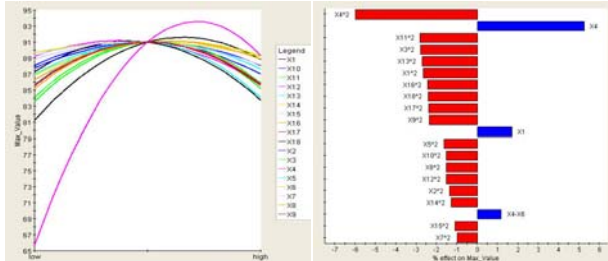


Fig. 3 Engineering data mining of design variables



(a) main effect analysis (b) percent effect analysis

Fig. 4 Sensitivity analysis of design variables

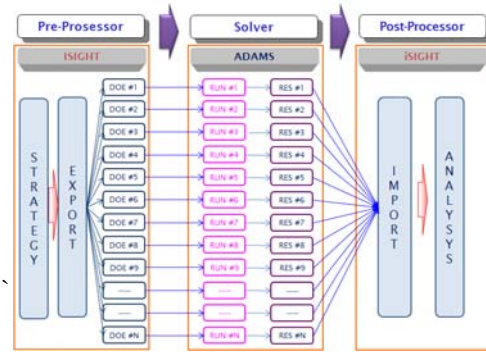
한 최대 진동레벨(dB)을 선정하였다. 제동조건으로는 제동 초기속도 160km/hr, 제동 감가속도 0.5g로 설정하였다.

18개의 설계변수에 따른 DOE 기반 샘플링은 최적 라틴 방격법(optimal latin square method)을 이용하여 총 200 개의 조합을 선정하였다. 이에 따른 저더 진동 해석 결과는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 이를 통하여 최종적으로 선정된 DOE 샘플링은 126번째 설계변수 조합이 가장 낮은 목적함수의 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 EDM 기반 최적 설계 모델의 설계변수 분석은 Fig. 3에 나타내었으며, 설계 변수 민감도 분석 결과는 Fig. 4에 주효과 분석(main effect analysis)과 퍼센트 영향도 분석(percent effect analysis) 결과를 나타내었다.

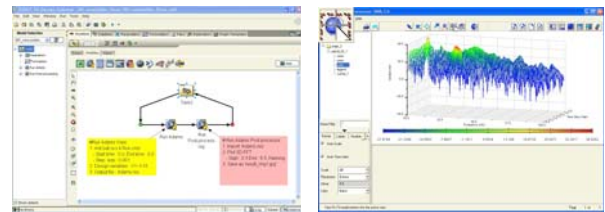
3. 최적설계 자동화 알고리즘

본 연구에서는 저더 진동의 최적설계 프로세스를 자동화 할 수 있는 알고리즘을 구축하였다. Fig. 5(a)와 같이 상용 최적화 소프트웨어인 Isight와 상용 다물체 동역학 해석 소프트웨어인 Adams를 연계하였으며, 이를 통하여 대상 브레이크 시스템의 최적설계를 위한 설계변수 선정, DOE 기반 설계변수의 샘플링, 다물체 동역학 저더 진동 해석 및 결과 분석, EDM 기반 최적 모델의 분석, 설계변수 민감도 분석 등의 전과정을 자동화하였다.

Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)는 본 연구에서 개발한 자동화 알고리즘을 바탕으로 저더 진동 해석 및 결과 분석을 수행하는 화면을 나타낸다. 본 자동화 알고리즘에서는 사용자가 최적 설계의 전략(strategy)으로 설계변수, 목적함수, 제한조건을 정의하고, DOE의 종류 및 횟수 등을 선정한다. 필요에 따라 RSM(Response Surface Method) 기법을 지정하거나 최적화 알고리즘의 기법을 선정할 수도 있다. 이를 입력으



(a) Optimization & automation process



(b) Isight

(c) Adams

Fig. 5 Optimization and automation of brake judder

로 본 자동화 알고리즘에서는 해석 대상인 다물체 동역학 해석 모델의 ASCII 파일을 읽어서, DOE에 따른 설계변수 조합을 생성한다. 이 후에는 다물체 동역학 기반 저더 진동 해석을 각각의 설계변수 조합에 따라 백그라운드 기반으로 실행하게 된다. 해석이 완료되면, 각각의 해석 결과 파일을 읽어들이어 DOE에 따른 설계변수 및 목적함수 분석을 수행한다. 이 때 다양한 설계변수 영향도 분석 및 민감도 해석 기법, 최적화 기법의 알고리즘은 Isight를 이용하여 추가적인 작업을 수행할 수 있도록 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차용 디스크 브레이크 시스템의 저더 진동 저감을 위한 최적설계 자동화 알고리즘을 구축하였다. 이를 통하여 라틴방격법 기반 DOE 샘플링 및 다물체 동역학 해석, 시간역/주파수역 결과 분석을 자동화하여 저더 진동을 저감할 수 있는 최적의 설계안을 도출하였다. 이와 같은 결과는 브레이크 시스템의 설계단계에서 저더 진동 특성을 분석할 수 있어 저더 진동 저감을 위한 최적의 설계안을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 한국산업기술진흥원에서 주관하는 부품소재전문기업기술지원사업(자동차용 브레이크 부품 진동소음 저감을 위한 CAE/CAT 기반 최적화 설계 기술 지원)의 성과물로서 관계자 여러분께 감사드립니다.