

고속 주행 시 Steering shimmy 현상에 대한 시험적 평가

An Experimental Evaluation for Phenomenon of Steering shimmy at high speed

왕성준¹⁾·정우성²⁾·최은수³⁾·김인동⁴⁾

지엠대우오토엔테크놀로지(주) 기술연구소 사시 & 부품 NVH개발팀.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

Sungjoon Wang¹⁾ · Woosung Chung^{*2)} · Eunsoo Choi³⁾ · Indong Kim⁴⁾

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ GM Daewoo Auto & Technology, 410-8 Wonchang-Dong, Seo-gu, Incheon 404-210, Korea

Abstract :

In this paper, This work demonstrates a practical method for reasoning vehicle-level automotive steering system NVH performance from the component-level NVH measurements of chassis parts. A systematic approach to improve steering wheel shimmy is proposed. First, shimmy phenomena are expressed according to its excitation speed and shimmy mechanisms are investigated through vibration transfer path from road and wheel and tire to steering wheel. And test methods to find out source of shimmy and evaluate sensitivity of related component systems are established. Finally, Relations between shimmy and suspension design parameters are studied and important design parameters are examined through FRF Measurement..

Key words : Shimmy(쉬미), Suspension fore-aft mode (서스펜션 전후 모드), Steering torsional mode(스티어링 비틀림 모드), Impact Hammer Test (충격 해머 테스트), WOW(Worst of Worst), BOB(Best of Best)

1. 서론

최근 승용차가 경량화 되어감에 따라 진동 문제 또한 해결해야 할 중요한 문제가 되고 있다. 이 중에서 조향계(Steering system)의 진동은 운전자에게 불쾌감을 초래하고 피로를 누적시킬 뿐만 아니라 조종안정성을 저하시키게 된다. 차륜 혹은 차축(Axle)의 전후축(Longitudinal axis) 방향의 회전운동(롤링운동)을 휠 트랩프(Wheel tramp)라 하고, 이러한 휠 트랩프 운동을 동반한 조향축 주위의 회전 자력진동 현상을 쉬미 현상이라 한다. 쉬미 진동의 전달경로는 타이어 → 타이로드(Tie-rod) → 조향작동실린더 → 피스톤

랙(Piston rack) → 토션바(torsion bar)의 피니언 기어 → 조향칼럼(steering column) → 조향핸들로 볼 수 있다. 이러한 Shimmy 현상을 저감시키기 위해 가진원이 되는 타이어의 불균형 질량을 줄이거나 타이어의 유니포미티를 증가시키는 방법, 진동전달 경로상의 감쇠특성과 조향계의 강성을 변화시켜 전달률을 줄이는 방법, 차체의 동특성 변화를 통하여 고유진동수를 변화시켜 공진영역을 옮기는 방법 등 여러 가지가 사용되고 있다. 이러한 Shimmy 현상을 해석하기 위해서는 조향계, 현가계 및 타이어의 특성 등을 종합적으로 고려해 주어야 한다.

본 논문에서는 고속 주행 시 스티어링 핸들이 좌우로 진동하는 Shimmy 현상이 발생하는 원인을 규명하고 충격 해머 시험(Impact Hammer Test)을 통해 각 컴퍼넌트의 동특성을 파악하고

왕성준 ¹⁾, Sungjoon.wang@gmdat.com
Tel : (032)590-6370, Fax : (032)590-6002
GM DAEWOO Auto & Technology NVH Dev. Team

각 주파수와 값에 따른 가진원들의 원인을 파악하고 데이터 획득, 분석, 평가하고자 한다.

2. 조향계 진동 특성

2.1 Shake

승용차에서의 Idle Shake는 엔진의 폭발력에 의해 크랭크축을 중심으로 발생되는 토크에 대한 반응력으로 간주되며, 전륜 구동형 승용차에서는 이러한 가진력에 의해 영향을 받는 2개의 중요한 공진계가 존재한다. 이중 하나는 차체 전체의 기본적인 굽힘 모드이고 다른 하나는 조향계와 칼럼이 장착되는 부분 구조물의 굽힘 모드이다. 대부분의 전륜 구동형 승용차들의 Idle Shake 문제는 후륜 구동형 승용차들에 비해 훨씬 심각하며 이런 현상은 전륜 구동형 승용차에 장착되는 횡치 엔진으로부터 발생하는 가진력의 방향이 차체전체의 기본적인 구조적 진동모드와 일치하고 있기 때문이다.

2.2 Shimmy

승용차의 조향계에서 발생하는 Shimmy는 wobble과 flutter 두 가지가 있다. 일반적으로 wobble은 저속범위에서 나타나고 킹핀축에 관해 조향계가 자체 가진 되는 저주파수 진동에 의해 발생된다.

이와는 다르게 flutter는 휠과 타이어의 불균형 힘에 의해 발생되며 고속 범위에서 나타나고 주로 타이어의 회전주파수 성분에 의해 지배적인 영향을 받는다.

Fig. 1은 스티어링 휠에서 측정된 Shimmy의 성분과 크기를 보여준다.



Fig. 1 Steering wheel shimmy at 105KPH

이 그림에 의하여 스티어링의 Shimmy 현상은 타이어의 회전주파수 성분에 지배적임을 알 수 있다.

3. 실차 시험 및 검증

3-1 Steering Shimmy 재현 확인

우선 PG의 Smooth Asphalt에서 60 ~ 140km/h의 구간의 Slow run-up 모드로 서서히 속도를 증가시켰을 때 100 ~ 130km/h의 속도 대역에서 스티어링 핸들의 Shimmy 현상이 발생하는 경향을 확인 하였다.

응답점인 가속도계의 측정 지점은 Steering handle(X, Y, Z)이며 실차 주행 결과 Fig. 2와 같은 스티어링 휠 진동 결과를 보여준다.

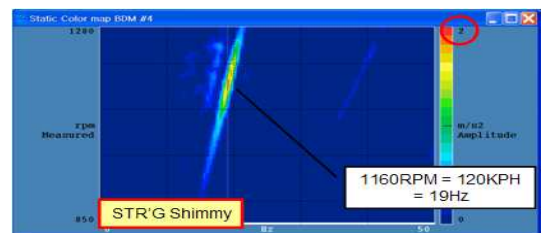


Fig. 2 Steering shimmy vibration at 120km/h

3-2 FRF Measurement

Steering Shimmy 발생 원인을 규명 하기 위하여 전륜 서스펜션의 너클 및 스티어링 휠에서의 주파수 응답시험을 하였다. 가지는 LH 타이어를

Fig. 3과 같이 일정한 가진력으로 힘을 가했으며 가속도 응답신호는 너클과 스티어링에서 측정하였다. 관심있는 주파수는 50Hz미만으로 상용 Software인 Test.Lab 모듈로 처리하여 주파수 응답 함수(FRF)를 구하였다.

우선 주행 시 스티어링 Shimmy의 발생을 일으키는 WOW 차량으로 FRF Test를 하였고 타이어에서 가진 된 force로부터 Knuckle 및 Steering Wheel에서 측정된 FRF와의 연관성을 파악하였다. 그림 Fig. 3은 Axial(X) 방향으로 Impact Hammer로 타이어를 가진 하였으며 Knuckle 및 Steering Wheel에서의 응답 위치를 보여준다.



Fig. 3 FRF Measurement

Fig. 4는 Left Hand Tire를 Rubber Impact Hammer로 Axial 방향으로 가진 했을 때 Knuckle와 Steering의 FRF 결과를 보여준다. 현가시스템 및 스티어링 시스템 자체가 비선형이기 때문에 Impact Hammer로 가진하는 Force를 적은힘에서 점점 큰 힘으로 가진하여 Resonance Peak가 두드러지는 Force를 먼저 구하였다. 아래 그림은 가진 Force의 강약 정도에 따른 FRF 결과를 보여주며 가진 Force는 small, Medium, Large, X-Large, XX-Large, XXX-Large force의 힘으로 타이어를 가진 하였으며 약 450N의 Force로 가진했을 때 가장 FRF가 두드러지게 나옴을 확인 하

였다. FRF Measurement시 차량 타이어의 가진 Force는 약 450N으로 동일한 힘으로 가진 하였다. 아래 Fig. 4는 WOW Vehicle(Worst of Worst Vehicle)에서의 Knuckle 및 Steering의 FRF 결과를 보여주며 $\Delta f \approx 2 \sim 3\text{Hz}$ 간격의 차이로 Frequency Coupling 되어 고속 주행 시 Steering Shimmy 현상을 일으키는 확인 할 수 있었다.

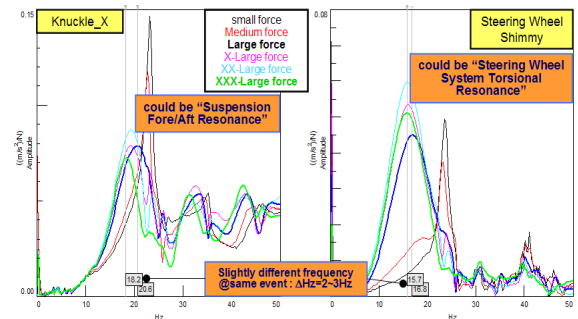


Fig. 4 Knuckle & Steering FRF at WOW Vehicle

아래 Fig. 5는 Steering Shimmy 현상을 일으키지 않는 차량(BOB Vehicle)에서의 FRF 결과를 보여주며 타이어에 Impact Hammer로 일정한 Force(450N)로 가진한 Knuckle 및 Steering Wheel에서의 FRF 결과를 보여주며 $\Delta f \approx 5 \sim 6\text{Hz}$ 정도의 차이를 보이며 Frequency decouple 결과로써 실제 주행 결과 Steering Shimmy 현상이 현저히 줄어듦을 확인할 수 있었다.

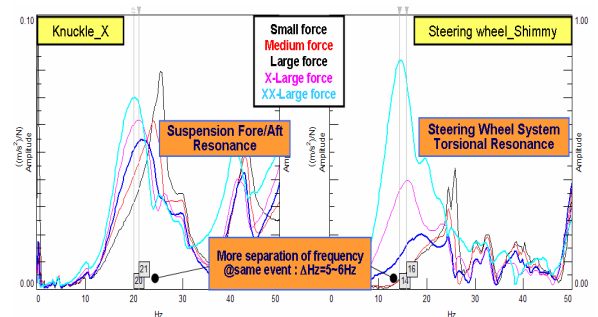


Fig. 5 Knuckle & Steering FRF at BOB Vehicle.

3-3 Test Matrix for Improvement

아래 Table 1은 Steering Wheel의 Shimmy 현상을 개선하기 위한 방안으로 여러 가지 Design Parameter로 구성한 Test Matrix를 선정 하였다.

Category (Fr Frequency, Dr Damping)	Number	How	Test Case											
			T1	T2	T3-1	T3-2	T4	T5-1	T5-2	T5-3	T5-4	T6		
F _{susp} 증대	A-1	LCA Front Bushing K Hs55 → Hs60									o	o	o	
	A-2	LCA Rear Bushing K Hs58 → Hs65								o				
	A-3	LCA Rear Bushing Solid Bushing 적용									o			
D _{susp} 증대	B-1	LCA RR Loss Angle 증대					o		o					
F _{steering} 감소	C-1	Torsion Bar K 20% 감소						o	o	o	o	o	o	
D _{steering} 증대	D-1	Rubber Coupling 적용						o	o	o	o	o	o	
기타 (Geometry etc.)	E-1	LCA Rear Bushing Dynamic K 감소				o								
	E-2	13" Steel Wheel		o										
	E-3	14" Steel Wheel		o										
	E-4	14" Alloy Wheel			o	o	o	o	o	o	o	o	o	

Table 1 Test Matrix for Steering shimmy

빠른 방법으로 Steering Wheel에 Mass를 부착하여 Steering Shimmy 현상의 정도를 평가 하였다. 아래 Table 2는 실제 주행 시의 Subjective 결과를 보여 주며 Steering Wheel에 Mass를 부착 시 Steering Shimmy 현상이 많이 개선됨을 확인할 수 있었다.

Vehicle	Steering Wheel Shimmy	
	Judder	SRS
Baseline	6.0	6.0+
Add mass	7.5	7.5

Table 2 Subjective Rating Result

점수	Unacceptable				Border Line	Acceptable				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
소비자 기준	작동 가능	작동에 장애 정도 있음	모든 소비자 대 결함으로 지적함	모든 소비자 결함으로 지적함	모든 소비자 불평 하나 사용 가능	일부 소비자 불평 하나 사용 가능	모든 소비자가 꺼려 불평 없음	까다로운 소비자만 느낄 수 있음	속편 평가자만이 느낄 수 있음	속편 평가자조차 느낄 수 없음
Evaluation of vehicle	Production Reject				Border Line	Barely Acceptable	Fair	Good	Very Good	Excellent

Table 3 consumer standard Subjective Rating

Torsion bar stiffness 변경 및 Steering Wheel column에 Rubber coupling을 적용하여 FRF Test 및 Smooth asphalt에서 주행하여 Subjective Rating 평가를 하였다. 아래 Fig. 6은 Steering Wheel column에 Rubber coupling 적용 및 Torsion bar stiffness(20% 감소)의 강성을 줄였을 시 FRF Measurement 결과이다. Knuckle 및 Steering Wheel의 $\Delta f=6\text{Hz}$ 로 Frequency decoupling 되었으며 실제 주행 시 Steering Shimmy 현상이 현저히 감소하였다.

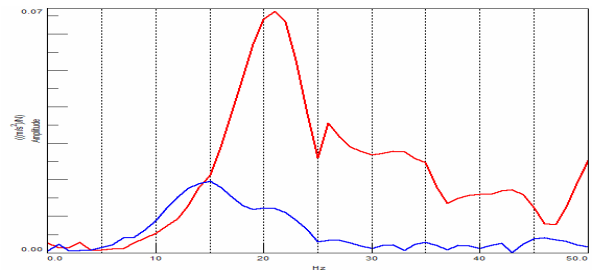
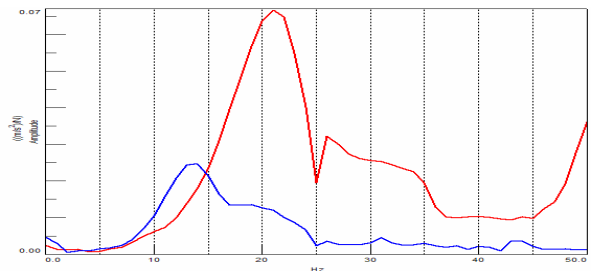
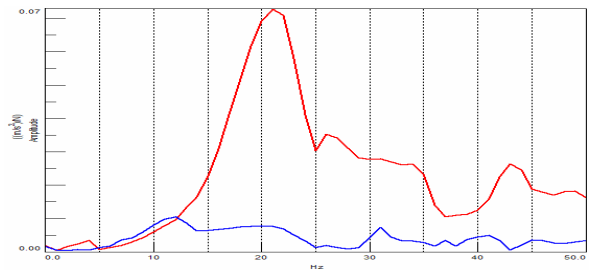


Fig. 6 FRF Measurement

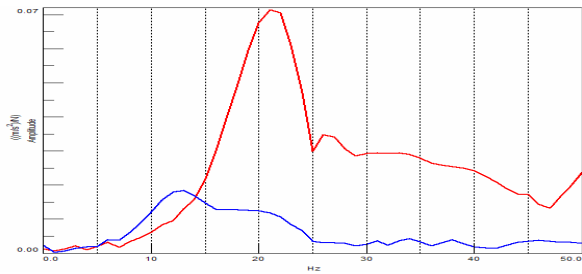
아래는 각각의 Design Parameter를 변경 한 경우의 FRF 결과이다.



(a) Test Matrix T5-2



(b) Test Matrix T5-3



(c) Test Matrix T5-4

위 그림 모두 Knuckle과 Steering Wheel의 FRF 결과 $\Delta f=6\text{Hz}$ 이상으로 Frequency decoupling 되었으며 실제 도로 주행 시 고속(100~130km/h)에서 Steering Shimmy 현상이 줄어들음을 확인 하였다. (a), (b), (c), (d)의 Design Parameter는 Table1 참조.

4. 결 론

본 논문에서는 Impact Hammer Test로부터 간단하게 FRF를 측정하여 Knuckle 및 Steering Wheel의 FRF 결과로써 Frequency coupling 혹은 decoupling 정도를 확인하여 쉽게 Steering Shimmy 현상에 대한 예측을 도출 하였으며 여러 시험 모드를 구성하여 FRF Test를 측정하여 Shimmy를 저감시키기 위한 Parameter를 도출하였다.

1) Steering Wheel의 Shimmy 현상을 일으키는 주요한 인자인 Suspension fore/after mode 및 Steering Wheel의 Torsion mode 발생으로 고속 주행 시 Steering Shimmy 현상이 발생함을 확인 하였다.

2) Steering Wheel의 Shimmy 발생 시 Quick Check 할 수 있는 방법으로 Knuckle 및 Steering Wheel의 FRF Measurement로 Δf 에 대한 관리를 가능하게 하였다.

3) Steering Wheel에 Rubber coupling 적용 및 Torsion bar stiffness를 감소 함으로써 Steering shimmy 현상을 줄일 수 있었다.

5. References

- 1) KSAE, Automotive Technical Handbook-Basic Theory, Vol.1, pp.291, 1996
- 2) B. K. CHO, G. H. Ryu, H. D. Kang, "Vibration Analysis of Steering System in Commercial Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.3, No.2, pp.86-94, 1995.
- 3) C. M. Kim, D. H. Kim, "A Study on the Vibration Analysis of an Automotive Steering System," Journal of KSNVE, Vol.8, No.3, pp.493-503, 1998.
- 4) J. Baxter, "Analysis of stiffness and Feel for a Power-Assisted Rack and Pinion Steering Gear," SAE 880706, 1998
- 5) M. G. Kim, H. I. Jeong and W. S. Yoo, "Sensitivity Analysis of Chassis System to Improve Shimmy and Brake Judder Vibration on Steering Wheel," SAE 960734