

타이어 설계인자별 Shimmy&Shake 영향도 분석에 관한 연구

The Study on the Influence Analysis of Shimmy&Shake due to Tire Design Parameters

배철용†·권성진*·김찬중*·이봉현*·구병국**·노국희**

Chul-Yong Bae, Seong-Jin Kwon, Chan-Jung Kim, Bong-Hyun Lee

Byoung-Kook Koo and Guck-Hee Rho

Key Words : Shimmy(시미), Shake(셰이크), Tire(타이어), Vehicle Test(실차시험), RFV(타이어 상/하 방향 힘의 편차), RRO(타이어 상/하 방향 진원도).

ABSTRACT

The objective of this study analyzes the influence of shimmy & shake phenomena due to tire design parameters which are RFV(radial force variation), DB(dynamic balance), RRO(radial run out) and air pressure. These parameters are inspection items for Q.C. after tires are manufactured. In order to analyze these parameters on this study, vehicle driving tests were achieved. The test modes are two type which are constant speed and coast-down driving. On this tests the dynamic characteristics of shimmy & shake are measured by the 3-axes accelerometers at the various positions that are knuckle(left & right), rack pinion, seat and steering wheel. In according to analyzed results, the longitudinal vibration of knuckle parts affects the lateral vibration of rack pinion and this vibration affects the lateral vibration of steering wheel that is the shimmy phenomena. Also the over and under DB by comparison with normal DB and the increment of RRO affect the occurrence of shimmy & shake phenomena.

1. 서론

근래의 자동차 기술은 엔진성능 및 제반 도로 여건의 개선에 따라 고속화, 안정화에 많은 개발 초점을 맞추고 있다. 따라서 고속 주행 중, 발생하게 되는 조향 휠이나 브레이크 등에서 발생하는 떨림 현상은 운전자에게는 운전 중 불편감을 조성하고 운전의 안정성을 떨어뜨리는 효과를 가져 오게 된다. 특히, 시미 및 셰이크 현상은 일반적으로 100~130km/h의 속도 대역 중, 일정속도에서만 발생하는 진동현상으로써, 운전자에게는 고속주행에 따른 운전의 안정성 저해요소와 차량의 품질문제에 대한 불만으로 연결되어지게 된다. 이러한 시미 현상은 조향 휠이 원주방향으로 떨리는 현상을 의미하며, 이외 수직과 종방향으로의 떨림 현상은 셰이크 현상으로 분류되어질 수 있다. 하지만 시미

와 셰이크 현상은 동시에 발생하는 것이 일반적인 현상이다.

차량에 있어 타이어는 노면과 유일하게 접지하는 부분으로써, 시미현상의 발생에 밀접한 관련을 맺고 있으며, 타이어의 동특성에 민감하게 반응하게 된다. 시미 현상은 앞서 언급한 바와 같이 차량의 특정 속도에서 타이어 회전주파수와 차체와의 공진현상에 의하여 조향 휠의 원주방향으로의 진동을 유발시키는 현상이다. 따라서 완성차 업체 및 타이어 개발 업체는 차량 품질 향상과 주행안정성을 확보하기 위하여 시미 및 셰이크 현상과 관련하여 다양한 시험 및 해석적 연구가 수행되어지고 있는 실정이다. 일반적인 연구방향은 시미 및 셰이크 현상에 대한 차량 현가 및 조향계와의 시스템 모델링을 통한 시미현상의 이론적 규명⁽¹⁾ 및 동역학적 해석 프로그램을 이용한 시미 현상의 규명⁽²⁾과 같은 시미 현상 발생 및 저감에 대한 연구가 수행되거나, 시미현상을 조향 휠 이전 시스템 단계에서 제어하기 위한 시미 댐퍼 개발 및 성능평가에 대한 연구^{(3), (4)} 등 크게 두 가지 방향으로 이루어지고 있다. 하지만 실제 타이어를 개발하는 업체에서 실제적으로 적용이 가능한 응용연구는

† 자동차부품연구원 에너지부품연구센터
E-mail : cybae@katech.re.kr
Tel : (041) 559-3339, Fax : (041) 559-3070

* 자동차부품연구원 에너지부품연구센터

** 넥센타이어 기술연구소

활성화 되어있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 타이어의 다양한 설계인자 중, 타이어 제조 후 타이어를 평가하는 품질 및 제조인자를 토대로, 이러한 영향인자들이 타이어 시미 현상에 미치는 영향을 실험적으로 재현하여 이에 대한 영향도를 평가해보고자 하였다. 특히, 평가되어진 타이어 설계인자들은 향후 타이어 양산 후, 품질인증 및 관리에 적절히 활용되어질 수 있을 것으로 사료되어진다.

2. Shimmy 현상 영향인자 선정

시미 현상의 주요한 발생원인은 타이어 회전주파수 성분과 차체에서의 공진현상에 기인하게 된다. 따라서 타이어의 다양한 설계인자 변화에 따라 발생하는 회전주파수 성분의 제거는 불가능 하지만, 진폭의 크기는 민감하게 변화하게 된다. 시미 현상을 제어할 수 있는 설계인자는 타이어의 원재료에서부터 제조공정인자, 품질평가인자 등 다양한 변수를 갖게 된다.

본 연구에서는 다양한 타이어 설계인자 중, 품질평가인자에 해당하는 RFV(radial force variation), RRO(radial run out), DB(dynamic balance), air pressure의 네 가지 인자에 대하여 실차 주행평가를 통한 영향도 분석을 수행하였다. 각 설계인자에 대한 타이어 동특성은 다음과 같다.

① RFV : RFV는 타이어의 상/하 방향에 대한 힘의 편차를 의미하는 타이어 동특성 인자로서, 타이어를 일정한 하중에서 일정한 속도로 1회전 시킬 때 상/하 방향으로 변화하는 힘의 크기를 의미하게 된다. RFV의 하중 값의 변화가 심하게 발생할 경우, 타이어가 직선운동이 아닌 하중 변화에 따른 곡선운동을 행하려는 특징을 갖게 된다.

② RRO : RRO는 타이어의 상/하 방향의 진원도를 나타내는 타이어 동특성으로 정의할 수 있으며, 타이어가 제조된 후, 립에 장착하여 일정 공기압을 주입 후 타이어가 회전할 때 타이어의 중심에서 상/하 방향으로 반경의 거리 변화량을 검진하여 측정하게 된다. RRO의 불안정한 수치는 차량의 주행 안정성과 승차감 저하에 큰 영향을 미친다.

③ DB : DB는 타이어를 립에 장착하여 일정한 속도에서 회전시켜서 발생하는 타이어의 좌/우측 무게 불균일성을 나타내는 동특성 인자이며, 타이어 좌/우측 무게 불균일성에 기인하여 타이어의 중심축 이동이 발생하여 타이어가 회전시에 상/하 방향 또는 좌/우 방향으로 1회전 당 1~2번씩 진동이 발생하여 차량의 스티어링 휠, 차체 등의 떨림을 유발시키는 인자이다.

④ Air Pressure : 타이어 공기압은 차량을 지지하기 위하여 타이어에 공기를 충전시키는 압력을 의미하는 것으로서, 적정수치 이하의 공기압이 충전 되어질 경우에는 타이어 트레드면의 양단의 마모도를 가속화 시키고, 적정수치

이상의 공기압이 충전 되어질 경우에는 타이어 트레드면의 중앙부의 마모도를 가속화 시켜 주행 안정성을 저해시킨다.

3. Shimmy & Shake 진동시험

3.1 시험 개요

본 연구에서는 앞 절에서 언급되어진 네 가지 타이어 동특성 인자에 따라 N社 P195/55R15 규격의 양산용 제품을 선별적으로 적용하여 실차주행시험을 수행하였다. 또한 타이어 동특성에 기인한 차량의 응답 특성으로 조향 휠의 시미 현상을 최종 응답지로 하였기 때문에 후륜의 타이어는 고정시킨 이후, 전륜측의 좌/우 타이어를 변화시켜 가며 시험을 진행하였다. 이에 따라 실차 시험을 진행하기 위하여 DB용 및 RFV용 A/B(타이어 품질 기준사양 만족/불만족)와 RRO용 A/B 및 RFV A버전을 이용한 공기압 변화로 구분하여 총 9가지 타이어 시험품을 선정하였다. 또한 시험모드는 조향 휠의 시미진동 발생 속도를 미리 사전시험을 통하여 약 120km/h 영역에서 가장 큰 진동을 유발시키는 것을 확인한 후, 시미 현상의 발생정도 분석을 위해 130~60km/h 까지 타행주행과 120km/h 속도로 정속주행 모드로 선정하였다. Table 1은 각 시험타이어에 대한 시험모드 및 시험조건에 대한 조합상태를 나타낸 것이다.

Table 1 Test mode & condition for shimmy

Test tire	Case no.	Test mode	Test condition	
			Air pressure	Wheel balance
DB-A	I	constant	30 psi	nothing
		coast down		
	II	constant		0 setting
		coast down		
	III	constant		30 over.
		coast down		
RFV-A	IV	constant	25 psi	0 setting
		coast down		
	V	constant	30 psi	
		coast down		
	VI	constant	35 psi	
		coast down		
RFV-B	VIII	constant	30 psi	0 setting
		coast down		
RRO-A	IX	constant		
		coast down		
RRO-B	X	constant		
		coast down		

3.2 시험장치의 구성

시험용 차량은 1,600cc급 소형 차량으로 선정하였으며, 타이어 패턴 현상 및 타이어 장착 휠은 Fig. 1과 같다. 시

험용 차량과 시미 및 셰이크 진동의 좌표는 Fig. 2와 같이 설정하였다. 시미 진동의 경우 조향 휠의 원주방향으로 작용하기 때문에 전체 좌표 중, 차량의 횡방향 좌표로 설정하였으며, 그 외 종방향 및 수직방향의 좌표는 셰이크 진동의 좌표로 설정하였다.



(a) Pattern shape (b) Alloy wheel
Fig. 1 Test tires

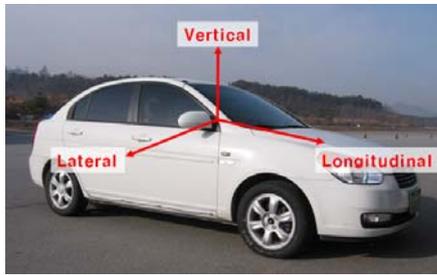


Fig. 2 Test vehicle

일반적으로 차량 주행 중, 타이어는 노면밀도에 의한 가진효과에 민감하게 반응하기 때문에, 본 연구에서는 노면의 가진효과를 최대한 억제하고, 시험차량의 고속주행에 따른 시험안정성을 감안하여 노면이 고르고, 직선 구간이 2km 이상 되는 서산 A방조제를 시험노면으로 선정하였으며, Fig. 3은 이에 대한 상태를 나타낸 것이다. 또한 유압동력 보조 조향시스템이 적용된 차량의 시미진동의 전달경로는 타이어→타이로드(tie rod)→조향작동 실린더→피스톤 랙(piston rack)→조향 휠로 이루어지게 된다. 이러한 전달경로를 감안하여 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 총 5지점에 3축 가속도계를 장착하여 시미진동의 특성을 측정하였다. 또한 각 시미진동 측정위치 외에 차량의 정확한 속도 측정을 위하여 GPS타입의 속도계를 별도로 장착하여 시미진동의 발생 속도구간을 확인하였다.



(a) A seawall at Seosan (b) Surface density
Fig. 3 Information of test road



(a) Right knuckle (b) Left knuckle
(c) Rack pinion (d) Seat rail
(e) Steering wheel (f) Velocity meter
Fig. 4 Test tires

4. 시미 진동측정 결과

4.1 시미진동 주파수 분석

타이어의 시미진동은 타이어의 회전주파수 성분과 밀접한 관련을 갖고 있기 때문에 이론적인 계산을 통하여 발생 주파수 대역을 예측할 수 있게 된다. 차량 주행 중 발생 가능한 시미진동의 주파수 대역은 아래 식 (1)을 이용하여 계산이 가능하다. 시험타이어의 규격이 P195/55R15이므로 휠 직경과 타이어 편평비를 이용하면 전체 타이어의 원주길이를 알 수 있게 된다.

$$ShimmyFrequency = \frac{vehicle\ velocity(m/s)}{tire\ circumference(m)} \quad (1)$$

앞 절에서 기술한 바와 같이 본 시험타이어의 시미진동은 약 120km/h에서 발생하고 있기 때문에 이를 식(1)에 적용하게 되면 이론적인 시미진동 주파수를 예측할 수 있으며, 약 17.8Hz의 주파수 대역이 계산되어졌다. 이론적 시미진동 주파수를 검증하기 위하여 앞 절에서 기술한 바와 같이 120km/h 정속주행에 따른 시미 진동의 측정결과에 대한 주파수 분석을 Fig. 5와 같이 수행하였다. 시험을 통하여 측정된 실제 시미진동의 주파수 대역은 약 18.55Hz로써 이론적 주파수 분석결과와 차이를 나타내게 된다. 이러한 현상은 Fig. 6과 같이 실제 타이어 장착상태

에서는 차량의 하중의 영향으로 인하여 타이어 처짐현상이 발생하여 이론적인 원주길이보다 조금 더 작은 원주길이를 나타내기 때문에 주파수 대역이 이동한 것으로 분석되어진다. 따라서 이러한 현상은 타이어 공기압의 고/저에 따라 시미진동의 주파수 대역이 바뀔 수 있음을 의미하게 된다.

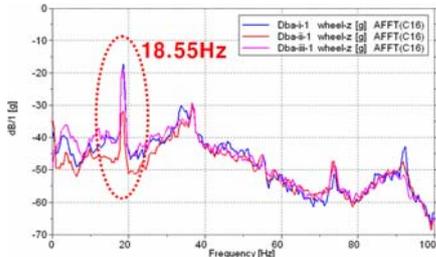


Fig. 5 Frequency analysis of shimmy vibration



Fig. 6 Tire deflection due to vehicle weight

4.2 휠 밸런스 보정에 따른 시미진동 측정 결과

Fig. 7은 Table 1의 I, II 및 III에 해당하는 휠 밸런스 보정에 따른 조향 휠의 시미진동 주파수 분석을 나타낸 것이고 Fig. 8은 좌측 너클부의 응답을 도시한 결과이다. 지면의 한계 상 두 측정점의 시미진동 방향에 대해서만 결과를 도시하였다. 조향 휠에서의 시미진동은 너클부의 응답의 크기보다 더 증폭된 응답레벨을 나타내고 있으며, 이는 시미진동의 전달경로 상에서의 차량시스템과의 공진현상에 의한 응답의 증폭으로 분석되어진다. 특히 시미진동은 셰이크 진동 보다도 높은 진동레벨을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 휠 밸런스의 보정량 변화에 따른 시미진동의 변화는 휠 밸런스를 0으로 보정한 결과 대비, 과대, 과소 보정한 경우가 약 10dB이상 응답레벨이 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 휠 밸런스의 경우 시미진동의 발생에 주요한 영향인자로 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

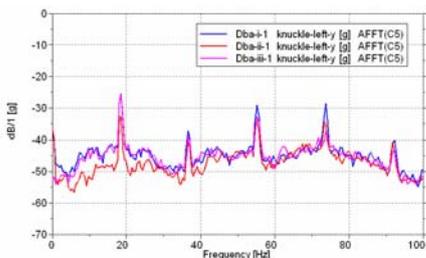


Fig. 7 Frequency analysis result at left knuckle

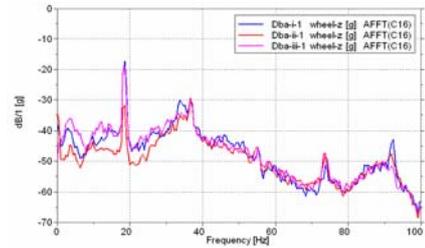


Fig. 8 Frequency analysis result at steering wheel

4.3 공기압 변화에 따른 시미진동 측정 결과

Fig. 9와 10은 Table 1의 IV, V, V 및 VIII에 해당하는 RFV-A 타이어를 이용하여 조향 휠 및 좌측 너클부에서의 타이어 공기압 변화에 따른 시미진동의 주파수 분석결과를 나타낸 것이다. 공기압의 변화는 30psi를 기준 공기압으로 선정한 후, 차량의 안정성을 고려하여 ± 5 psi의 편차에 의하여 시험을 수행한 주파수 분석 결과이다. 공기압 변화에 따른 시미진동의 응답레벨은 각 측정위치에서 1차 회전주파수 성분에 대하여 기준공기압을 충전할 경우 대비 공기압이 낮거나 높은 경우에서 더 낮은 시미진동 레벨을 나타내고 있다. 이러한 현상은 타이어 공기압에 따라 타이어 강성의 변화가 발생하여 기준 공기압 대비 시스템에서의 공진현상의 저감현상이 발생되어진 것으로 분석되어진다. 하지만 기준공기압 대비 낮거나 높은 공기압을 충전할 경우 타이어의 편마모 및 주행안정성의 악화에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 고려도 필요할 것으로 사료되어진다.

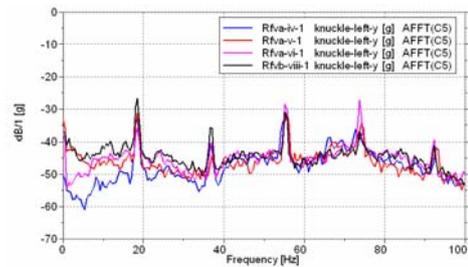


Fig. 9 Frequency analysis result at left knuckle

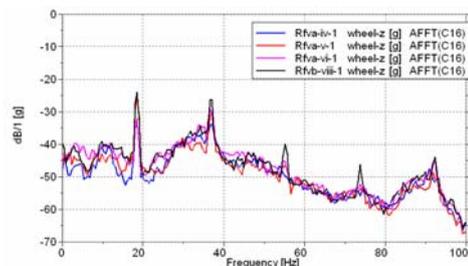


Fig. 10 Frequency analysis result at steering wheel

또한 RFV-A/B에 해당하는 RFV 편차에 의한 시미진동의 영향은 너클부에서는 RFV 값이 기준치 이상인 경우에서 높은 응답레벨을 나타내지만, 최종 응답부인 조향 휠부에서

는 두 경우에서 유사한 응답레벨을 나타내고 있다. 이러한 현상은 타이어와 근접한 위치에 장착된 너클부의 경우 RFV의 변화에 민감하게 반응하지만, 최종적인 조향 휠부까지의 전달경로상에서 RFV의 변화에 따른 응답이 상쇄되는 현상이 발생하는 것으로 분석되어진다.

4.4 RRO 변화에 따른 시미진동 측정 결과

Fig. 11 및 12는 Table 1의 IX 및 X의 시험항목에 해당하는 조향 휠 및 너클부에서의 타이어 진원도(RRO) 변화에 따른 시미진동 측정의 주파수 분석 결과를 나타낸 것이다. 타이어에 RRO 편차가 발생할 경우, 타이어 회전 시 불균일한 회전이 발생하고 이에 따라 특정 가진성분을 차량에 가진시키게 된다. 분석결과에서 각각의 측정위치에 따라 기준치 이상의 RRO 성분을 갖는 시험타이어에서 약 10dB 높은 진동레벨을 나타내고 있다. 또한 너클부의 측정결과 대비 랙 피니언, 조향 휠부까지의 전달경로상에서 지속적으로 증폭되는 현상이 발생되었다. 특히, 너클부에서는 수직방향과 종방향에서 높은 진동레벨을 나타내지만, 랙 피니언부와 조향 휠부에서는 횡방향으로의 진동레벨이 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이러한 현상은 너클부에서의 종향 및 수직방향으로의 응답특성이 랙 피니언부를 거치면서 횡방향으로의 진동응답에 큰 영향을 미치고 있음을 의미한다. 따라서 시미진동은 타이어 가진원으로부터 각 3축의 병진운동 방향에 대한 응답특성이 모두 고려되어야함을 의미한다.

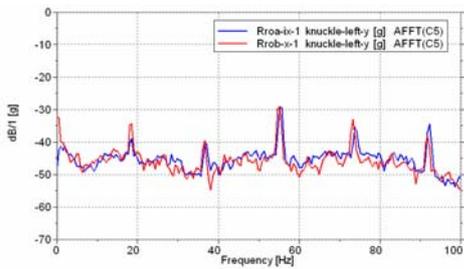


Fig. 11 Frequency analysis result at left knuckle

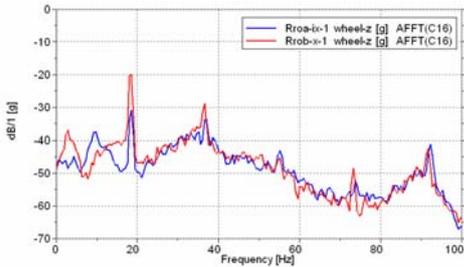
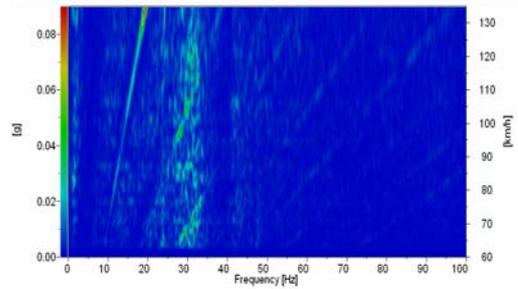


Fig. 12 Frequency analysis result at steering wheel

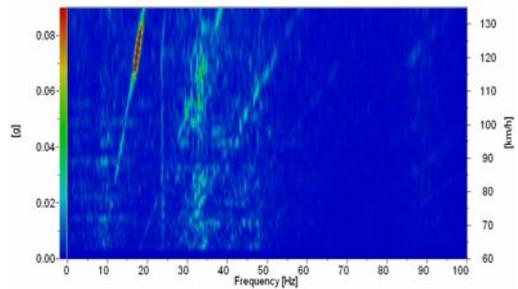
4.5 타행주행 시험결과

Fig. 13은 Table 1의 X에 해당하는 RRO-B 시험타이어에 대한 130~60km/h까지의 타행주행 시험결과를 도시한

것이다. 지면의 한계 상 조향 휠의 시미진동 방향인 횡방향 측정결과와 웨이크진동 방향인 수직방향에 대해서만 도시하였다. 전반적으로 100km/h 속도 이상영역에서 시미 및 웨이크진동의 양상이 두드러지게 나타나며, 특히 약 120km/h 대역에서 시미진동이 공진되어 나타나고 있음을 알 수 있으며, 웨이크진동은 큰 변화 없이 속도에 선형적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다.



(a) Vertical direction



(b) Lateral direction

Fig. 13 Result of coast-down test mode

5. 시미진동 파라미터 영향도 분석

Fig. 14 및 15는 각 측정 위치별 17~20Hz 대역의 주파수 응답에 대한 각 측정좌표별 RMS값을 도시한 결과이다. 너클부의 응답은 수직방향과 종방향이 횡방향 대비 높은 진동레벨을 나타내고 있으며, 특히 종방향 응답의 경우 휠 밸런스의 보정이 기준치를 만족시키지 못하는 Table 1의 I, III과 RRO가 비정상적으로 높은 시험케이스 X에서 높은 진동레벨을 나타내고 있다. 또한 타이어 공기압이 기준공기압 대비 높거나 낮은 IV 및 VI의 경우에서 상대적으로 낮은 진동레벨을 나타내고 있다. 이러한 너클부의 응답특성은 랙 피니언부와 스티어링 휠부의 횡방향 진동, 즉 시미진동 발생 방향의 진동응답 경향과 일치함을 보이고 있다. 이러한 진동레벨 분포의 경향성 일치에 따라 차량의 너클부가 위치하고 있는 현가계의 종방향의 운동특성이 시미진동djp 지배적인 영향을 미치는 동특성인자임을 확인할 수 있으며, 타이어 자체적인 동특성 인자 중 휠 밸런스, 타이어 진원도

및 타이어 공기압이 시미진동의 제어가 가능한 설계인자임을 확인할 수 있다.

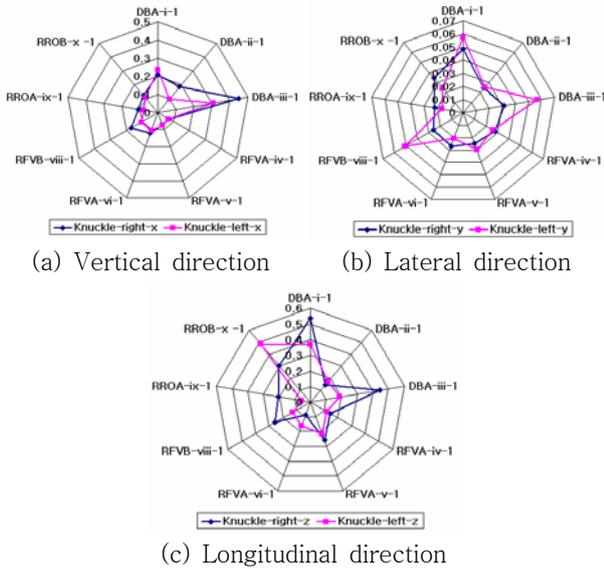


Fig. 14 Result of OA level analysis at knuckle

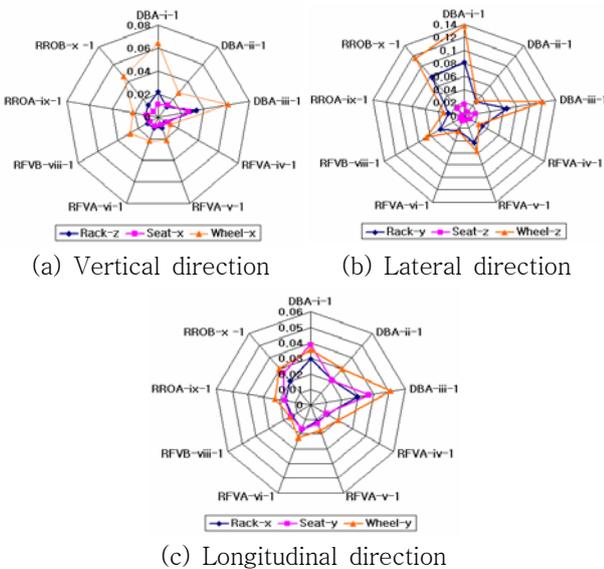


Fig. 15 Result of OA level analysis at rack pinion, seat rail and steering wheel

6. 결론

본 연구에서는 타이어 시미 및 웨이크 진동현상과 관련한 RFV, RRO, DB 및 타이어 공기압 등의 설계인자들을 바탕으로, 이에 해당하는 각각의 시험용 타이어를 대상으로 시미진동 재현시험을 통하여 각 설계 파라미터에 대한 영향도 분석 및 시미진동의 발생에 영향을 미치는 영향인자

분석을 수행하였다. 이를 통하여 시미진동에 영향을 미치는 주요 진동 모드는 너클부의 종방향 진동이 랙 피니언부의 횡방향 진동모드를 가진 시키게 되어 조향 휠의 시미진동인 횡방향 진동을 증폭시키는 발생경로를 확인할 수 있었다. 또한 현가계의 종방향 운동특성이 시미진동 관점에서는 가장 주요한 차량 동특성 인자임을 확인하였다. 이외에 네 가지 설계인자의 파라미터 분석을 통하여, 휠 밸런스 및 타이어 진원도와 관련한 RRO 특성과 공기압 조정은 시미진동 저감 설계인자로써 적용 가능함을 확인하였다. 또한 본 연구의 시험프로세스를 통하여 업체에서 즉시 활용 가능한 정량화된 타이어 시미 진동의 시험평가 프로세스를 제시할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국부품소재산업진흥원에서 주관하는 부품소재전문기업기술지원사업의 지원 하에 수행되었으며, 이에 관계자분들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Park, C. H., Kim, J. H., Kim, C. S., Song, S. K. and Oh, J. W, 1993, "Shimmy Model and Experimental of Steering System of a Passenger Car", Journal of KSME, Vol. 33, No. 10, pp. 884~891.
- (2) Kim, J. H., Lee, H. W., Lee, J. M. and Yoo, D. H., 2005, "Vibration Analysis of Steering System for Shimmy Reduction", Proceeding of the KSAE Spring Conference, pp. 1108~1116.
- (3) Lee, J., C., Jeong, Y. S., Kim, J., H. and Kim, B., S., 2004, "A Study on the Characteristics of Hydraulic Shimmy Damper for Automotive Steering System", Proceeding of the KSAE Spring Conference, pp. 26~34.
- (4) Lee, J. C., Jeong, Y. S. and Kim, J., H., 2004, "Development of Performance Analysis Program for a Hydraulic Shimmy Damper of Steering System", Transaction of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 174~183.