

타이어 설계인자를 고려한 자동차 현가계의 진동특성

이 태 근[†]·김 병 삼*

Vibration Characteristics of Automobile Suspension System considering Tire Design Parameters

Lee, Tae-keun, Kim, Byoung-sam

Key Words : Half car(반차), Ride(승차감), Shock Absorber(충격흡수기)
Sidewall(사이드월), Tire(타이어), Tread(트레드)

Abstract

The model is verified thorough simulations and experiments. And then the developed model is applied to a half car model and automobile vibrations are analyzed. The effects of tire design parameters on the automobile vibration energy are investigated. The results from laboratory and field tests confirm the validity of the analytical model. The 17-DOF half-car model is built to analyze the automobile vibration. The characteristics of the nonlinear model for a shock absorber are applied to this model. The results from the present 17-DOF half car model incorporating the analytical tire model with tire design parameters, are compared with a 5-DOF half car model where the tire is modeled with linear springs. The results of the 17-DOF model are closed to experimental results. Using the 17-DOF model, the influences of tire design parameter are considered. According to the results of analyses, the vibrations at seat/body/wheel are predicted by simulation and experiment.

1. 서 론

자동차의 승차감에 대한 욕구는 날로 증가하여 보다 편안하고 안락한 자동차 개발이 요구되고 있다. 넓은 의미의 승차감은 자동차에서 발생하는 모든 진동 소음 문제를 지칭하며, 좁은 의미로는 차량 주행 중 특히 노면의 불규칙적인 입력으로 발생한 차체 진동을 운전자가 느끼는 쾌적의 정도이다. 차량 주행 중 발생하는 진동원으로는 노면의 가진, 엔진, 회전체의 불평형, 기어의 래틀 진동 등이 있다. 종래, 승차감에 대한 평가는 객관적이고 정량적인 값보다는 주관적인 방법에 많이 의존하였다. 물론 현재에도 널리 사용되고 있는 방법이다. 자동차를 제작 생산하는 회

사에서는 여러 명의 전문 운전자들에 의해 주관적으로 승차감을 평가하고 있다. 그런데, 주관적인 평가는 사람마다 약간의 차이점이 있으며, 동일한 운전자라도 운전할 때의 기분, 건강의 상태, 날씨, 운전 시간 등에 따라 평가의 결과에 차이가 있을 수 있으므로 승차감 평가의 객관적인 방법의 연구가 필요하게 되었다. 그래서 인간이 느끼는 승차감을 객관적으로 정량화하기 위해 ISO2631과 BS6841와 같은 인체 진동 관련 규격들이 발표되었고, ISO2631과 BS6841에 의해 인체 피폭 진동량 측정 방안이 마련됨으로써 승차감 평가를 객관적으로 평가할 수 있게 되었다. 그러나 국내·외적으로 ISO2631이나 BS6841로 완벽하게 승차감을 객관적으로 평가할 수 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 노면으로부터의 다양한 가진을 받는 자동차의 동적 특성을 파악하였으며, 승차감 비교를 위해 노면의 불규칙 입력에 의한 차체의 진동량을 고려하였다. 자동차

† 삼성전기주식회사 DM사업부 DSS연구국
E-mail : taekeun.lee@samsung.com
TEL : (031)210-3556 FAX : (031)210-6969
* 순천제일대학 자동차기계과

에 있어서 승차감에 미치는 중요한 변수 중 하나는 현가장치의 감쇠력과 타이어 특성이다. 대개의 경우 감쇠를 상수로, 타이어를 강성으로 가정하여 승차감을 평가하였으나 본 연구에서는 충격흡수기를 실제의 경우와 유사한 인장과 압축시의 비선형성을 고려하여 평가하였다. 즉, 댐퍼의 비선형 감쇠력이 승차감에 미치는 영향을 조사하였다. 본 연구에서는 자동차를 반차(half car)로 모델링하고 충격흡수기(shock absorber)의 비선형 모델에 대한 특성을 고려하였다. 또한, 비선형 충격흡수기 모델을 기초로 노면과 충격흡수기의 감쇠특성과 타이어 설계인자의 변화에 따라 자동차에서 발생하는 진동을 고찰하였다. 이 진동량을 기준으로 본 연구의 실차실험에 이용된 자동차에 가장 적절한 충격흡수기를 선정하였고 자동차 진동에 영향을 미치는 타이어 설계인자를 조사하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 충격흡수기의 비선형 모델

감쇠력에 관한 모델링은 대부분이 선형으로 가정하였다. 그러나, 실제의 경우에는 충격흡수기가 압축일 때와 인장일 때 감쇠력이 다르며, 압축일 경우만 고려해도 1, 2차 함수의 특성을 동시에 가지고 있다. Fig.1에 나타난 감쇠 선도는 실제 자동차에 장착되어 사용되어지고 있는 충격흡수기의 감쇠력 선도이다.

2.2. 자동차 모델링

본 연구에 이용된 자동차 모델은 시트 및 타이어를 포함한 17자유도 반차 모델이다. Fig.2는 반차 모델을 나타낸 것이다. 자동차 모델에서 타이어의 감쇠 및 탄성계수를 무시할 만한 미소 감쇠가 있고 선형 탄성계수를 가지고 있는 경우(5-DOF)와 타이어를 7자유도계로 모델링하여 감쇠 및 탄성계수를 구한 경우(17-DOF) 등 2가지 경우에 대해 운동방정식을 유도하였다. 또한, 현가장치도 선형 스프링 계수를 가지고 있다고 가정하였다.

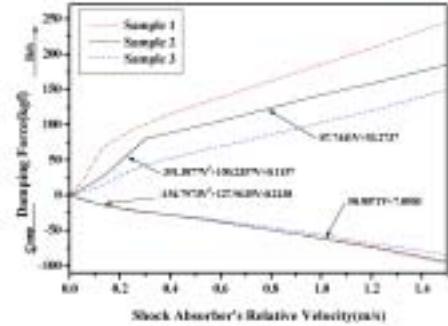


Fig.1 The diagram of front shock absorber's damping force and modeling equations

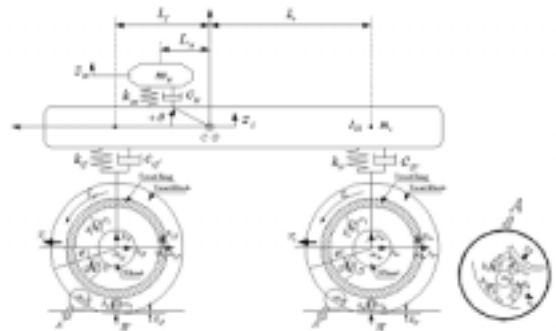


Fig.2 Automobile half car model with seat

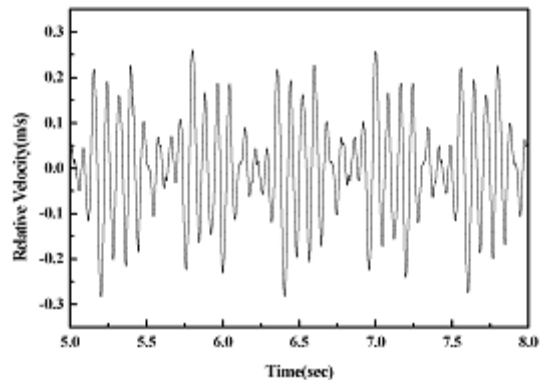


Fig.3 The relative velocity of shock absorber between sprung mass and unsprung mass

3. 시뮬레이션 및 분석

3.1. 충격흡수기의 비선형 모델

자동차가 아스팔트 노면을 주행할 때 Fig.3에서 보는 것과 같이 충격흡수기의 상대속도는 이하에 있게 된다. 실제로 차량이 대부분 주행하는 조건은 아스팔트 노면이므로 아스팔트 노면에 대한 충격흡수기의 영향성을 분석하는 것이 중요하며, 충격흡수기의 상대속도가 이하에서의 감쇠특성을 정확히 모델링하는 것이 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 충격흡수기를 비선형으로 모델링하였다.

3.2. 자동차 진동을 고려한 충격흡수기의 비교 평가

본 연구에서는 충격흡수기의 감쇠 특성만을 변화 시켜가며 그 영향성을 평가하였다. Table 1에서는 충격흡수기의 감쇠력의 특성과 다양한 감쇠 특성을 갖는 충격흡수기를 사용하여 그들의 영향성에 대한 결과를 RMS와 RMQ값으로 계산하였다. Table 1에서 “S1S2”등은 전륜이 Sample 1, 후륜이 Sample 2임을 의미한다. 범프(bump)나 성크(sunk) 노면과 같은 순간적이나 과도기적으로 발생하는 큰 진동량에 대한 영향을 고려하기 위해 RMQ(Root Mean Quad, 또는 VDV)값을 도입하는 경우도 있는데, 본 연구에서는 RMS와 RMQ(VDV) 값의 경향성은 동일함을 볼 수 있어 RMS 값을 이용하여 분석하였다.

Table 1 The comparison of vibration RMS values assessed only from simulations at bump road and sunk road ($T_s=5\text{sec}$, unit : m/sec^2)

Front shock absorber	Rear shock absorber	Bump road			Sunk road		
		Speed : 30 km/h					
		RMS Seat	RMS Body	RMS Wheel	RMS Seat	RMS Body	RMS Wheel
Sample1	Sample2	0.2610	1.0291	38.5854	0.2794	0.8124	30.7327
Sample2	Sample1	0.2618	1.0558	37.7078	0.2573	0.8282	32.5803
Sample2	Sample2	0.2279	1.0078	37.6560	0.2760	0.7800	32.6703
Sample2	Sample3	0.2834	0.9557	37.4221	0.3439	0.7430	33.2214
Sample3	Sample2	0.3541	1.0829	34.4443	0.2306	0.7373	31.5315

일반적으로 범프나 성크 노면에서 감쇠값이 작으면 오랫동안 진동하므로 좋지 않은 효과를 얻게 된다. 그러므로 S3S2의 충격흡수기는 좋은 것이라고는 말할 수 없다. 시트와 차체의 진동에서 S2S2가 범프 노면이나 성크 노면, 그리고 아스팔트 노면에서 속도에 따라서도 최적의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 즉 어떤 노면에서도 평이하게 적용될 수 있다는 것이다. 다른 충격흡수기의 조합들을 보면 아스팔트 노면에서 좋다면 범프 노면에서 아주 나쁜 것을 알 수 있다. 그러므로 시뮬레이션에 사용한 최적의 충격흡수기는 전륜에 Sample 2와 후륜에 Sample 2를 사용하는 것임을 확인 할 수 있다. 시트에서는 저속에서 속도증가에 따라 진동량이 증가하고 있으며 고속이 되면 진동량은 현저히 감소함을 볼 수 있다. 차체와 휠에서는 속도증가에 따라 진동량은 증가하는 경향을 보인다.

3.3. 타이어 설계인자 변화에 따른 차량진동 해석

타이어의 설계인자변화에 따른 차량진동해석을 위해 각각의 인자들을 상대적으로 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 실험용 차량에 취부되고 있는 195 /60R14 타이어 규격을 기준으로 설계인자의 변화량은 현재, 타이어 업계에서 사용되고 있는 범위를 고려하여 산정 하였으며, 수치 해석결과는 RMS 및 주파수 분석을 수행하였다.

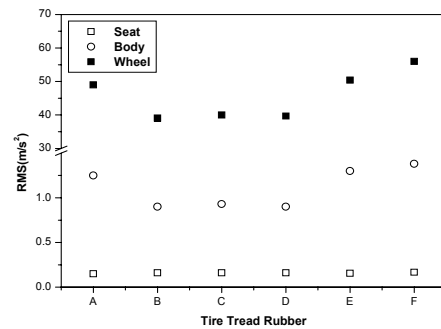


Fig.4 The Variation of vibration values according to tread rubber

Fig.4는 트레드 강성 변경에 따른 거동변화를 보인다. 시트에서 트레드 강성이 클수록 진동량

은 작아짐을 볼 수 있다. 차체 및 휠에서는 트레드 강성증가에 따라 진동량은 증가함을 볼 수 있다(Tire 'D', 'E').

4. 실차실험 및 분석

실차실험에 이용한 자동차는 4실린더 4사이클의 엔진(DOHC)을 장착하였으며, 전륜 현가장치는 맥퍼슨 스트리트식(mcpherson strut type)이며, 후륜은 듀얼링크식(dual link type)이다. 충격흡수기는 가스식으로 내부에 고압의 질소가스가 주입되어 있으며 수동 변속기가 장착된 자동차이다.

4.1. 실험조건 및 실험방법

동일한 자동차의 현가장치에 전륜과 후륜 각각 3종류의 충격흡수기를 장착하여 노면과 타이어의 강성, 그리고 차량의 속도에 따라 충격흡수기의 성능을 평가하였다. 후륜의 충격흡수기를 중간 감쇠값으로 고정시켜 놓고 전륜의 충격흡수기의 감쇠값을 상·중·하로 구분하여 실험조건을 변화시키면서 실험을 수행하였다. 또한, 전륜의 감쇠값을 중간 감쇠값에 고정시켜 놓고 후륜의 감쇠를 상·중·하로 나누어 동일한 방법으로 실험을 수행하였다.

Table 2 Front suspension's list used in test

Front damping force	Rear damping force
Sample 1(High)	
Sample 2(Standard)	Sample 2(Standard)
Sample 3(Low)	

Table 3 Rear suspension's list used in field test

Front damping force	Rear damping force
-	Sample 1(High)
Sample 2(Standard)	Sample 2(Standard)
-	Sample 3(Low)

Table 2, 3에서 표준(standard)은 실제 자동차에 장착되어 상용화된 감쇠력을 가진 충격흡수기이다. 실험에 이용된 노면은 아스팔트, 범프, 성크

노면 등이다. 자동차 주행속도에 대한 영향을 조사하기 위하여 자동차의 주행속도를 30, 60, 100(km/h)로 증가하였다. 자동차의 주행속도가 30(km/h) 정속 주행할 경우에는 수동변속기를 2단으로 고정하고 2,000(RPM)을 유지하였으며, 60(km/h)로 정속 주행할 경우에는 4단, 2,000(RPM)을 유지하였다. 또한, 오목한 노면과 볼록한 노면을 주행할 경우에는 실제 주행속도와 유사한 30(km/h)에서만 실험을 수행하였고, 고속도로 주행조건과 유사한 100(km/h)로 주행할 때에는 5단, 2800(RPM)을 유지하였다.

Table 4 The conditions of field test

Parameters	1	2	3	4
Road	Asphalt	Bump	Sunk	Highway
Vehicle velocity (km/h)	30	60	100	-
Tire air pressure (kg/cm ²)	2.1	-	-	-

실험에 이용된 타이어의 규격은 195/60R14이다. 타이어의 공기압을 2.1(kg/cm²)로 바퀴를 동일하게 유지하였다. 노면으로부터 가진되는 진동이 현가장치와 차체를 통하여 시트와 운전자에게 전달되는 진동을 측정하기 위하여 댐퍼의 하단부, 마운트, 운전석 고정부의 바닥, 시트의 헤드부분 등 차체 4지점에 가속도계를 설치하였다.

Table 5 Experimental instruments of field test

Item	Model
Accelerometer	Wilcoxon 3441, 3443, 3444, 3445
Power supply	Dytran 4146
Digital tape record	Sony PC208Ax
FFT Analyzer	Pulse 3560

4.2. 실험결과 분석

(1) 노면에 따른 충격흡수기의 비교분석

두 조합의 공통적 특징은 후륜의 감쇠값이 전륜 감쇠값보다 작다는 것이다. S3S2 모델도 후륜 감쇠값이 큼에도 작게 나타났다. 시뮬레이션에서

는 범프 노면에서 가장 취약한 것이 S3S2 모델로 나타난 것과는 상반된 결과이다. 이것은 전륜과 후륜의 감쇠값이 전반적으로 낮기 때문이다. 실제 자동차에서는 감쇠값이 전반적으로 낮아 범프 노면에서 후륜의 튀기는 듯한 현상이 적어 좋은 결과가 나온 것으로 판단된다.

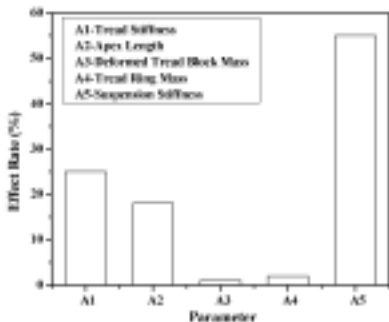
(2) 충격흡수기의 감쇠값의 변화에 따른 영향

S2S2 조합 대비 전륜의 감쇠값을 높이면, 범프나 싱크 노면에서는 좋은 효과를 볼 수 있으나 아스팔트 노면을 주행할 경우에는 좋지 않은 결과를 나타냈다. 반대로 감쇠값을 낮추면 범프나 싱크에서의 좋은 특성을 나타내었고 아스팔트 노면에서도 양호한 상태를 나타내었다. S2S2는 범프나 싱크 노면에서는 좋지 않은 결과가 나왔지만 아스팔트 노면에서는 가장 좋은 특성을 얻을 수 있다.

5. 결과고찰

Fig.5는 개발된 모델을 이용하여 차량의 시트 및 바디 진동에 영향을 미치는 타이어 설계인자의 영향도를 나타내고 있으며, 현가장치 강성, 트레드 강성, 에이펙스 길이가 큰 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. 시트의 주파수 전달특성이 30(Hz) 이하의 성분에 대해 민감하게 반응하므로 시트부에서는 현가장치의 강성변화에 민감하다. 따라서, 현가장치의 강성변화에 대한 영향도가 가장 높게 나타난다. 차체(body)에서는 타이어 트레드 강성의 영향도가 가장 높다.

(a) Seat



(b) Body

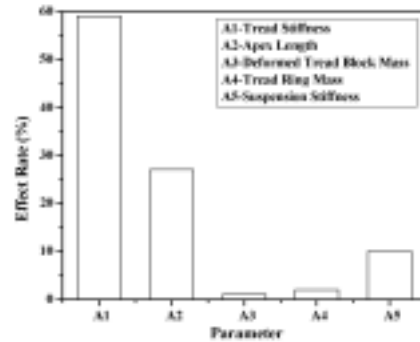


Fig.5 The effect of tire design parameter for vehicle vibration

6. 결론

본 연구에서는 충격흡수기의 물성치를 이용하여 압축과 인장시 각각 다른 감쇠 특성을 갖는 비선형 충격흡수기로 모델링하였으며, 개발한 비선형 모델을 반차 모델에 적용하여 노면을 주행하는 자동차량의 진동을 해석하였다. 본 연구를 통하여 자동차 승차감에 충격흡수기가 어떤 영향을 미치는지를 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 실험에 이용된 자동차에 있어서 최적의 충격흡수기가 어느 것인지 선정할 수 있었다. 본 연구에 사용한 차량에 최적의 충격흡수기는 전륜에 Sample 2와 후륜에 Sample 2를 장착한 것임을 확인하였으며, 자동차 승차감을 고려한 충격흡수기의 선택에 있어서 다음과 같은 사실을 확인하였다.

- 1) 충격흡수기의 감쇠 특성에 따라 특정한 노면에 대해서는 아주 우수 할 수도 있지만 중요한 것은 거의 모든 노면 조건에서 양호한 승차감을 가지는 충격흡수기를 선정해야 한다.
- 2) 전륜 쪽에 더 많은 하중이 작용하기 때문에 전륜의 충격흡수기의 감쇠력이 후륜의 감쇠력보다 약간 클 때 승차감에는 좋다.
- 3) 차량의 무게에 비해 충격흡수기의 감쇠력이 너무 크면 차량이 튀기는 현상이 발생하고 너무 작으면 미세한 진동에 계속 작용하게 되어 승차감에는 좋지 못하다. 그러므로 적절한 감쇠력을 가진 충격흡수기를 선정하는 것이 중요하다.

4) 차량의 전륜과 후륜의 하중 분포에 따라 전륜과 후륜의 감쇠력 비를 적절히 조절해 주어야 한다.

타이어를 선형탄성체로 가정한 기존의 5자유도 반차모델과 본 연구에서 개발된 타이어 설계인자를 고려한 17자유도계 반차모델에 대한 해석으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 타이어를 탄성체로 가정한 5 자유도계 반차모델과 비교할 때, 17자유도 모델이 보다 실험결과에 근사함을 알 수 있었다.

2) 자동차의 진동에 큰 영향을 미치는 타이어 설계인자는 트레드 강성 및 에이펙스 길이이다.

3) 타이어 설계인자의 변화에 따라 차량의 시트, 차체, 휠에서의 진동량을 예측할 수 있었고, 시트와 차체부의 진동저감을 위해서는 다음과 같은 타이어설계인자 변화를 제시할 수 있다.

가. 트레드 고무의 강성 감소, 감쇠치 증가.

나. 노면에 의해 변형되는 트레드 블록의 질량 증가.

다. 트레드 링 질량 증가.

라. 사이드부 강성 감소

(에이펙스 길이, 경도 감소).

마. 서스펜션 강성 감소.

참 고 문 헌

1) 자동차 기술 핸드북, 1996, 1권 기초 이론편, pp.259~352, 사단법인 한국자동차공학회.

2) 정완섭, 우춘규, 박세진, 김수현, 1997, "동시 3축 가진에 의한 자동차 의자류의 승차감 평가", 한국소음진동공학회지, Vol.7, No.1, pp.143~152.

3) M. J. Griffin, 1990, "Handbook of Human Vibration", Academic Press, London.