

현가장치 볼 조인트의 동적 모델 연구

김속희*(KIMM), 한형석(KIMM), 노규석(KIMM), 김명규(서문기술), 김기훈(자동차부품연구원)

Dynamic Modeling of Ball Joint in Suspension

S. H. Kim*(KIMM), H. S. Han(KIMM), K. S. Rho(KIMM), M. K. Kim(Seomoon Tech.), K. H. Kim(KATECH)

ABSTRACT

In the dynamic analysis model of full vehicles, the ball joint is usually modeled as an ideal joint. Searching a ball joint, the engineering plastic covers metal and the plastic has little compliance. It is expected that the compliance will physically have an influence on load transfer. This thesis presents a dynamic model considering the compliance of a ball joint, and studies an influence related to load transfer. It models the compliance of a ball joint to 3 directional spring. Likewise, it researches the load of a ball joint via a four-post simulation of a full vehicle, comparing with a model considered compliant and the model of an ideal joint.

As a result, the difference between the compliance and the ideal joint model was determined. For this reasons, to conduct precision load prediction for durability analysis, dynamic analysis considering the compliance of ball joint should be required.

Key Words : Ball Joint(볼조인트), Compliance(컴플라이언스), Geometric Constraint(기하학적 구속조건)

1. 서론

자동차의 전체차량 동적 해석은 일반화되어 차량의 거동 뿐만 아니라 부품의 내구도 예측에 이용되고 있다. 자동차 현가장치에는 볼 조인트가 여러 곳이 이용되는 데 특히 하부암(lower arm)과 너클(knuckle)의 연결에 이용되는 것은 하중 전달에 있어서 중요한 역할을 한다. 일반적으로 이러한 볼 조인트의 동적 모델은 이상적인 조인트 즉 기구적 구속으로 모델한다.^{1,3} 문헌 조사결과 전체차량의 동적 해석에서 볼 조인트의 컴플라이언스를 고려한 문헌을 발견하지 못하였다. 차량의 거동측면에서 볼 조인트를 이상적인 조인트로 표현하는 것은 타당할 수 있다. 이상적인 기구적 구속으로 표현하면 볼 조인트에서의 탄성 변형은 존재하지 않는 것으로 가정하는 것이다. Fig. 1(a)는 볼 조인트의 사진을 보여주고 있다. Fig. 1(b)는 볼 조인트의 단면 구조를 보여주고 있는데 볼 조인트의 볼은 강구조이고 플라스틱으로 감싸여져 있다. 이 플라스틱은 강에 비하여 컴플라이언스가 크며 실제적으로는 미소한 변형이 일어날 것이다. 시뮬레이션에 있어서 이러한

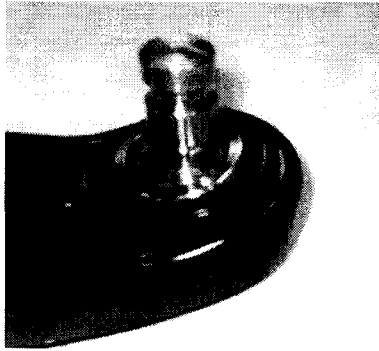
미소 변형은 차량의 전체적인 거동에 일반적으로 고려되지 않고 있는 것이다. 최근에는 전체차량의 동적 해석이 내구도 예측에 이용되고 있으며 내구도 예측 측면에서는 하중의 전달에 대한 정밀한 예측이 요구된다. 이러한 내구도 예측을 위한 하중 전달 시뮬레이션 측면에서 조인트의 컴플라이언스 고려 유무에 따른 차이가 있을 것으로 판단되어 본 연구를 시작하게 되었다.

본 논문에서는 전체차량의 동적 시뮬레이션에 있어서 볼 조인트의 컴플라이언스 고려 유무가 하중의 전달에 있어서 어떤 영향이 있는지 검토하는 것에 목적을 두고 있다. 컴플라이언스를 고려하기 위하여 볼 조인트를 3 방향 스프링으로 모델하는 것을 제안한다. 전체차량 동적 해석 모델에 볼 조인트의 컴플라이언스를 고려했을 경우와 이상적인 조인트로 표현했을 때의 하중 전달 영향도를 검토한다. 그 결과 두 가지 모델에 따른 하중 응답이 주파수에 따라 차이가 있음을 보였다.

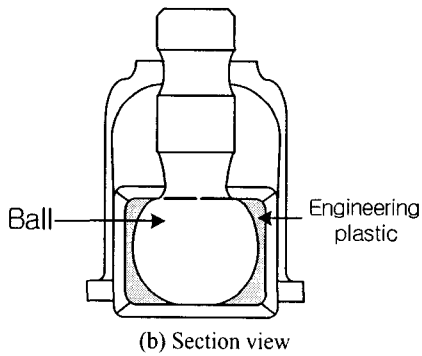
2. 볼 조인트의 동적 모델

2.1 구조

Fig. 1 에서는 맥퍼슨 현가장치에 설치되어 있는 볼 조인트 예를 보여주고 있다. 이 볼 조인트는 너클과 하부암의 연결에 이용된다. 볼 조인트는 두개의 부품을 한 점으로 연결하면서 3 방향 상대회전이 가능하게 하는 기능을 갖는다. 일반적으로 현가장치에는 이러한 볼 조인트가 여러 곳에 사용되는데 구조는 모두 비슷하다. Fig. 1(b)에서와 같이 볼을 감싸는 플라스틱의 기계적 성질 중 인장강도는 38,000,000 N/m² 인 재료로 강 재료에 비하여 약 1/10 값을 갖는 경우가 있다.



(a) Photo



(b) Section view

Fig.1 Ball joint between lower arm and knuckle

2.2 동적 모델

볼 조인트 플라스틱의 컴플라이언스를 고려하기 위하여 Fig. 2 와 같은 3 방향 스프링-감쇠기 모델을 제안한다. 컴플라이언스를 고려한 힘 모델에서 중요 사항은 3 방향 강성과 감쇠 값을 알아내는 것이다. 엄밀히 강성과 감쇠는 형상에 종속적이고 비선형적이기 때문에 정확한 강성과 감쇠 값을 얻는 것은 어렵다. 본 논문에서는 중형 승용차용 볼 조인트에 평균적으로 이용되는 강성 값을 이용한다. 이용된 강성은 실험에 의하여도 검토된 값이다. 이용된 선형 강성을 Table 1 에서 보여주고 있다. 3 장에

서 검토용으로 이용되는 전체차량 모델의 실제 강성과는 다르다. 그러나 이용된 강성은 일반적으로 이용되는 중형차의 평균적 강성이기 때문에 결과의 차이가 작을 것이다. 볼 조인트의 강성은 실험에 의하여 얻을 수 있으나 감쇠 값은 얻기가 더욱 현실적으로 어렵다. 본 논문에서는 Table 1 의 강성의 1% 값을 사용하였다. 연구 결과 감쇠가 강성의 3% 이내의 변화에 대하여 응답에 미치는 영향은 작았다.

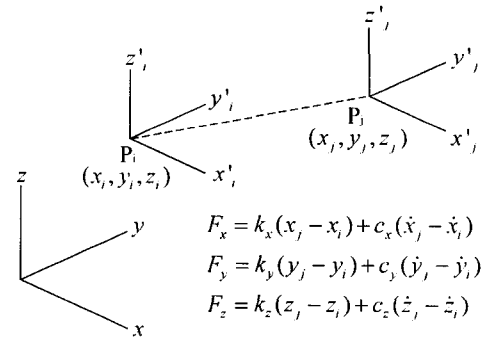


Fig. 2 3 directional spring-damper model for ball joint

Table 1 Stiffness and damping coefficients of ball joint

Direction	Stiffness (N/m)	Damping coefficient (Ns/m)
Longitudinal	33,483	334.83
Lateral	33,483	334.83
Vertical	19,643	0.19643

3. 전체차량 해석 모델

3.1 차량

볼 조인트 컴플라이언스에 의한 하중 전달 영향을 검토하기 위하여 Fig. 3 과 같은 MDI 사의 공개 차량을 이용한다.⁴

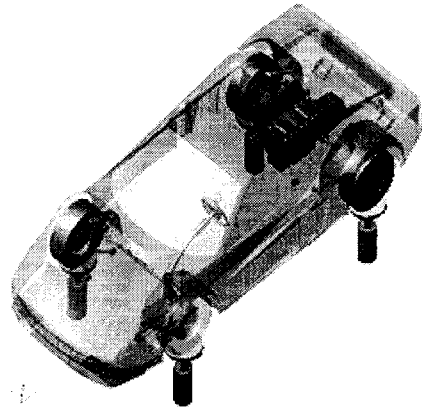


Fig. 3 MDI demo vehicle

3.2 가진 조건

3.1 절의 차량에 대한 가진 조건은 Fig. 4 에서와 같이 4 점 지지 리그 시험 조건이다. 타이어와 접촉 하는 지지 점은 Fig. 4 와 같이 0~25Hz 의 Sine sweep 으로 가진 된다. 여기서 4 점이 동시에 가진 된다. 힘의 전달 특성은 주파수에 따라 달라지기 때문에 가진 주파수를 변화시켰다.

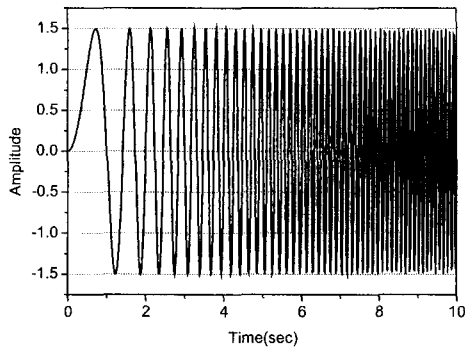


Fig. 4 Vertical displacement versus time

4. 결과

3 장의 해석 모델을 이용하여 전체차량 동적 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 5, Fig. 6 은 볼 조인트의 횡방향력 응답을 보여주고 있다. 시간(주파수)에 따라서 컴플라이언스 고려 유무에 따라서 두 모델에서의 반력 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 약 3~10Hz 구간에서는 컴플라이언스 모델의 하중이 작고 10~19Hz 에서는 컴플라이언스 모델의 하중이 크게 나타나는 것을 Fig. 6 에서 볼 수 있다. 이를 통하여 볼 조인트의 컴플라이언스 유무에 따라서 조인트에서 발생하는 하중에 차이가 있음을 볼 수 있다. 구속조건으로 정의되는 이상적인 조인트 모델은 주파수에 종속적이지 않지만 컴플라이언스 모델은 진폭과 위상차가 있기 때문이다. 여기서 고려 사항으로 이용된 시뮬레이션 프로그램의 수치해법의 영향도 있다. 이용된 선형해법, 수치적분법의 종류와 수치해석 오차 제어 인자의 영향도 있을 것으로 사료되나 그 영향을 명확히 밝히는 것은 어렵다. 내구도 관점에서 이러한 힘의 차이는 부재의 피로 손상계수에 영향을 미칠 것이다. Fig. 7, Fig. 8 은 볼 조인트의 종방향력을 보여주고 있다. 종방향력도 두 모델간의 차이가 발생한다. 10~15Hz 영역에서는 컴플라이언스 모델이 큰 값을 보이고 나머지 영역에서는 차이가 작은 경향을 보이고 있다. 그런데 횡방향력의 차이보다는 상대적으로 그 차이 크기가 작다. 이러한 모델간의 차이는 물론 현가장

치 구조 및 컴플라이언스의 크기에 따라 다른 경향을 보일 것이다.

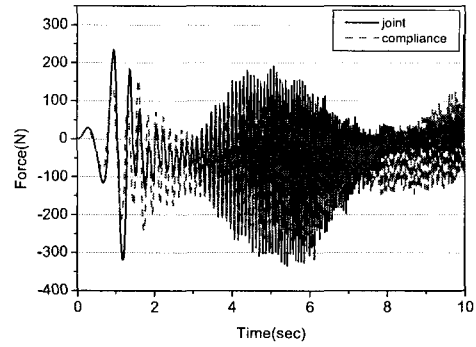


Fig. 5 Lateral force on ball joint

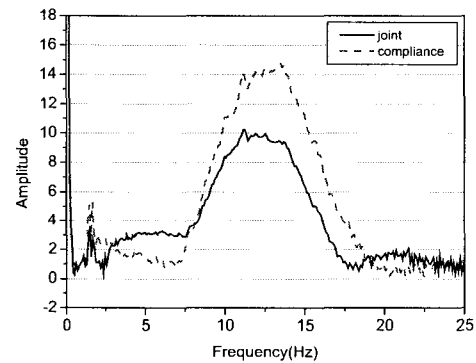


Fig. 6 FFT analysis on Lateral force on ball joint

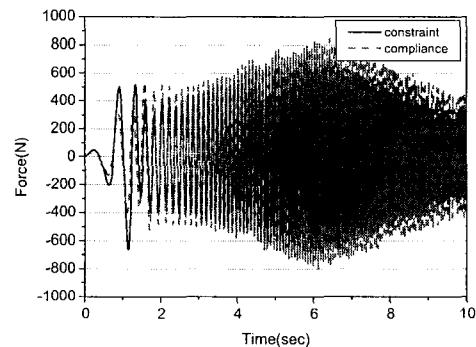


Fig. 7 Longitudinal force on ball joint

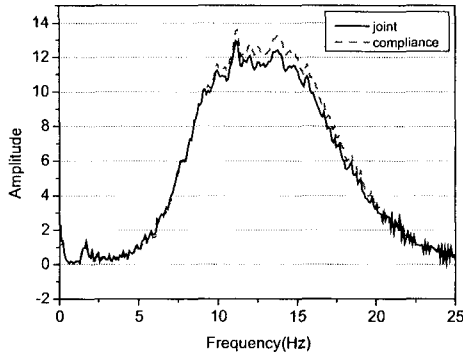


Fig. 8 FFT analysis on Longitudinal force on ball joint

5. 결론

이상의 연구를 통하여 전체차량의 동역학 시뮬레이션에 있어서 현가장치 볼 조인트의 동적 모델에 따른 하중 영향도 검토가 이루어졌다. 볼 조인트의 컴플라이언스 고려 유무에 따라 동하중 전달에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 4 점 지지 수직 방향 가진 시뮬레이션에 의하면 가진 주파수에 따라 컴플라이언스 고려 유무에 따라 하중 전달의 크기에 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 횡 방향 힘의 경우 10~15Hz 영역에서 상대적으로 차이를 명확하게 볼 수 있었다. 그러므로 시뮬레이션에 의한 동하중 예측 시 때로는 볼 조인트의 컴플라이언스를 고려할 필요가 있음을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 소개한 결과의 경향이나 크기가 일반적으로 정량적으로 모든 차량에 적용되기는 어렵다고 사료된다. 볼 조인트의 비선형적인 컴플라이언스나 감쇠 특성을 정확히 얻어내는 것이 어렵고 차량에 따라 구조가 달라 그 경향이 다를 수 있다고 판단된다. 다만 일반적으로 구속조건으로만 모델하는 종전의 방법에서 벗어나 경우에 따라서는 컴플라이언스를 고려할 필요가 있음을 보여준 것이 본 논문의 의의라고 사료된다. 추후 좀더 정확한 볼 조인트 강성을 얻은 후 다양한 조건에 대한 시뮬레이션에 의한 하중 전달 효과 검토 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. Kang, J. S., Yun, J. R., Lee, J. M. and Tak, T. O., "Elastokinematic Analysis and Optimization of Suspension Compliance Characteristics," SAE Paper No. 970104, 1997.
2. Suh, C. H., "Joint Force and Moment Analysis of a

Three-Dimensional Suspension Mechanisms," SAE Paper No. 910015, 1991.

3. Song, S. J., Moon, H. K. and Cho, B. K., "A Study on the Effects of the Flexibilities of Suspension System of a Vehicle for Handling Performance," KSAE No. 98370089, 1998.
4. www.adams.com