

제동 시스템에서 고속 저더 개선 평가에 관한 연구

A Study for High Speed Judder Evaluation on Brake System

김 성 환* · 조 성 선* · 이 정 환*
Seonghwan Kim, Sungsun Cho and Junghwan Lee

(Received April 12, 2011 ; Revised May 15, 2013 ; Accepted May 15, 2013)

Key Words : High Speed Judder(고속 저더), Brake Caliper Module(브레이크 캘리퍼 모듈), Disc Thickness Variation(DTV, 디스크 두께 변동), Brake Torque Variation(BTV, 브레이크 토크 변동), Steering Wheel Sensitivity Index(조향 휠 민감도 지수, K-index), Cause and Effect Diagram(특성요인도)

ABSTRACT

This paper deals with experimental evaluation methods for high speed judder on the brake-caliper system. Firstly, two types of brake caliper systems due to the wheel vibration was evaluated. Secondly, the high-speed judder of the brake was also investigated using the subjective rating evaluation in the high-speed road test. These experimental evaluations were carried out by changing the materials of brake pad and the specifications of the brake-corner module. Based upon the test results, a new specification of the brake pad, 15×5 vertical chamfer, was proposed. The new brake pad showed 3 points, 60 %, improvement in the subjective-rating evaluation comparing with conventional one. Besides, we need to decide properly with judder characteristic of pad material and have to carefully take into consideration other design parameters; caliper, disc, and the braking performance, durability, squeal noise.

1. 서 론

자동차 성능의 비약적인 발전과 더불어 운전 중의 정숙성과 안락성에 대한 소비자의 요구 또한 크게 증가하고 있다. 특히, 주행 중 제동시 발생하는 소음 진동 현상으로 스킵 소음과 저더는 자동차의 상품 가치를 저하시키고 소비자의 불만을 초래한다. 특히, 120 kph 이상으로 고속 주행 중 제동시 발생하는 저더(judder)는 운전자에게 불안감을 유발하여 차량의 정숙성과 안락성을 저해한다. 이러한 현상은 디스크의 두께 변화(DTV)와 런아웃(runout) 불균일

에 의해 발생하는 냉간 저더(cold judder)와 제동시 디스크의 급격한 온도 상승에 의한 열점(heat spot)의 생성으로 차량 진동과 소음(rumble noise)이 발생하는 열간 저더(hot judder)로 나눌 수 있다⁽¹⁻⁵⁾.

Fig. 1에서 저더 분류와 발생 및 전달 메커니즘을 나타내었는데, 브레이크 시스템이 저더를 유발하는 가진원(excitation source)으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 이렇게 발생한 진동이 현가계와 조향계를 통해 차체와 스티어링 휠 및 페달로 전달되어 차량 진동 및 소음을 발생시킨다⁽⁶⁻¹²⁾. 따라서, “조향-현가계-차체”를 통한 진동 전달 메커니즘을 “가진계-전달계-응답계”로 모델링하고, 저더의 원인과 조건을 분

† Corresponding Author : Member, Mando Corporation
E-mail : neumann72@mando.com
Tel : +82-2-6244-2558, Fax : +82-2-6244-2594
* Mando Corporation

‡ Recommended by Editor Don Chool Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

류하였다. Fig. 2는 저더 발생 인자들에 대해 차량 및 현가/샤시 모듈(로우암, 너클, 허브 베어링, 디스크, 캘리퍼, 패드) 등 주요 인자별로 분류하고 저더

발생 인자별로 도출하여 6시그마 기법에서 활용되고 있는 특성 요인도(fish-borne diagram, cause and effect diagram)로 나타낸 것이다.

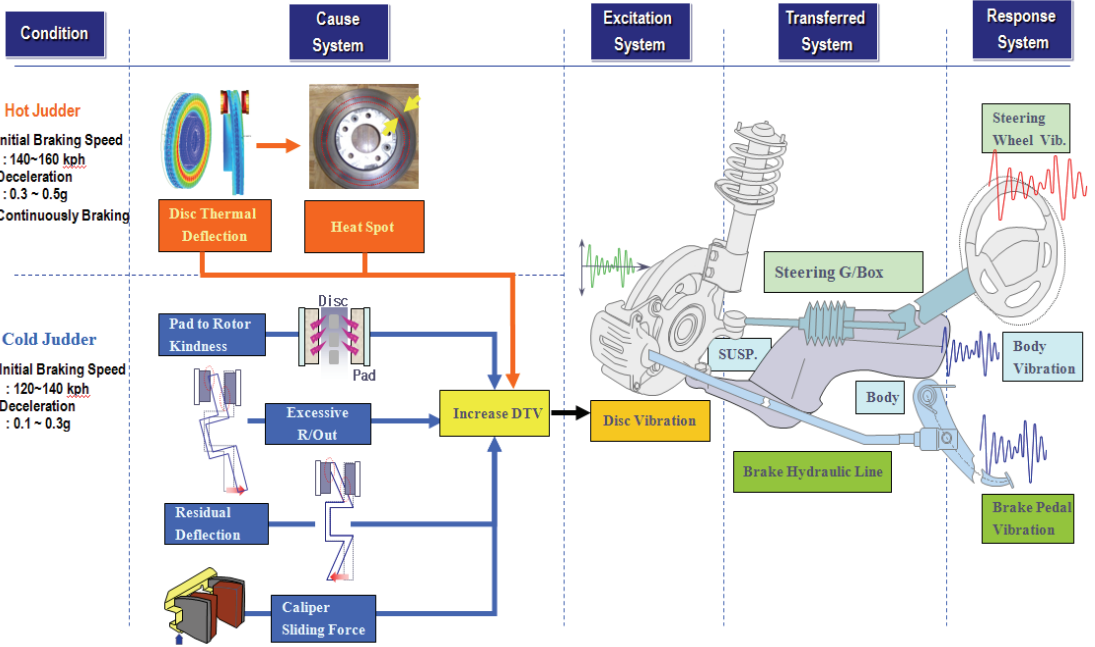


Fig. 1 Brake judder classify with cause condition and their transferred mechanism

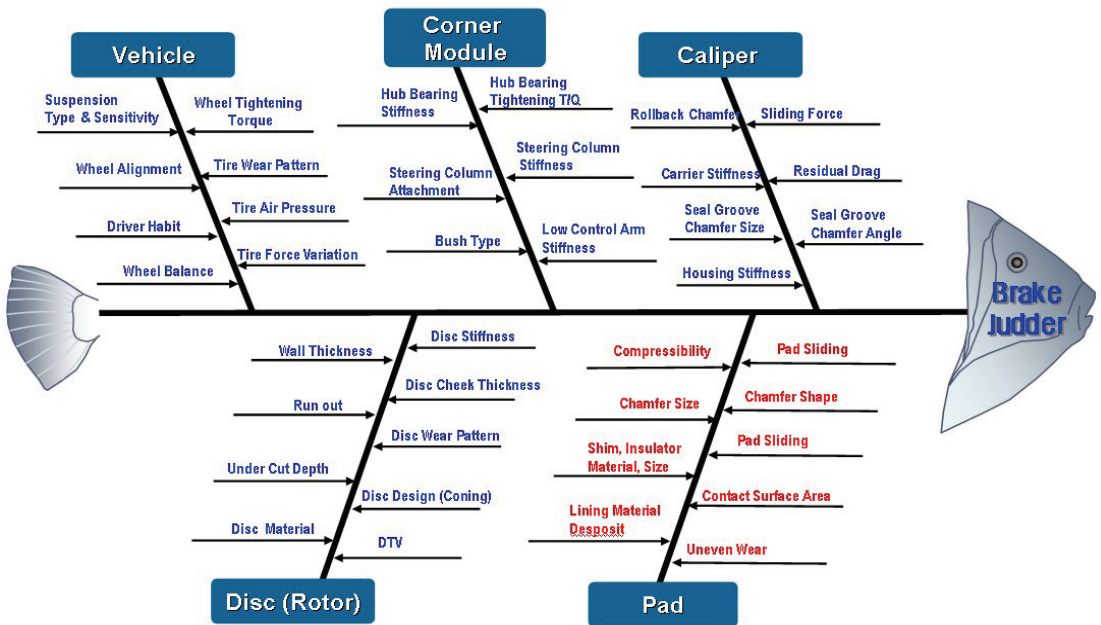


Fig. 2 Cause and effect diagram analysis for brake judder

이 논문에서는 브레이크 패드를 포함한 캘리퍼 어셈블리 관점에서 발생 요인을 검토하고 저더 진동 계측을 위한 장비를 활용하여 차량의 고속 저더를 평가하고 저더 발생 저감을 위한 개선안을 검토하고자 한다^(5,9).

2. 제동 시스템에서의 저더 민감도

2.1 조향 휠 저더 민감도(K-index)의 정의

제동 시스템에서 저더가 발생하였을 때 이를 확인하고 검증하기 위한 방법 중 하나로 차량에서 발생 수준과 차량의 특성을 파악하기 위해 조향 휠의 응답에 의한 저더 민감도 지수(K-index) 산출을 통해 수준을 확인하는 방법이 있다.

이것은 차량별로 각각의 브레이크 시스템과 샤시, 현가계, 조향 휠의 응답 특성에 따라 조금씩 차이가 있기 때문에 가진계와 전달계 특성에 따라 저더 특성의 변화를 알 수 있다는 점에서 유용한 평가 방법이다. 통상적으로 차량 휠에 90 g 또는 120 g의 부가 질량을 부착하여 이에 의해 가진 되는 원심력을 입력으로 정의하고 고속으로 주행한 후 160 kph부터 60 kph까지 제동없이 자연 감속 상태에서 조향 휠의 접선 방향 진동 가속도 측정값을 출력으로 정의한다. 이를 수식화하면 불평형 질량에 의한 원심력은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다⁽¹³⁾.

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1)$$

여기서, m 은 가속도계의 질량(kg), r 은 휠의 중심에서 불평형 질량까지 반경(m)을, ω 는 각속도(rad/s)를 나타낸다. 이것은 측정된 진동 가속도 레벨 중 조향 휠에서 최대 가속도 성분에 대해 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$K = \frac{\text{Output Acceleration}}{\text{Input Force}} = \frac{g}{m \cdot r \cdot (2\pi \cdot f)^2 \times 10^{-4}} \quad (2)$$

여기서, $\omega = 2\pi f$ 이고 g 는 가속도계에서 측정된 진동량의 최대값(m/s^2)을 나타낸다. 또, 조향 휠의 민감도 지수는 불평형 질량에 의한 차량의 가진량 대비 조향 휠의 1차 order의 응답 성분들 차량 속도별로 비교하여 가속도계에서 측정된 최대 가속도 성분을

불평형 질량에 의한 원심력으로 나눈 값으로 나타내기도 한다. 이렇게 계산된 결과값은 매우 작은 값을 가지기 때문에 이를 보정하기 위해 scale factor로 10^{-4} 를 곱하였다. 조향 휠의 민감도 지수 K 값은 식(2)에서 표기한 바와 같이 가속도를 힘으로 나눈 값인 이너턴스(inertia)로, 이것은 주파수 응답 함수(FRF, frequency response function)의 한 종류이다.

2.2 조향 휠 응답에 의한 저더 민감도 평가

조향 휠의 응답에 의한 저더 민감도 평가 방법은 차량에 장착된 현가계, 조향 장치, 너클, 로우암 등의 샤시 모듈이 동일한 상태에서 서로 다른 2 종류의 허브 베어링, 디스크, 캘리퍼, 패드를 비교하면서 저더의 발생 수준과 차체의 진동 응답 특성, 고속 주행 중 자연 감속에 의한 저더 수준을 정량적으로 비교, 평가하였다.

Fig. 3은 조향 휠 저더 민감도를 평가하는 개략도이며, Fig. 4는 실제 차량의 전륜 타이어 휠에 120 g (또는 90 g)의 불평형 질량(unblanced mass)을 부착하고 이 불평형 질량에 의한 차량 가진량 대비 조향 휠에 전달되는 진동의 1차 order 응답 성분(K-factor)을 주파수 분석하여 차량 속도별로 비교하는 방법으로 고속 주행시 차량에 전달되는 외력이 없어야 한다. 이 평가 방법은 고속 주행 중 제동시 조향 휠의 진동 수준을 정량적으로 평가하여 현가계와 차량의 민감도, 디스크의 열용량 부족에 의한 열변형, 진동 전

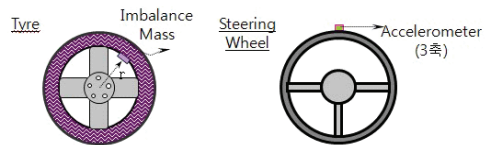


Fig. 3 Illustration of judder sensitivity test method

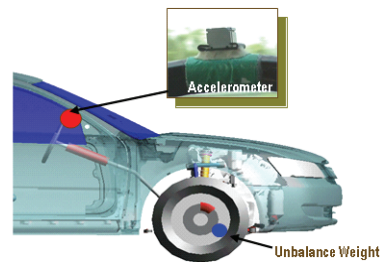


Fig. 4 Attached unbalanced mass(120 g) on front wheel

Table 1 Brake caliper modules specification

Module name	Wheel size	Disc specification	Caliper	Pad material
Module A	16inch	16 inch ventilated	TRW	FM Co. FM4108
Module B	17inch	17 inch ventilated	Mando	AK Co. NS265H

달계의 민감도를 확인하는데 유용한 방법이다.

Fig. 4는 저더가 발생한 차량에 전달되는 진동량을 측정하기 위해 조향 휠 상단에 3축 가속도계를 고정하여 회전 방향(Y방향)의 진동 데이터를 계측하고 타이어 휠에 불평형 질량을 부착한 후 너클, 타이로드에 강제 진동에 의한 차량 가진량 대비 조향 휠의 1차 order의 응답 성분을 차량의 속도별로 비교한다. 이 때 외력에 의한 진동 가속도 영향을 차단하기 위해 휠에서 손을 뗀다.

이 평가에 적용된 캘리퍼 모듈 A와 B의 사양은 각 캘리퍼 제조사와 패드 재질과 함께 Table 1에 각각 명시하였다.

2.3 캘리퍼 모듈 A, B의 조향 휠 민감도 평가

캘리퍼 모듈 A를 평가한 결과를 Figs. 5, 6에 나타내었다. 이 결과를 살펴보면 차량 전후 방향(X방향)의 진폭이 가장 크게 나타나 2차 order 성분인 33 Hz가 조향 휠의 진동 특성에 지배적인 결과를 나타내었다. 초기 DTV는 약 10 μm이하임에도 불구하고 전륜 디스크 두께 변동(DTV)에 의해 진동이 발생하여 현가장치로 전달되고 이 진동이 조향 휠에 전달되는 특징을 나타내었다.

캘리퍼 모듈 A의 경우, 저더의 특징을 나타내는 회전(Y)방향 진동량이 x, z방향과 비교해 상대적으로 작은 값을 가지고, 캘리퍼와 패드의 성능 평가 할때, 최대 브레이크 토크 변동(max. BTV)을 표현하는 브레이크 열적 거칠기(thermal roughness) 특성이 제동시 디스크를 가진하여 차체에 전달된 진동으로 휠의 진동을 유발하는 요인이 되었으나 후륜 디스크의 디스크 두께 변화에 의해 차체 진동이 조향 휠로 전달되는 특징으로 일반적인 저더 현상과는 거리가 먼 특이한 현상을 보였다.

캘리퍼 모듈 B를 평가한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이 결과를 살펴보면 회전 방향의 진동이 크게 나타나는 전형적인 저더 특성을 보이고 있으며 차체의

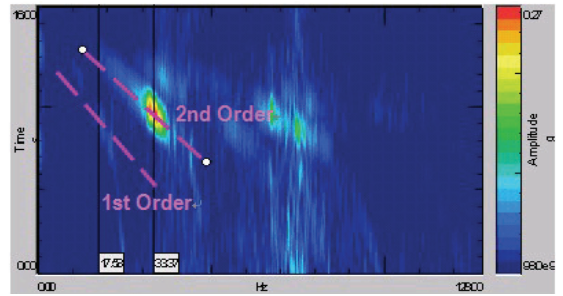


Fig. 5 Frequency spectrum of y-axis steering wheel vibration for brake caliper module A

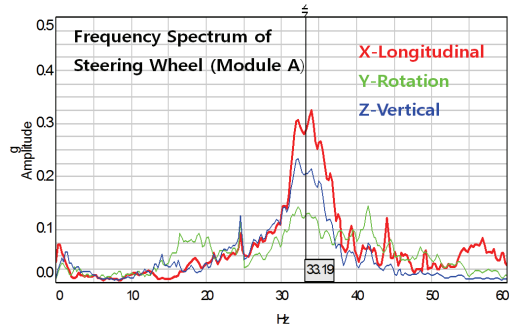


Fig. 6 1st order Waterfall diagram of 3-axis vibration on steering wheel for brake caliper module A

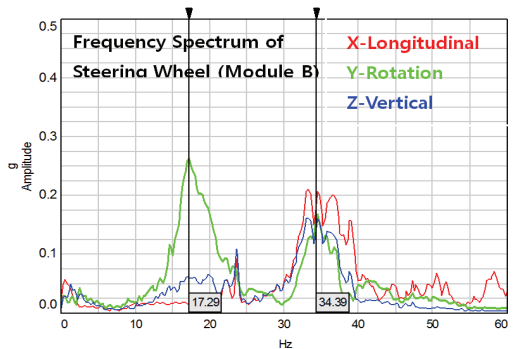


Fig. 7 Frequency spectrum of 3-axis vibration on steering wheel for brake caliper module B

진동이 저더로 인해 발생하고 있음을 알 수 있다. 이때의 저더 진동 주파수는 17.3 Hz로 특이한 것은 초기 DTV 수준이 10 μm이하로 매우 양호한 수준임에도 불구하고, 전륜의 DTV에 의해 현가계로 진동이 전달되어 조향계의 회전 방향 진동이 발생하는 것으로 회전(y) 방향의 진동량이 X, Z 방향의 진동량보다 상대적으로 크게 나타나는 저더 특성을 나타

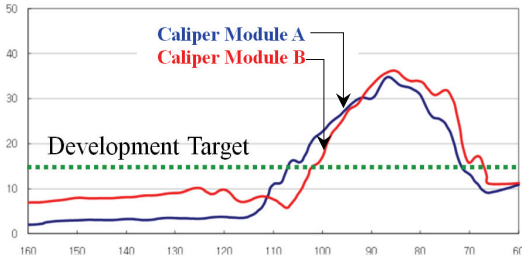


Fig. 8 Judder Sensitivity by steering wheel response on vehicle deceleration with off braking

내고 있음을 볼 수 있다.

앞에서 캘리퍼 모듈 A와 BTV특성을 비교하였을 때 모듈 B의 BTV(brake torque variation)특성이 열세임을 다이내모 평가로 확인할 수 있었고, 캘리퍼 모듈 B의 BTV 특성이 저더를 유발하는 요인임을 확인할 수 있었다.

2.4 캘리퍼 모듈별 차량 자연 감속시 민감도 비교 평가

동일 차량에 캘리퍼 모듈 A와 B를 각각 장착 후 차량의 자연 감속에 의한 조향 휠의 저더 민감도를 평가하여 산출한 결과를 Fig. 8에 나타냈다.

Fig. 8의 그래프에서 K-index값의 최대 속도 구간은 80~85 kph로 식(2)에 의해 값을 계산한 결과 캘리퍼 모듈 A의 경우 34.8, 캘리퍼 모듈 B의 경우 36.3으로 이 평가에 적용된 2개 모듈 모두 동등 수준을 나타냈고, 개발시 목표 수준은 15이하로 두 모듈의 평가 결과 목표 수준 대비 2배 이상의 값을 갖는 결과를 가져왔다. 이는 일반적인 저더 평가시 결과와 다소 상이한 경향을 나타내 브레이크 캘리퍼 모듈에 의한 영향보다 차량 특성에 기인한 것으로 추정된다.

2.5 차량의 저더 진동과 불평형 질량에 의한 조향 휠의 주파수 비교

Fig. 9에 나타낸 바와 같이, 캘리퍼 모듈 A를 장착한 차량의 조향 휠 진동에 의한 저더 주파수는 회전 방향으로 17 Hz, 전후 방향으로 33 Hz 주파수를 나타내었다.

타이어 휠에 불평형 질량을 장착하여 강제 진동에 의한 조향 휠의 진동 주파수는 11 Hz로 저더 진동 주파수와 서로 다른 주파수를 가지고 있음을 알 수

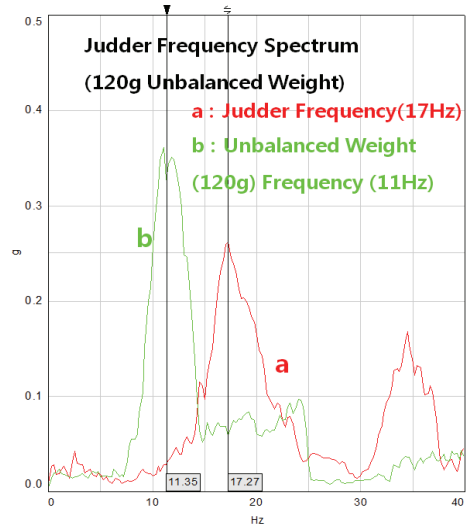


Fig. 9 Frequency spectrum on steering wheel response for brake caliper module A

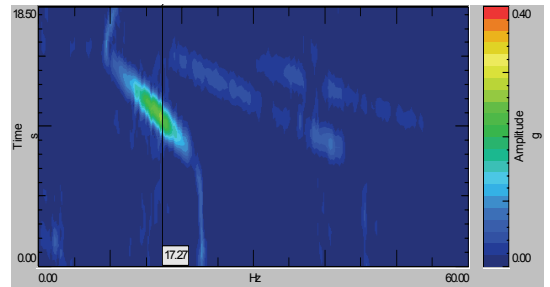


Fig. 10 1st order Waterfall diagram and frequency for brake caliper module A by judder vibration

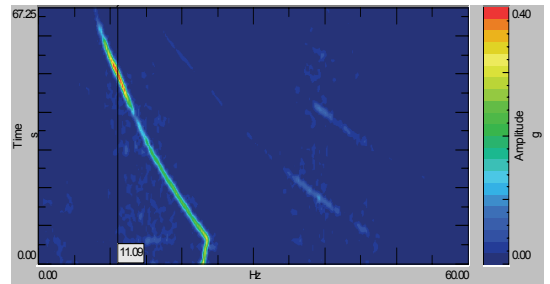


Fig. 11 1st order Waterfall diagram and frequency for brake caliper module A by unbalanced mass with forced vibration

있었다. 이것은 Fig. 10과 Fig. 11에서 보는 바와 같이 차량의 저더 민감도 평가를 통해 저더 특성을 정

의하고자 하였으나 강제 진동에 의한 저더 주파수와 저더를 유발하는 주파수가 서로 다른 주파수를 가지게 되는 결과를 나타내었고, 불평형 질량(120g)을 부착한 후 강제 진동에 의한 저더 민감도 평가로 저더 특성을 확인한 결과, 저더에서 볼 수 있는 일반적인 경향을 보이지 않는 조금 특별한 경우로 앞서 2.4절에서 언급한 바와 같이 브레이크 캘리퍼 모듈에 의한 영향이 아닌 차량의 민감도나 현가계 특성으로 추정된다.

2.6 불평형 질량 부착에 의한 조향 휠의 저더 민감도 비교

차량의 전륜 휠에 120g의 불평형 질량을 부착하여 강제 진동에 의한 조향 휠의 회전 방향의 진동 응답으로 평가를 진행하였다. 차량의 전륜 DTV는 10 μ m으로 양호한 수준이었으나, 후륜 DTV는 30 μ m 이상으로 조향 휠에 입력된 진동이 심하게 나타나 후륜 휠에 불평형 질량을 부착하여 평가하였다.

Figs. 12~13에 평가 결과를 각각 나타내었다. 결

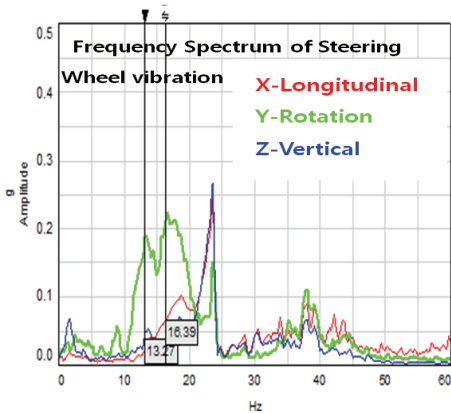


Fig. 12 Frequency spectrum of steering wheel with unbalance mass(120g) attached on rear wheel

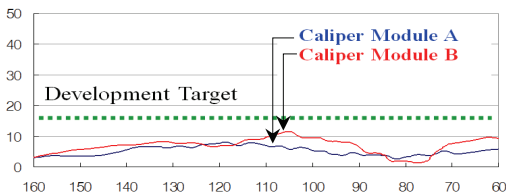


Fig. 13 Judder sensitivity(K-index) of steering wheel with unbalanced mass(120g) attached on rear wheel

과를 살펴보면, 후륜 DTV 값에 의해 고속 주행시 사시와 차체 공진에 의한 진동과 럽블, 부밍 소음이 심하게 발생함을 확인하였다. 저더 진동은 회전 방향의 가진 성분이 인자로 나타나는 것과 비교해 본 평가에서는 120g의 질량을 부착하여 평가한 결과 차량의 X,Y,Z 모든 방향을 가진하여 일반적인 저더 특성과 전혀 다르게 나타남을 확인하였다. 이것은 평가에 적용된 차량이 차체 시스템의 민감도 및 조향, 현가 시스템에서의 고유한 특성이 존재함을 나타내는 것으로 이 논문에서는 생략하였다. 또한 후륜 휠에 부착하여 평가시 나타난 조향 휠의 진동 수준도 역시 평가 차량에 120g의 질량을 부착하여 평가한 결과 회전 방향의 진동 성분이 나타나 특이한 결과를 나타내었다.

3. 고속 주행로에서의 고속 저더 평가

(1) 고속 주행로에서의 차량 저더 평가

차량 고속 저더 주관 평가는 브레이크 고속 저더 평가 모드(Type I·II)를 적용하였고 세부적인 평가 방법은 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다.

평가시 차량 속도는 160kph이상으로 가속한 다음 0.2~0.5g의 제동 감속도로 5회 연속 제동하여 60kph까지 자연적인 감속으로 차량과 조향 휠에 진동이 유입되는지 확인한다. Table 2에서 언급된 burnish는 평가시 발생할 수 있는 평가상의 오류를

Table 2 Brake high speed judder test(type I)

Vehicle speed(kph)	Pad initial temp.	Braking deceleration(g)
Vmax(130 kph) → 50 kph deceleration	80 °C	0.2 g / 0.35 g / 0.5 g
	150 °C	
	200 °C	
Vmax(160 kph) → 50 kph deceleration	80 °C	0.35 g / 0.5 g
	150 °C	
	200 °C	

▷Initial Pre-Burnish 10 times(new 200 times braking)

Table 3 Brake high speed judder test(type II)

Vehicle speed(kph)	Pad initial temp.	Braking deceleration(g)
Vmax(160 kph) → 80 kph deceleration	80 °C ↓	0.4~0.5 g WOT + 10 sec, 5 stops (last full stop)

차단하기 위해 디스크와 패드의 표면을 매끄럽게 하여 보다 정확한 평가를 위한 사전 준비 작업이다.

Fig. 14는 이 평가시 적용된 캘리퍼 모듈B의 초기 사양과 고속 저더의 개선 사양을 비교하여 나타낸 것이다. 변경된 패드 사양은 브레이크 동력계에서 기본적인 저더 성능 평가를 통해 선정된 것이다.

초기 1-slot에 챔퍼가 없는 형상에서 개선 사양은 동일한 1-slot에 양단 수직 챔퍼(가로×세로, 15×5 mm) 사양이다.

상기 사양을 가지고 조향 휠의 응답에 의한 저더 민감도 평가와 차량 고속 저더 평가를 통해 제안된 개선 사양을 검증하였다.

고속 주행로에서 차량 저더 평가는 아래와 같이 실시하였고, 이때 디스크의 DTV값은 10 μm 이내로 매우 양호한 수준으로 브레이크 패드 사양은 초기 사양(개선 전)으로 평가한 조건은 아래와 같다.

가. 운전자와 조수석에 탑승한 성인 남자(70 kg 기준)

2명을 기준으로 캘리퍼 모듈 A와 B를 장착한 후 앞서 표에서 언급한 고속 저더 평가 모드(Type I, II)를 이용하여 평가하였다.

나. 초기 제동 온도는 80, 150, 200 °C의 온도이고 초기 차량 속도는 130 kph와 160 kph에서 50 kph로 감속 하여 0.2, 0.35, 0.5 g의 감속도로 제동하였다.

다. 평가시 발생하는 진동 레벨 수준은 주관적 평가(subjective rating)로 평가하고 고속 저더 평가시 동반되어 발생하는 럼블 소음(rumble noise)은 차 실내 공진에 의한 소음으로 약 250~500 Hz 내외의

주파수 특성을 갖는 것으로 소음의 발생 여부도 확인하였다.

(2) 캘리퍼 모듈별 고속 저더 차량 평가 결과

브레이크 캘리퍼 모듈 A를 장착하여 평가한 결과 후륜에서 저더가 발생하였는데 이는 차량의 문제가 아닌 캘리퍼 모듈 A와 B의 후륜 디스크 초기 DTV 값의 차이에 의한 것으로 볼 수 있다. 이것은 다이 나모 평가 결과와 동일한 결과로 차량 진동이 주된 요인이었으며, 조향 휠 진동은 종속적으로 나타나는 현상임을 알 수 있었다. 이와 달리 브레이크 캘리퍼 모듈 A의 평가 결과를 살펴보면, 전륜과 후륜 디스크의 DTV값은 10 μm 이내로 매우 양호한 수준이었고, 전륜에 대한 고속 저더 평가 Type I 모드에서의 결과는 조향 휠과 차량 body 진동이 저더 진동을 유발하는 것을 확인할 수 있었다.

Figs. 15~16의 그래프에서 보는 바와 같이 캘리퍼 모듈 A와 B의 고속 저더 평가 모드 Type I 평가 결과는 6점 미만으로 불만족(기준 6.5점 이상) 수준을 얻었고, 고속 저더 평가 모드 Type II로 평가 한 경우도 4점 이하로 일반 운전자가 인지할 수 있는 수준으로 이에 대한 개선이 필요하였다. 또한 전륜에서 발생한 저더의 주관 평가 결과 또한 6점 이하의 수준을 보였다.

(3) 개선 사양의 고속 저더 차량 평가 결과

Fig. 17은 브레이크 패드의 개선 사양인 15×5 mm 수직 양단 챔퍼 사양으로 평가한 데이터로, 평가한 결과를 비교해 보면 제안된 개선 사양의 주관 평가 결과 약 3점(약60 %) 정도 향상된 수준을 보였으나 기존의 차량이 가지고 있었던 고속 주행 중 제동시 차체 공진에 의한 부밍 소음은 개선되지 않았음을 볼 수 있었다. 이는 차량 전체 시스템에서 검증해야 하는 부분으로 개선 대상에서 제외하였다.

이 논문에서 언급한 고속 저더 현상이 차량의 문제인지 브레이크 시스템의 문제인지 확인하기 위해 2종류의 캘리퍼 모듈을 이용, 고속 주행 중 제동시 조향 휠의 진동 응답을 통해 평가하였다.

개선 방안으로 패드 사양의 변경을 설정한 것은 캘리퍼 개발 과정에서 주어진 여건을 고려해 브레이크 캘리퍼 모듈에서 개선 가능한 부분에 초점을 맞추고 개선하고자 하였다. 이는 종합적으로 차량 민

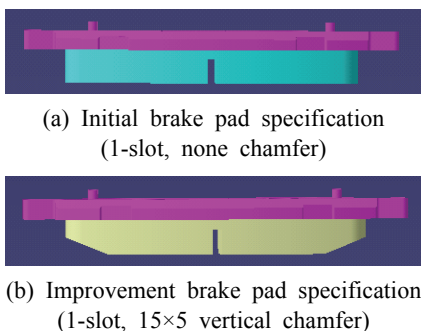


Fig. 14 Comparison of brake pad specification before and after judder improvement

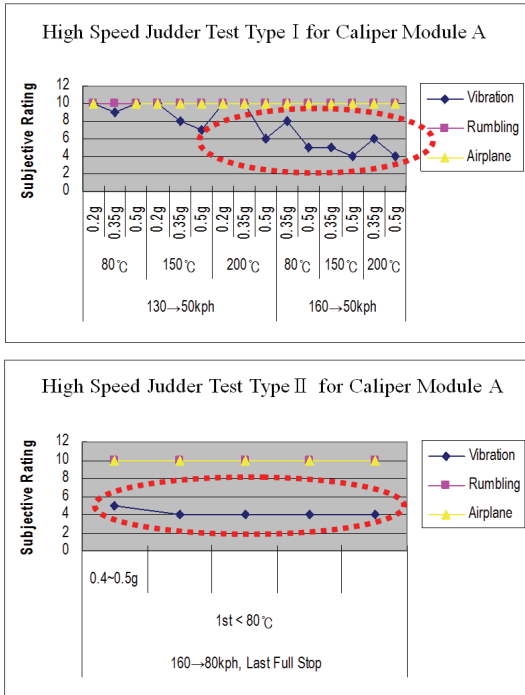


Fig. 15 High speed judder test(type I, II) result for brake caliper module A

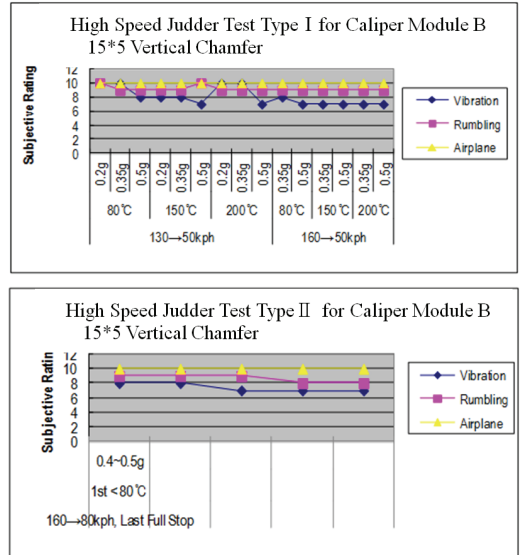


Fig. 17 High speed judder test(type I, II) results for brake pad(15×5 vertical chamfer) specification

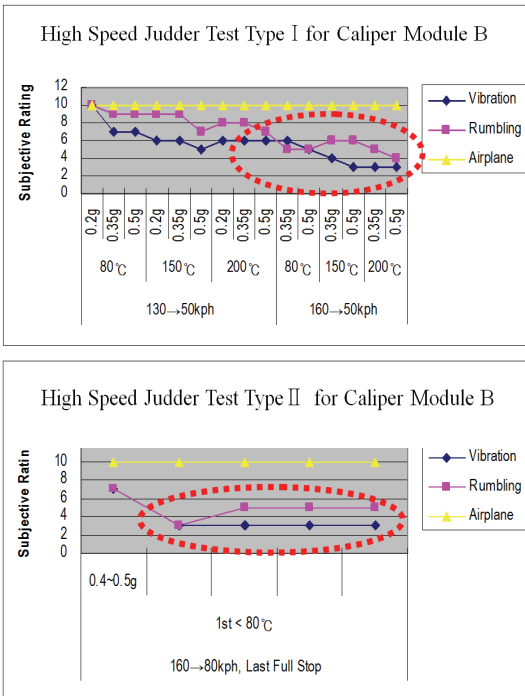


Fig. 16 High speed judder test(Type I, II) result for brake caliper module B

감도 시스템 및 조향 및 현가장치 등의 종합적인 고려를 하기엔 개선의 자유도가 넓고, 차량 시스템 민감도 등 다른 인자들을 고려할 때 브레이크 시스템 개발시 고속 저더의 현 수준과 개선하고자 할 때 브레이크 패드의 개선이 일반적인 개선 방법이다.

브레이크 패드 사양 변경을 통한 다이나모 평가 결과 및 차량 평가를 통해 코너 모듈 B에 적용된 브레이크 패드 재질이 열적 특성(thermal roughness)과 저더 특성이 우수한 재질이 아님을 확인할 수 있었고, 브레이크 캘리퍼 모듈 개발시 저더 특성에 우수한 재질을 적용하는 것이 가진원으로서 저더의 중요한 개선 포인트임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

고속 저더 발생 원인을 차량의 현가, 조향 장치의 특성과 민감도 및 브레이크 시스템의 특성인지 확인하기 위해 동일한 차량에 서로 다른 2종류의 브레이크 모듈 A와 신규 브레이크 모듈 B로 구분하여 조향 휠에 전달되는 진동에 의한 저더 민감도 평가 결과는 다음과 같다.

(1) 조향 휠의 응답에 의한 저더 민감도는 조향 및 현가장치의 차이보다는 가진원으로서 캘리퍼 브레이크 패드 재질과 캘리퍼 사양 특성에 대한 원인

으로 작용하여 발생됨을 알 수 있었다.

(2) 캘리퍼 모듈 B에 적용된 브레이크 패드의 재질에 15×5 mm의 수직 양단 챔퍼로 형상을 변경하여, 평가한 결과 약 주관평가 7점 수준으로 약 3점 (약 60%정도) 개선된 결과를 나타내었다. 이는 가진 원으로서 브레이크 시스템의 선정시 캘리퍼와 디스크, 패드 재질 선정이 중요한 역할을 담당하고 있다.

다양한 브레이크 패드 재질 중 저더 특성이 우수한 브레이크 패드 재질을 적용함과 동시에 캘리퍼와 디스크 열용량 및 설계 사양의 적절한 조합 또한 고속 저더 개선에서 중요한 인자이다.

(3) 저더 특성에 우수한 브레이크 패드 재질의 선정과 적용은 추가적으로 캘리퍼, 디스크와 조합한 캘리퍼의 제동 성능과, 마모 및 내구성능, 브레이크 스킵 소음과 같은 여러 인자들에 대한 추가적인 검증이 필요한 부분으로 이 논문에서는 생략하였다.

(4) 이 평가에 적용된 차량은 고속 주행중 재동시 차체의 공진에 의한 부밍 소음과 저더와 동반되는 림블 소음은 개선되지 않았다. 이는 차량 전체 시스템에 대한 검증과 함께 차체 및 샤시 시스템의 민감도, 조향 시스템을 포함한 종합적인 개선 방안을 고려해야 할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문 작성을 위해 시험 평가와 아낌없는 조언과 협조해 주신 (주)만도 Global R&D Brake Design 1 연구소 팀 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

References

(1) Cho, H. J., 2006, The Origin and Effect of Hot Spot Phenomena on Judder Vibration in Automotive Disk Brake, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 8, pp. 886~892.

(2) Choi, Y. S. and Shin, B. S., 2006, Brake Judder due to Disc Run-out, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, 06A0809.

(3) Kang, T. W., 1999, Test and Diagnostics Methods for Judder Vibration of the Brake System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration

Engineering, Vol. 9 No. 3, pp. 613~620.

(4) Cho, H. J., 2005, Analysis of the Effect Mode Shape on Judder Phenomenon in Automotive Disk Brake, Proceedings of the KSAE, 05-F0166, pp. 1056~1061.

(5) Lee, J. S., 2002, An Experimental Study on Brake Judder of Braking on Vehicle, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 338~345.

(6) Hwang, I. J. and Park, G. J., 2005, System Mode and Sensitivity Analysis for Brake Judder Reduction, Transactions of KSAE, Vol. 13, No. 6, pp. 142~153.

(7) Engel, H. G., Hassiotis, V. and Tieman, R., 1994, System Approach to Brake Judder, SAE945041.

(8) Meyer, R., 2005, Brake Judder - Analysis of the Excitation and Transmission Mechanism within the Coupled System Brake, Chassis and Steering System, SAE 05013916.

(9) Lee, K. J. and Dinwidie, R. B., 1998, Conditions of Frictional Contact in Disc Brakes and their Effects on Brake Judder, SAE980598.

(10) Inoue, H., 1986, Analysis of Brake Judder caused by Thermal Deformation of Brake Disc Rotors, SAE865131.

(11) Kim, B. S., Ryu, G. S., Hwang, I. J. and Kim, H. Y., 2002, Vehicle Comfort Analysis under Braking Conditions, Proceedings of the KSAE, Vol. II, KSAE, pp. 464~469.

(12) Kim, M. G., Jeong, H. I. and Yoo, W. S., 1996, Sensitivity Analysis of Chassis System to Improve Shimmy and Brake Judder Vibration to on Steering Wheel, SAE 960734.

(13) Cho, S. S., 2006, Vehicle Judder Sensitivity (K-Factor) and Development Target by Steering Wheel Vibration Response, Mando R&D-A126-00.



Seonghwan Kim received a master degree in mechanical engineering from SungKyun Kwan University in 2002. He works for brake system hardware parts system development in Mando Corporation as senior researcher. His engineering research interests are chassis, brake and suspension,

steering system noise and vibration analysis and test.



Sungsun Cho received in mechanical engineering from Hanyang University in 1993. He is a principle research engineer at Brake R&D center, Mando Corporation. His engineering research are brake squeal noise, judder analysis and

test.



Junghwan Lee received the BSc, MS and PhD degrees from Sung-KyunKwan University of Mechanical Design Engineering in 1998, 2000 and 2008, respectively. He worked Mando Corporation, Central R&D center, where he involved with

the development of advanced technology system

applications. His research interests are in the areas of brake system hardware parts, automotive applications of electric motor drives, and design and modeling of electrical machines, sensors, and related issues.