

# 차량동역학 해석용 타이어 유한요소 모델 개발

## Development of Finite Element Tire Model for Vehicle Dynamics Analysis

정성필† · 이태희‡ · 김기환\* · 윤소중\*

Sung Pil Jung, Tae Hee Lee, Gi Whan Kim and So Joong Yun

**Key Words**: Finite element tire model, Vehicle dynamics analysis, Dynamic properties, Membrane, Vertical stiffness data

### ABSTRACT

This paper presents a simplified finite element tire model for vehicle dynamics analysis. The classical finite element tire model was too big to simulate dynamic properties of the tire. In the simplified model, number of nodes of the tire model was dramatically reduced, and thus its simulation time was several times less than the classical model. Bead, carcass, belt which have an important role to the dynamic characteristics of tire were replaced by simple axis symmetric membrane elements. Also the rebar element was deleted. The tire model has been verified by comparing vertical stiffness data of the simulation model to the test data.

### 1. 서 론

타이어와 노면사이에 발생하는 마찰력은 차량의 구동력, 제동력, 조향력을 발생시키는 근원이다<sup>(1)</sup>. 차량 동역학 해석에서 타이어가 매우 중요한 위치를 차지하고 있고, 타이어의 3대 비선형성(재료비선형, 기하비선형, 접촉비선형) 때문에 타이어 해석 모델을 생성하는데에는 많은 노력과 시간이 소요된다. 특히, 차량동역학 해석을 위해 여러 가지 비선형 타이어 모델이 개발되어 활용되고 있는데<sup>(2)</sup>, 이들 모델은 실제 타이어의 동역학적 거동을 비교적 정확하게 모사할 수 있다는 장점이 있지만, 모델 생성을 위해 F&M test<sup>(3)</sup>등의 실험데이터를 필요로 한다는 단점이 있다. 따라서, 타이어 설계단계에서 타이어의 차량 동역학적 특성을 예측하기에는 어려움이 따른다.

타이어 설계단계에서는 유한요소모델을 이용한 구조해석이 많이 활용된다<sup>(4-6)</sup>. 타이어 구조의 복잡성<sup>(7-8)</sup>

때문에 유한요소 모델을 이용한 동역학 해석은 외연적 솔버(Explicit code)를 사용하여 수행하는 반면<sup>(9)</sup>, 차량 동역학 해석은 내연적 솔버(Implicit code)를 사용하기 때문에 두 솔버를 연동하기 위해서는 중간처리기(Intermediate processor)가 필요하다<sup>(10)</sup>. 그러나 중간 처리기를 사용한 해석은 두 적분 솔버의 시간 간격 문제, 수렴성 문제 등으로 아직 폭넓게 활용되고 있지 못한 실정이다.

본 연구에서는 차량동역학 해석에 사용 가능한 타이어 유한요소모델 개발의 첫 단계를 기술한다. ABAQUS/Standard<sup>(11)</sup>를 사용하여, 타이어 유한요소 모델과 1/4 사시 강체 모델을 중간처리기 없이 연성하여 해석을 수행하였다. 본 연구의 세부 내용은 다음과 같다.

- ① 기존의 복잡한 구조의 유한요소 타이어 모델로부터 단순화된 유한요소 타이어 모델을 생성
- ② ABAQUS에서 제공하는 Connector element<sup>(11)</sup>를 이용하여 1/4 현가 모델을 생성
- ③ 정적 해석을 통해 모델의 수직방향 신뢰성을 검증
- ④ Cleat impact 해석을 통해 해당 모델의 수직방향 반력 변화 검증

상기의 해석 결과 분석하여 단순화된 타이어 모델의 차량 동역학 적용 가능성을 검토 하였다.

† 자동차부품연구원  
E-mail : spjung@katech.re.kr  
Tel : 061-464-9979, Fax : 061-464-9967

‡ 자동차부품연구원

\* 자동차부품연구원

## 2. 해석 모델 생성

### 2.1 단순화된 타이어 모델

본 연구에서는 기존의 타이어 유한요소 해석 모델로부터 단순화 모델을 생성하였다(Figure 1 참조). 기존 모델의 외형을 그대로 적용하였고, Rebar element<sup>(1)</sup>이용한 벨트 강성모델은 삭제하였다. 단순화된 타이어 모델의 내부에 Membrane element를 생성하여 부족한 강성을 보완하였다.

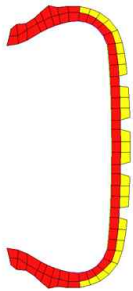


Figure 1 Simplified FE tyre model

- # of nodes : 140
- # of elements : 131

### 2.2 1/4 차시 강체 모델

ABAQUS에서는 Connector element를 제공함으로써 타 다물체 동역학 해석 프로그램에서 제공하는 조인트(Joint) 구속조건을 대신한다. 본 연구에서는 Connector element를 이용하여 Figure 2와 같은 1/4 차시에 대한 강체 모델을 생성했다.

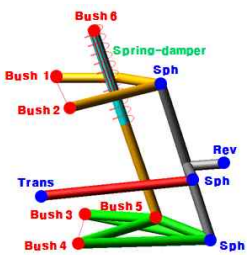


Figure 2 1/4 Rigid chassis model

- 4 rigid bodies
  - Upper arm
  - Low arm
  - Knuckle
  - Tie rod
- 1 spring & damper
- # of nodes : 17
- # of beams : 14

## 3. 해석 결과 검토

### 2.1 정적 수직 하중 해석

타이어 정적 해석을 수행하기 위해 Figure 1의 타이어 2D 모델을 3차원으로 확장시켰다. Figure 3

은 3차원 모델을 이용한 3D Foot print 해석 결과를 보여준다.

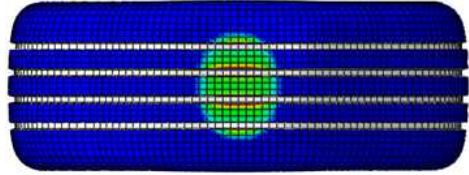


Figure 3 3D Foot print analysis result

Figure 4는 3차원 단순화된 타이어모델을 이용한 정적 수직 하중 해석 결과를 실험데이터와 비교한 결과를 보여준다. 변위에 따른 수직 하중 변화 추이가 해석 모델이 실험결과를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

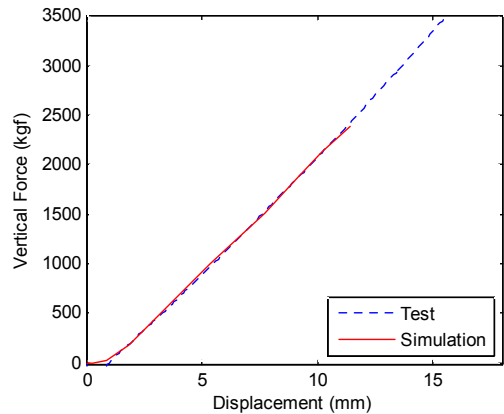


Figure 4 Static vertical stiffness result

### 2.3 Cleat impact 해석

단순화된 타이어 해석모델의 수직방향 동특성 확인을 위해 Figure 5와 같이 노면에 1cm×5cm의 Cleat를 생성하였다.

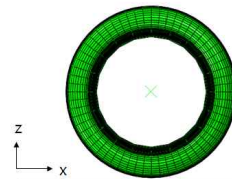


Figure 5 Configuration of tire model and cleat on road

Figure 6와 같이 타이어와 1/4 차시를 결합한 코너 모듈을 생성하였고, 차시를 고정된 상태에서 노면을 -x방향으로 5m/s의 속도로 이동 시켰다. 이때, 타이어-노면간 마찰에 따라 타이어가 회전하도록 설정하였고, 마찰계수는 0.7을 적용하였다.

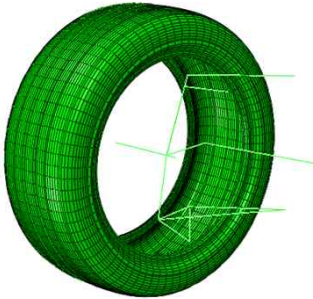


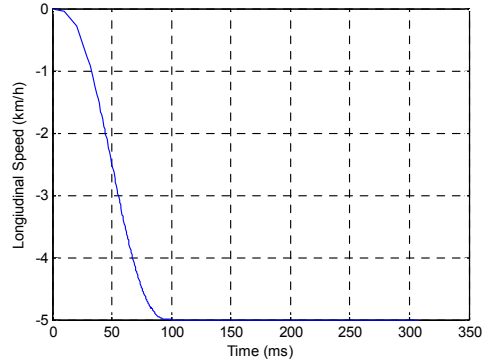
Figure 5 Unified model of tire and 1/4 chassis

Figure 7은 Cleat impact 해석 결과를 보여준다. Figure 7 (a)는 노면의 이동 속도를 보여준다. 타이어 진행 반대방향을  $t=10\text{ms}$  동안 5m/s의 속도로 smooth하게 증가하고 있다. Figure 7 (b)는 타이어의 수직방향 변위를 보여준다. 초기  $t=0\sim 50\text{ms}$  동안 노면 움직임에 따라 타이어 수직방향 변위가 변함없다가, 노면이 일정속도 이상으로 증가하면 타이어 중심이 하강함을 알 수 있다. 이것은 타이어와 노면간 slip에 의해 타이어 트레드부가 변형되면서 나타나는 현상으로 판단된다. 타이어가 Cleat을 지나는 시점인  $t=200\text{ms}$ 에서 타이어 변위가 최대가 되고 있다.

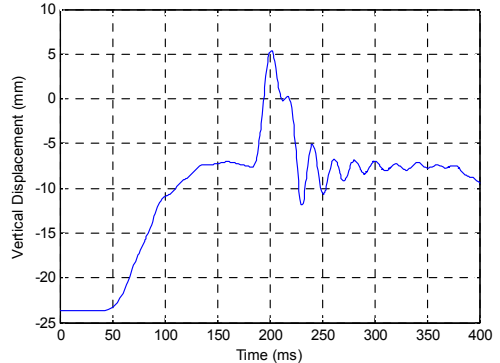
Figure 7 (c), (d)는 타이어에 작용하는 종방향과 수직방향 반력을 보여준다. Figure 7 (c)에서 타이어가 Cleat과 충돌하는 시점인  $t=190\text{ms}$ 에서 종방향힘이 최대가 발행했고, 타이어가 Clear을 지나 노면과 최초로 접촉하는 시점인  $t=227\text{ms}$ 에서 두 번째 피크가 나타나고 있다. 시간이 지날수록 종방향 크기힘은 0으로 수렴하고 있다.

Figure 7 (d)는 타이어에 작용하는 수직방향 반력을 나타내는데, (c)에서와 마찬가지로  $t=190\text{ms}$ 에서 최초 종방향 힘이 발생했고, 노면과 접촉하는  $t=227\text{ms}$ 에서는 초기 Cleat과 접촉할때보다 더 큰 힘이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이것은 고무 재료가 탄성체로 모델되어서 반력에 대한 감쇠가 없었기 때문으로 판단된다. 따라서 추후 연구에서는 기존 재료

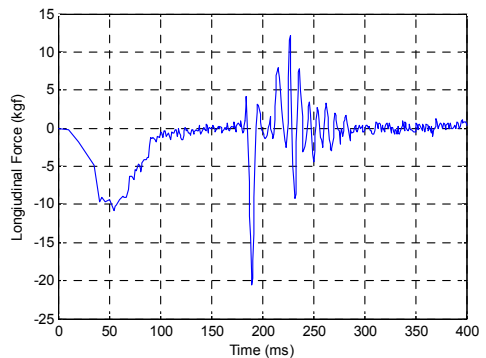
감쇠(Material damping)과 접촉 감쇠(Contact damping)에 대한 적절한 계수값을 찾아내는 것이 필요하다.



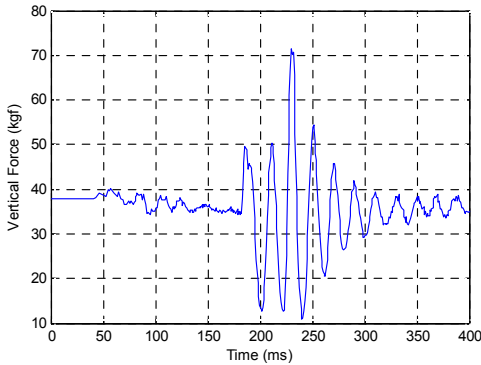
(a) Longitudinal speed



(b) Vertical displacement



(c) Lateral force



(d) Vertical force

Figure 5 Cleat impact simulation results

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 복잡한 구조로 된 타이어 유한 요소 해석 모델을 단순화 시켰고, 해당 모델의 차량동역학에의 적용 가능성을 검토하였다. 단순화된 타이어 모델을 생성하여 수직 방향 강성 비교를 통해 검증하였다. 1/4 샤시 강체 모델과 단순화된 유한요소 타이어 모델을 연성하여 Cleat impact 해석을 수행하였고, 수직방향 움직임이 의도한 대로 구현되고 있음을 확인하였다. 향후 실험데이터와의 검증을 통해 단순화된 타이어 모델의 신뢰성을 검증하고, 다양한 주행 시나리오에서의 차량 동역학 해석을 통해 해당 모델의 활용가능성을 확장시키고자 한다.

#### 후 기

본 연구는 산업통상자원부가 지원하는 부품소재 기술개발사업(과제번호10040818)의 후원으로 진행되었고, 관계자 여러분께 감사드립니다..

#### 참 고 문 헌

- (1) Mike B. and Damian, H., 2004, The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics, Elsevier, UK.
- (2) Hans B. P., 2005, Tyre and Vehicle Dynamics, Elsevier, UK.
- (3) Peter L., Hans P. and Manfred P., 2007, Recent Advances in Tyre Models and Testing Procedures, Vehicle System Dynamics, Vol.43, No.6-7, pp.413-436
- (4) Abaqus Technology Brief, 2011, An Integrated Approach for Transient Rolling of Tires, Simulia.
- (5) Olatunbosun O. A. and Bolarinwa O., 2004, FE Simulation of the Effect of Tire Design Parameters on Lateral Forces and Moments, Tire Science and Technology, Vol.32, No.3, pp.146-163
- (6) Lee H. W., Cho J. R., Jeong W. B., Jeong K. M. and Kim K. W., Predicting Rolling Resistance due to Hysteresis Loss of Tire using Finite Element Analysis, 2011, Proceedings of Spring Conference of KSNVE, pp.742-743.
- (7) Kwak H. G. and Kim J. H., 2009, An Introduction to Computer Aided Engineering of Tire, Auto Journal, Vol.6, pp.47-53.
- (8) Cho J. R., Lee H. W., Shon J. S., Kim G. j. and Woo J. S., 2006, Numerical Investigation of Hydroplaning Characteristics of Three-Dimensional Patterned Tire, Vol.25, pp.914-926.
- (9) Jeon D. H., Choi J. H., Cho J. R. and Kim K. W., 2004, Analysis of Tire Characteristics According to Driving Conditions using Finite Element Method, Proceedings of Spring Conference of KSME, pp.539-544.
- (10) Pascal B., Michael B., Carsten D., Ilja K. and Michael S., 2011, Applications for MBS-FEM Coupling with MpCCI using Automotive Simulation as Example, NAFEMS Seminar.
- (11) ABAQUS User's manual, 2011.