한국소음진동공학회 2001년도 추계학술대회논문집, pp. 439~443

승용차의 조타륜 쉬미에 대한 실험적 고찰

배 병 국* · 허 필 정** · 유 병 규**

Experimental Analysis for Steering Wheel Shimmy in Passenger Vehicle

Byung-Kook Bae, Phil-Jeong Heo and Byung-Kyu Yoo

Key Words : Shimmy(쉬미), Shimmy sensitivity(쉬미 민감도), Steering wheel(조타륜), Suspension(현가계), Tire(타이어), Nonuniformity(불균일)

ABSTRACT

The steering wheel vibrations such as shimmy, brake judder and shake are affected by the vibration characters of steering and suspension. For the analysis of shimmy, nonuniformities of tire can be considered the major sources. This study investigates unbalances and uniformities of tire in which the lateral force variation is highly correlated with shimmy. The hardness of suspension bushes can be modified to change the dynamic behavior of suspension that is effective to reduce the sensitivity of shimmy.

1. 서 론

승용차에서 발생되는 소음/진동 문제는 고객의 요구조건의 변화에 따라 상품성 측면에서 매우 중요하게 다루어지는 항목이다. 최근에는 엔진을 포함한 구동계의 성능이 크게 향상되면서 주행시에 발생되는 소음/진동 문제가 더욱 중요시 되고 있다. 그 중에서 조타륜(Steering Wheel)은 운전자의 의도에 따라 조작되면서 노면상태 및 차량의 거동에 대한 정보를 교류하는 매우 중요한 역할을 한다. 또한, 조타륜은 항상 운전자의 손과 접촉하는 부품으로 조타륜의 진동이 커지게 되면 운전자의 불쾌감을 유발할 뿐만 아니라 차량의 가치를 떨어뜨리는 중요한 원인으로 작용하기도 한다.

본 연구에서는 이러한 조타륜의 진동 중에서 원주방향의 진동인 쉬미(Shimmy)의 발생원인과 이를 억제할 수 있는 방법에 대한 실험적 결과를 바탕으로 쉬미의 저감대책에 대하여 소개한다.

2. 쉬미의 발생과 원인

2.1 조향장치의 구성

승용차의 조향장치(Steering System)는 운전자의 의지를 반영하여 차량을 원하는 방향으로 진행할 수 있도록 하는 장치이다. 일반적으로 조향장치는 그림 1 에서와 같이 조타륜-컬럼(Column)-유 조인트(U Joint)-기아박스(Gear Box)-타이로드(Tie Rod)로 구성된다. 컬럼은 차체의 좌우에 고정된 크로스멤버에, 기어박스는 차체의 하부 혹은 서브프레임에 결합되어 있다. 또한, 조타륜의 회전운동은 기아박스 내부의 랙-피니언(Rack and Pinion)에 의해 직선운동으로 바뀌며, 타이로드 통해 조향륜을 움직이게 된다. 이러한 조향장치의 구조에 의해서 조타륜에서는 원주방향의 쉬미를 비롯하여 반경방향의 쉐이크(Shake)와 같은 여러가지 진동이 발생된다.

쉐이크는 조타륜 및 컬럼의 자중과 이를 지지하는 컬럼 및 크로스멤버의 결합강성 등에 의해 고유주파수가 결정되며 방향에 따라 상하쉐이크(Vertical Shake)와 좌우쉐이크(Lateral Shake)로 구분하기도 한다. 반면 쉬미는 조타륜의 회전관성과 이를 지지하는 기아박스 내부의 결합강성

* 현대자동차

** 현대자동차

및 현가계(Suspension)의 강성에 의한 영향을 지배적으로 받는다.

2.2 조타륜의 회전진동

조타륜의 원주방향 진동은 발생원인에 따라 크게 쉬미와 저더(Judder)로 구분된다. 쉬미는 주행시 차륜에서 발생되는 불균형 힘이, 저더는 제동시의 제동력의 변화(Brake Torque Variation)가 가진원으로 작용한다. 저더의 가진원으로 제동력의 변화는 디스크의 편마모, 런아웃, 두께변화(Disk Thickness Variation)등 브레이크 마찰면의 정밀도 불량과 브레이크 압의 변동등에 의해 발생되는 것으로 알려져 있다[1, 2]. 따라서, 쉬미와 저더의 발생원인 및 조건에는 차이가 있으나, 동일한 전달과정을 거쳐 발생되므로 전달계에 대한 대책을 검토하는 경우에는 현가계 및 조향계 등을 종합적으로 조사하는 것이 일반적이다.

쉬미를 유발하는 불균형 힘은 크게 허브축의 불균일과 타이어의 불균일에 의한 것으로 나눌수 있다. 허브축의 불균일은 허브베어링의 결함, 진원도의 부족, 로드휠 장착시의 진원도 및 안착면의 편심, 장착 좌면의 불균일, 차륜정렬의 불량등이 관련되며[3], 이는 가공정도의 개선으로 최근에는 문제시 되는 경우가 빈번하지는 않다. 그러나, 타이어의 경우 재료 및 제조공정상의 문제로 불균일을 제거하는데 현실적인 한계가 있다.

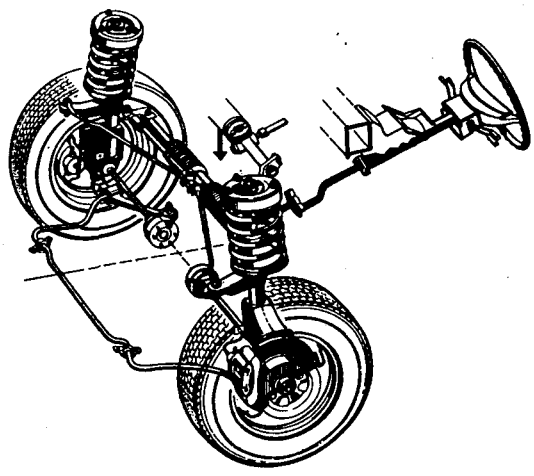


그림 1. FF 승용차의 조향계 및 현가계 구성도

표 1. 타이어의 불균일

TIRE UNIFORMITY	
UNBALANCE	Static Unbalance
	Dynamic Unbalance
RUN-OUT	Radial Run Out(RRO)
	Lateral Run Out(LRO)
UNIFORMITY	Radial Force Variation(RFV)
	Lateral Force Variation(LFV)
	Tangential Force Variation(TFV)

타이어는 제조 공정상 여러 부재로 이루어지는 복합재로 완전한 진원의 대칭성을 유지하기란 매우 어렵다. 이러한 비대칭성을 타이어의 불균일성(Non-Uniformity)이라 하며[4], 이는 주행시 타이어에 의한 변위 및 힘을 유발한다. 타이어의 불균일성은 표 1 에서와 같이 중량의 불균일을 의미하는 발란스(Balance), 치수의 불균일을 의미하는 런아웃(Run-Out), 그리고 강성 불균일을 의미하는 유니포미티(Uniformity)로 나눌 수 있다.

타이어의 불균일은 조타륜 진동의 중요한 가진원의 하나로 작용하여 앞서 언급한 전달경로를 거쳐 주행 및 제동시의 조타륜 회전진동을 유발한다. 본 연구에서는 주행시 조타륜 회전진동의 중요한 가진원으로 타이어의 불균일에 의한 영향과 현가계 및 조향계의 특성변화에 따른 쉬미 영향도를 살펴본다.

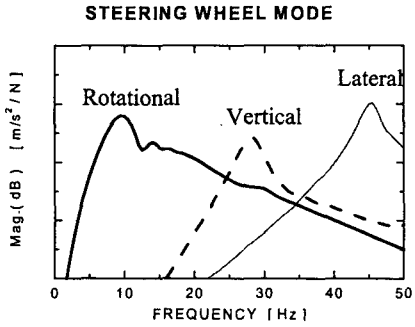
2.3 주행시 조타륜 쉬미

주행시 발생되는 조타륜의 쉬미는 차속에 따라 저속쉬미와 고속쉬미로 구분할 수 있다. 저속쉬미는 약 20~60kph 정도의 차속에서 발생되며 차륜정렬(Wheel Alignment), 로드휠의 편심등에 의한 현가계의 기구학적인 변위가 중요한 원인으로 작용한다. 고속쉬미는 80kph 이상에서 발생되며 차속에 따른 차륜의 진동과 조타륜의 민감도에 따라 발생정도가 달라진다. 현가계의 구성에 따라 다소 차이는 있으나 승용차의 경우 대부분 10~20Hz 에서 조타륜의 쉬미 민감도가 최대인 영역이 존재한다. 타이어의 동반경을 고려할 때 이는 약 80~160kph 의 차속에 해당하며, 일반적으로 쉬미는 고속쉬미를 의미한다.

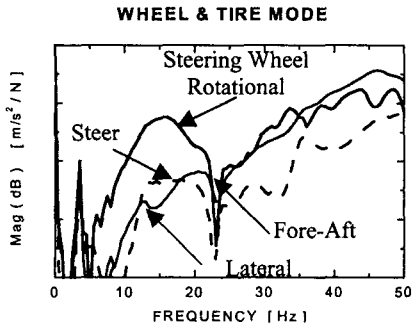
차륜은 스프링, 로워암 등의 링크 및 부쉬류들에 의해 차체 고정점(Hard Point)에 연결된다. 따라서, 현가계에는 차륜을 포함한 스프링 하부질량(Unsprung Mass)과 부쉬등의 탄성요소에 의해

그림 2 와 같이 여러 모드들이 존재한다. 조타륜을 가진하였을때는 조타륜의 회전방향을 포함한 상하 및 좌우 모드를, 차축을 가진하는 경우에는 현가계의 전후 및 좌우 모드와 조향축을 중심으로하는 회전모드를 얻을 수 있다. 또한 차축을 가진하였을때 발생되는 조타륜에서의 회전모드는 조타륜 자체의 회전모드와 상이하게 나타남을 그림 2 에서 확인할 수 있다.

주행시 발생되는 조타륜의 쉬미는 전달경로상의 타이로드 좌우진동과 매우 유사한 형태로 나타난다. 그림 3 은 실제 차량에서 발생되는 조타륜의 쉬미와 타이로드의 좌우진동을 차속의 변화에 따라 살펴본 것이다. 쉬미의 발생은 차속 110~120kph 에서 최대치를 형성하며 타이로드의 진동에서도 동일한 결과를 확인할 수 있다. 이와 같이 쉬미를 저감하기 위해서는 가진원에 해당하는 휠-타이어 뿐만 아니라 타이로드의 좌우 진동을 저감하는 등의 전달경로 상에서의 진동을 억제하는 방향으로 현가계를 구성하는 것이 적절한 방법중의 하나가 된다.



a) 조타륜 가진



b) 로드휠 가진

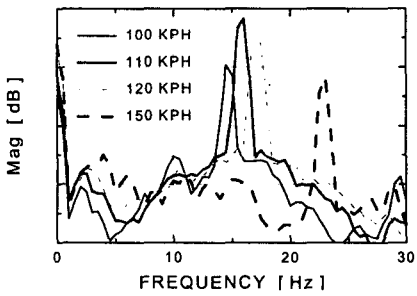
그림 2. 조타계 및 현가계의 고유모드

3. 타이어 불균일에 의한 쉬미

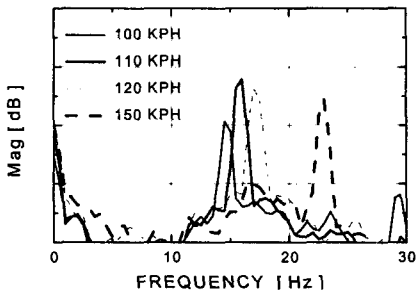
3.1 타이어의 역할과 쉬미 관련인자

타이어는 노면과 차량을 연결하는 유일한 매개체로 차량의 구동력 및 제동력을 전달하고, 선회가 가능하게 하며, 주행시 노면의 요철을 흡수하여 차량에 전달되는 가진력을 최소화하는 등, 차량의 주행성능을 결정짓는 매우 중요한 역할을 한다. 노면에서의 가진력뿐만 아니라 타이어의 불균일은 조타륜의 진동을 유발하는 중요한 원인중 하나로 작용한다. 특히 쉬미는 차륜의 회전성분에 의한 가진력과 현가계 및 조향계의 모드가 인접한 경우에 발생이 쉬우며 특정 차속에서 문제를 유발하기도 한다. 회전시에 발생되는 타이어 불균일의 하나인 중량 불균일은 균형추(Balance Mass)를 이용하여 교정이 가능하나 치수 및 강성 불균일을 제거하기는 현실적인 어려움이 있다.

주행시 차축에서의 가진력을 유발하는 원인으로 타이어의 질량 불균일과 강성 불균일이 쉬미에 어떻게 작용하는지를 실험을 통하여 살펴본 결과는 다음과 같다.



a) 조타륜 쉬미



b) 타이로드 진동(Lateral)

그림 3. 차속에 따른 쉬미 및 타이로드 진동

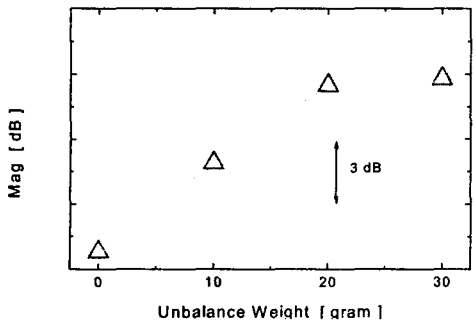


그림 4. 불균일 질량에 따른 쉬미 민감도 [차속 120kph]

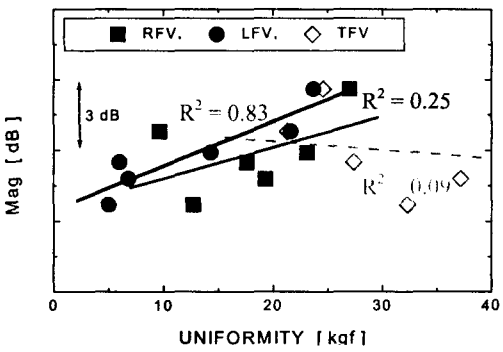


그림 5. 유니포미티에 따른 쉬미

3.2 타이어의 불균일에 의한 쉬미

타이어의 질량 불균일은 주행시 차륜의 전후 및 회전방향의 가진력을 유발한다. 맥퍼슨형 현가계를 적용한 승용차를 대상으로 전륜(Front Wheel)에서의 불균형 질량을 단계별로 적용한 결과, 쉬미의 발생정도는 그림 4 와 같다. 불균일 질량의 증가에 따라 쉬미의 발생은 비교적 선형적인 증가를 보인다. 그러나, 30 그램 이상의 불균일 질량이 부가되면 현가계의 강성변화등의 비선형적인 원인에 의해 쉬미의 증가가 다소 둔화되는 것으로 판단된다.

타이어의 유니포미티는 타이어의 진행방향에 대하여 표 1 에서 언급한 바와 같이 RFV, LFV 와 TFV 로 구분된다. 이는 질량불균일과는 별개로 주행중에 차륜에서의 힘을 유발하는 중요한 진동원으로 작용한다. 유니포미티에 따른 쉬미는 그림 5 와 같이 나타나며, 유니포미티의 영향을 선형화 하였을 경우 LFV 의 민감도가 0.17dB/kgf 로 가장 크게 나타며 상관계수 또한 0.83 으로 쉬미와의 관련성이 매우 크게 나타난다. RFV 의 경우에는 선형성은 다소 있으나 그 상관계수가 0.25 로 크지 않으며 TFV 는 쉬미와 크게 관계되지 않음을 알 수 있다. 이상의 결과를 그림 2 에서의 쉬미 관련 모드와 연관지어보면, 조향축을 중심으로 LFV 의 작용방향이 휠-타이어의 회전을 유발하는 방향과 일치하여 조타륜의 쉬미발생을 쉽게하는 것으로 판단된다.

4. 현가계의 강성 변화에 따른 쉬미

차량에 따라 다소 차이가 있으나 현가계는 일반적으로 휠-타이어를 포함한 차륜과 이를 차체에 고정하는 로워암, 스프링, 완충기 등으로 구성된다. 본 연구에서는 차체 하부에 프레임 구조(서브프레임)를 적용한 차량을 대상으로 하였으며, 이는 로워암, 기어박스 등이 서브프레임에 고정되는 구조를 하고 있다. 따라서, 휠-타이어를 포함한 스프링하부질량과 이를 지지하는 링크-부쉬류 및 서브프레임의 지지강성 등이 현가계의 모드를 결정하는데 중요한 역할을 한다.

쉬미는 현가계의 수평적인 모드와 관련성이 크며 이는 현가계의 기구학적 구조와 부쉬류의 강성에 의해 변경이 가능하다. 따라서, 구조적인 변경이 어려운 경우, 부쉬류의 강성변경을 통하여 쉬미 문제를 접근하는 것도 한 방법이다. 여기서는 현가계의 전후, 좌우방향의 강성에 크게 관련된 로워암 부쉬와 서브프레임 마운트의 강성 변화에 따른 쉬미의 변화를 살펴본다.

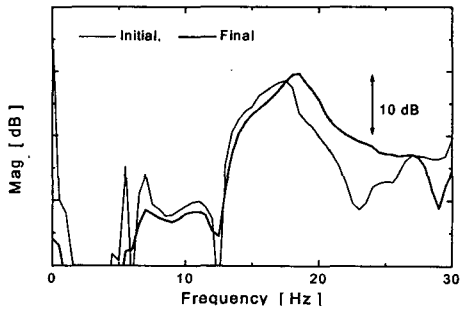
서브프레임은 파워트레인의 하중을 지지함과 동시에 현가계등의 고정점을 제공하며, 로워암은 차륜정렬 및 횡강성을 지지하여 차량의 주행성능을 확보하는 역할을 한다. 이들 제반 성능을 크게 변경하지 않는 범위에서 서브프레임과 로워암에 적용되는 절연고무의 경도를 변경하여 쉬미 성능과의 관련성을 검토하였다. 이때 적용된 고무의 경도는 표 2 와 같으며, 서브프레임 및 로워암 부쉬의 경도 증대는 현가계의 강성을 증대시켜 쉬미 관련 모드를 다소 높은 방향으로 올리는 결과를 나타낸다.

부쉬류의 경도를 변경함에 따라 현가계의 모드와 조타륜의 쉬미 민감도는 그림 6 과 같이 나타난다. 그림 6 의 결과는 접지면에서의 수직력을 최소화하여 구한 것으로 그림 2 의 결과와 다소 차이를 보이나, 휠-타이어의 모드가 다소 높게 형

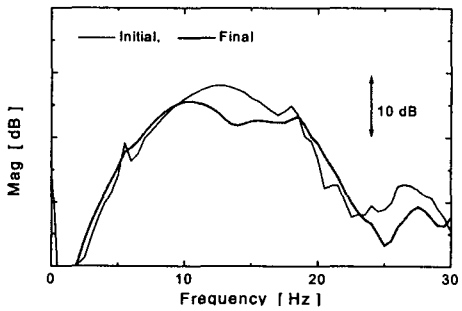
성되고 쉬미 발생구간에서의 민감도 또한 3~5dB 감소함을 확인할 수 있다. 이는 현가계의 강성증대 효과가 타이로드를 통한 좌우진동을 억제하는 방향으로 작용하여 쉬미 민감도를 감소시킨 것으로 판단되며, 이로부터 현가계의 강성 증대에 따른 쉬미의 저감을 예측할 수 있다. 부쉬류의 고무 경도를 변경함에 따라 주행시 발생되는 쉬미는 그림 7 과 같다. 서브프레임 부쉬의 경도 증대시 쉬미가 약 3~4dB 저감되며, 최종적으로는 5~6dB 의 쉬미 저감효과를 확인할 수 있다. 이는 그림 6 의 쉬미 민감도의 저감 효과와 유사한 결과로 현가계의 진동특성과 쉬미의 관련성을 부쉬류의 경도변경을 통하여 살펴보았다.

표 2. 현가계 강성 변경을 위한 부쉬류 사양표

Component	Initial	Rework	Final
Sub Frame Mount	Hs 60°	Hs 70°	Hs 70°
Lower Arm A-Bush	Hs 65°	←	Hs 75°
Lower Arm G-Bush	Hs 70°	←	Hs 60°



a) 휠-타이어의 모드 (Rebound 상태)



b) 쉬미 민감도 (Rebound 상태)

그림 6. 현가계 부쉬 경도 변경에 따른 모드 및 쉬미 민감도 변화

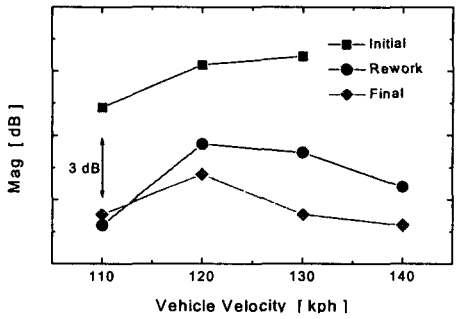


그림 7. 현가계 부쉬 경도 변경에 따른 쉬미

5. 결론

조타륜에서 발생되는 쉬미는 조타계뿐만 아니라 현가계의 진동특성과도 밀접한 관련이 있다. 쉬미의 발생원인으로 타이어의 불균일 질량 및 유니포미티와의 관련성과 부쉬류의 변경을 통한 현가계의 영향을 살펴보았다.

타이어의 불균일 질량의 증가는 가진력의 증가로 쉬미의 발생이 비교적 선형적인 결과를 보이며, 유니포미티의 LFV 는 조향륜의 회전진동과 아주 밀접하게 관련됨을 확인할 수 있었다. 타이어에서의 불균일성을 완전히 제거하지 못하는 어려움으로 현가계에서의 쉬미 민감도를 저감시킬 수 있는 방안의 검토가 필요하며, 본 연구에서는 현가계의 강성증대에 따른 쉬미의 저감효과를 실험적으로 검증하였다. 또한, 차량의 제작 초기에 조타륜의 진동을 고려한 조향계와 현가계의 검토가 병행된다면 보다 우수한 성능의 확보가 가능하리라 판단된다.

참고문헌

(1) 자동차공학기술대사전-기초이론편. 제 7 장 진동 승차감·소음의 기초·이론, 일본자동차기술회.
(2) Alexander de Vries and Mark Wagner, "The Brake Judder Phenomenon", SAE920554.
(3) M. G. Kim and H. I. Jung, "Sensitivity Analysis of Chassis System to Improve Shimmy and Brake Judder Vibration on Syeering Wheel", SAE960734
(4) J. Reimpell and H. Stoll, The Automotive Chassis: Engineering Principle, Vogel-Buchverlag.