

# 노면에 접촉된 자동차 타이어의 응력 해석

조재웅\*, 한문식#

## Stress Analysis of Automotive Tire at Contact on Road Surface

Jae-Ung Cho\*, Moon-Sik Han#

(Received 20 March 2009; received in revised form 19 May 2009; accepted 27 May 2009)

### ABSTRACT

This study is analyzed by stress contour of automotive tire at contact on road surface. Maximum equivalent stress as 61200Pa is shown on the lower mid part in case of tire contacted on road surface. As the air pressure of tire increases, maximum total deformation as 5mm is shown on the side part of tire. It can be shown that the side part of tire is unstabilized. There is no load effect on tire at its upper and lower directions. When the moment applied on the side of tire is increased 1.4 times as its value, the value of maximum principal stress is increased 1.4 times. The stress at the tire is in proportion to the moment applied on the its side. The tire tends to incline toward its side by this moment.

**Key Words** : Road surface(노면), Equivalent stress(등가응력), Total deformation(전변형량), Principal stress(주응력), Moment(모우멘트), Tire inclination(타이어 쏠림)

### 1. 서 론

차량에 있어 진동의 주요원인으로는 크게 두 가지를 들 수 있는데, 한 가지는 휠과 Tire의 조립체인 차륜에 의한 것이며, 나머지 하나는 노면의 요철에 의한 것이다. 이 때 발생하는 진동의 일부는 Tire 자체에서 흡수하지만 대부분은 현가장치를 통해 차체에 전달된다<sup>[1~4]</sup>. Tire는 검고 둥글며 도로를 주행하는 물체이므로 차축을 중심으로 조용히 회전하는 것이 정상이며, 진동이나 소음을 낸다는 것은 어딘가 이상이 있는 것같이 생각된다. Tire는 확실하게 자동

차에서 보면 하나의 축을 가진 회전체이지만 그 Tire가 사용되고 있는 노면에서 보면 Tire는 결코 회전하는 것이 아니라 Tire의 일부분이 접하고 떨어지는 일이 계속 일어나고 있는 것이다. 즉 Tire와 노면은 연속적으로 충돌하기 때문에 물체가 맞부딪칠 때 Tire는 접촉이 일어난다. 또한 Tire는 검고 둥글며 도로를 주행하는 물체이므로 차축을 중심으로 조용히 회전하고 있어 안정적으로 보이나, Tire는 확실하게 자동차에서 보면 하나의 축을 가진 회전체이다. 따라서 Tire가 돌아가면서 접하여 있는 노면에서 보면, Tire는 결코 회전하는 것이 아니라 Tire의 일부분이 접하고 떨어지는 일이 계속 일어나고 있는 것이다. Tire의 기능으로서는 하중 지지, 노면의 충격흡수, 주행, 정지 및 방향전환기능들이 있다. 하중 지지 기능으로서는 Tire 내부의 공기에 의해서 자동

\* 공주대학교 기계자동차공학부

# 교신저자 : 계명대학교 기계자동차공학부

E-mail : sheffhan@kmu.ac.kr

차 전체 중량을 지지한다. 즉, 공차시는 자동차의 중량만을 지지하고, 화물 적재시는 적재 화물의 중량을 포함한 전체 하중을 받쳐주게 된다. 또한 노면의 충격흡수기능으로서 Tire는 노면의 돌기물 등으로부터 충격을 흡수하여 차량의 승차감을 양호하게 하거나 승객 또는 차량의 화물을 안전하게 보호하는 기능을 유지한다. 그리고 주행, 정지 및 방향전환기능으로서는 차량의 엔진에서 발생하는 구동력은 노면과 직접 접촉하고 있는 Tire라는 부품을 통해 노면과 마찰력을 발생시키거나 Moment가 가해짐으로써 자동차의 주행, 정지 및 방향 전환을 원활히 할 수 있다<sup>15-17</sup>. 본 연구에서는 Tire를 CATIA로 모델링하고, Tire에 작용하는 하중에 대한 응력 해석을 하였다. 또한 그 Tire의 안정성을 ANSYS 해석을 통하여 고찰하였다[8]. 따라서 본 연구에서는 자동차 타이어의 주행 중 안전성 및 내구성을 고찰하여 운전자 및 승객들의 안전을 고려한 타이어의 설계를 하는데 그 목적을 두고 있다.

## 2. 본 론

ANSYS를 이용하여 Tire를 응력 해석하였는데, Fig. 1은 Tire와 조합된 바퀴의 형상이고, Fig. 2는 요소로 나눈 Tire만의 형상이다. Tire의 직경은 223.94mm이고 폭이 80mm이다. 절점수는 5446개이고 요소수는 2616개이다. 다음은 절점수와 요소수를 증가하면서 모델의 해석을 하여 그 최대의 등가 응력을 본 Table 1과 Fig. 3이다. Fig. 3에서도 볼 수 있는 바와 같이 요소수가 61200개를 전후로 하여 해석을 각각 해 본 결과 요소수가 5446개 보다 작은 경우에는 그 응력의 수렴 오차가 커지다가 5446개 가까이에서는 작아짐을 알 수 있었고, 5446개 보다 커질 경우에는 그 수렴 오차가 다시 커짐을 알 수 있었다. 따라서 요소수가 5446개의 경우가 가장 적당한 요소수로서 해석에 있어 타당하다고 사료된다. 그리고 Table 2는 고무 종류인 Tire의 재질이다<sup>18</sup>.

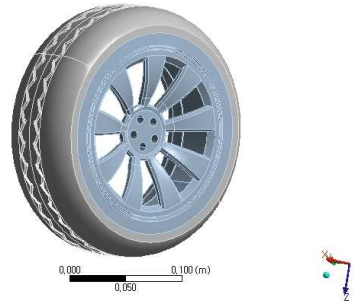


Fig. 1 Configuration of Wheel Assembled with Tire

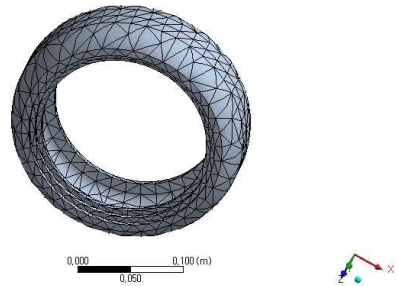


Fig. 2 Mesh Configuration of Tire

Table 1 Change of Equivalent Stress According to Solution Number

No.	Equivalent Stress (MPa)	Change (%)	Nodes	Elements
1	55700	11.02	4748	2257
2	59800	3.47	5085	2430
3	61200	0	5446	2616
4	61900	1.11	5863	2817

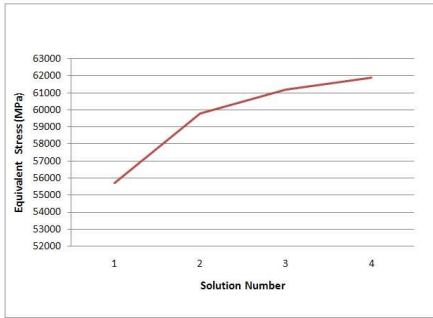


Fig. 3 Maximum Equivalent Stress According to Solution Number

Table 2 Material Property of Tire

Young's Modulus	1100 MPa
Poisson's Ratio	0.42
Density	$9.5 \times 10^{-7}$ Kg/mm <sup>3</sup>
Thermal Expansion	$2.3 \times 10^{-4}$ 1/°C
Tensile Yield Strength	25 MPa
Compressive Yield Strength	0 MPa
Tensile Ultimate Strength	33 MPa

Fig. 4부터 6까지의 구속 조건은 실제로 타이어가 휠과 접촉 되어 있는 부분과 타이어가 받는 하중의 크기를 조건으로 주었으며, 지면과 접촉된 부분에서의 구속 조건을 주었다.

Fig. 4는 Fixed Support 아이콘을 이용하여 Tire가 Wheel과 접촉하는 부분에서 고정한 것을 나타낸 그림이다.

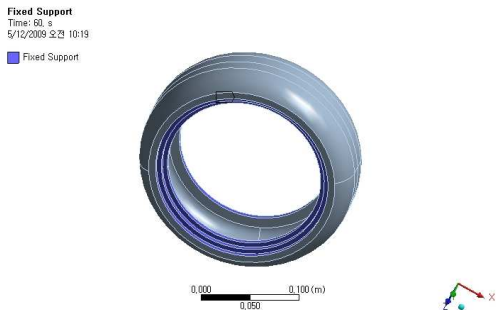


Fig. 4 Fixed Condition of Tire at Contact with Wheel

Fig. 5는 Force 아이콘으로 Tire의 하중을 받는 부분을 표시하며, 100N의 힘을 받고 있고, 화살표는 힘의 방향을 나타내는 그림이다. 타이어 내의 공기압의 크기는 타이어의 종류와 사용 용도에 따라 다르다. 승용차용 타이어의 공기압은 약 22~36psi (152~248kPa) 정도이다. 트럭이나 버스와 같은 대형 차량의 타이어 공기압은 100psi(690kPa) 정도까지 될 수 있다. 최대의 주입 압력은 타이어의 측면에 명시되어 있다. 따라서 적절한 압력을 받게 하기 위하여 본 연구에서는 100N의 힘을 받는다고 가정하였다. 정해진 압력으로 타이어를 맞추고 운행하는 것은 타이어의 조기 마모를 방지할 뿐만 아니라 차량을 적절히 조종하는 데 유용하다.

Fig. 6은 Tire가 노면과 접촉되는 부분을 Displacement 기능을 이용하여 강제적으로 구속시켜 접촉되도록 나타낸 그림이다.

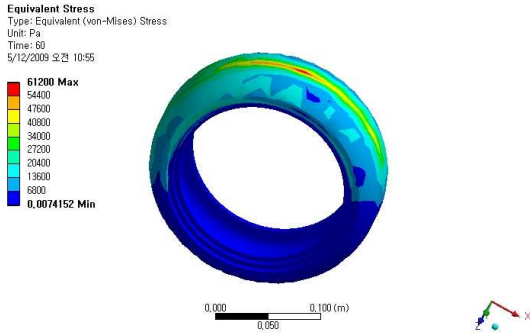


Fig. 5 Applied Load Condition of Tire



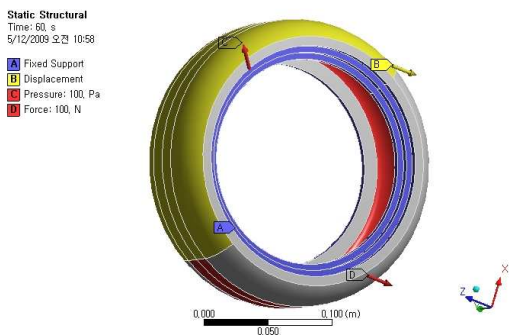
Fig. 6 Fixed Displacement of Tire at Contact with Road Surface

Fig. 7은 Fig. 4,5,6의 조건 하에서의 Tire의 등가 응력 선도를 나타낸다. 지면과 접촉된 Tire는 윗부분의 가운데에서 받는 등가 응력이 최대 61200Pa을 보이고 있다.

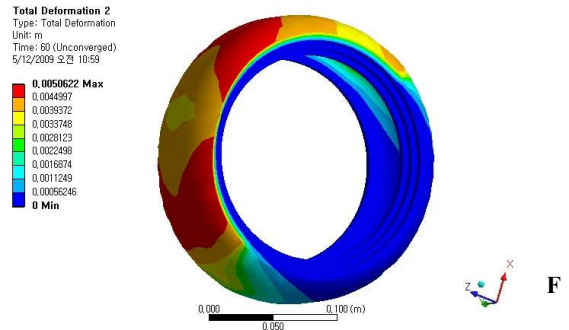


**Fig. 7 Equivalent Stress Contour of Tire at Condition of Fig. 4, 5 and 6**

Tire의 공기압을 100Pa을 추가하여 Fig. 4, 5, 6의 구속조건을 변경하여 Fig. 8과 같이 구속 조건을 주었고 Fig. 9와 같이 전변형량의 선도를 나타내고 있다. Tire의 공기압이 증가할수록 Tire의 측면부에서 최대 5mm의 전변형량을 보이고 있어, Tire의 측면 부분이 불안정됨을 보이고 있다.



**Fig. 8 Constraint Conditions added to Air Pressure of Tire(100Pa)**



**Fig. 9 Total Deformation Contour of Tire at Condition of Fig. 8**

Tire의 측면 쓸림을 보기 위하여 측면에 Moment를 주어 Tire의 변형을 해석하였다.

Fig. 10과 같이 Tire의 상하에서 Force 100N의 힘을 주고, 측면에 70.711N·m의 Moment를 가한다.

Fig. 10과 같은 조건하에서 Fig. 11은 Tire의 전변형량을 보이고 있고, Fig. 12는 주응력 선도를 나타내고 있다. 전변형량은 최대  $3.93 \times 10^{-8}$ m로서 변형이 잘 일어나지 않았으나 최대주응력은 Tire의 가장자리에서  $4.7 \times 10^5$ Pa의 응력을 보이고 있어 Tire의 쓸림을 보이고 있다.

Fig. 13은 Tire의 상하방향에서 동시에 100N의 Force를 주고, Moment를 100N·m로 가할 때의 구속 조건을 보여주는 그림이다.

Fig. 13과 같은 조건하에서 Fig. 14는 Tire의 전변형량을 보이고 있고, Fig. 15는 최대 주응력 선도를 나타내고 있다. 전변형량은 최대  $5.48 \times 10^{-8}$ m로서 변형이 잘 일어나지 않았으나 최대주응력은 Tire의 가장자리에서  $6.53 \times 10^5$ Pa의 응력을 보이고 있어 Tire의 쓸림이 더 두드러지게 나타남을 보이고 있다. Fig. 10의 조건과 비교하여 보면, Tire의 상하방향에서의 하중의 영향은 거의 없고, Fig.13에서와 같이 측면에 가해지는 Moment가 1.4배 정도 증가되었을 때, Tire에서 받는 최대 주응력의 크기는 약 1.4배가량 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 Tire에서 받는 응력은 측면에 가해지는 Moment에 비례됨을 알 수 있어 Tire의 측면 쓸림에 주로 영향을 준다고 사료된다.

Static Structural  
Time: 60, s  
5/12/2009 오후 2:05  
A Fixed Support  
B Force: 100, N  
C Moment: 70,711 N·m

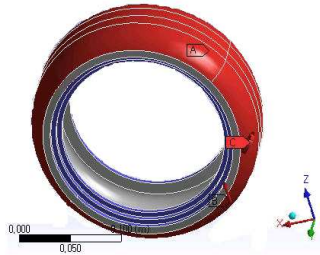


Fig. 10 Constraint Condition of Tire Applied Force (100N) and Moment(70.711N·m)

Static Structural  
Time: 60, s  
5/12/2009 오후 3:22  
A Fixed Support  
B Force: 100, N  
C Moment: 100, N·m  
D Force 2: 100, N

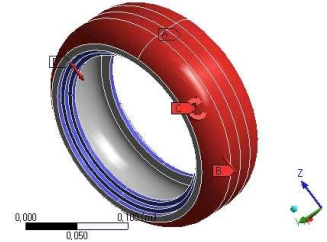


Fig. 13 Constraint Condition of Tire Applied Force (100N) and Moment(100 N·m)

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 60  
5/12/2009 오후 2:50

3.9320e-8 Max  
3.4958e-8  
3.0588e-8  
2.6219e-8  
2.1849e-8  
1.7479e-8  
1.3109e-8  
8.7395e-9  
4.3698e-9  
0 Min

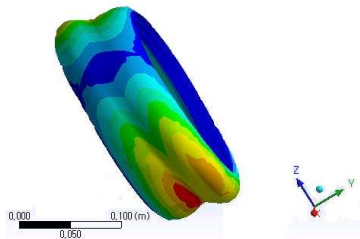


Fig. 11 Total Deformation Contour of Tire at Condition of Fig. 10

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 60  
5/12/2009 오후 3:41

5.4832e-8 Max  
4.974e-8  
4.2647e-8  
3.6555e-8  
3.0462e-8  
2.437e-8  
1.8277e-8  
1.2185e-8  
6.0825e-9  
0 Min

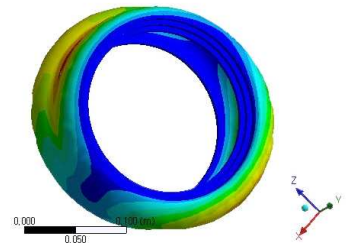


Fig. 14 Total Deformation Contour of Tire at Condition of Fig. 13

Maximum Shear Stress  
Type: Maximum Shear Stress  
Unit: Pa  
Time: 60  
5/12/2009 오후 3:15

4.7303e5 Max  
4.0683e5  
3.4064e5  
2.7444e5  
2.0825e5  
1.4205e5  
76860  
9665.7  
-59529  
-1.2272e5 Min

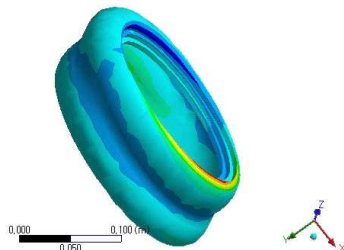


Fig. 12 Principal Stress Contour of Tire at Condition of Fig. 10

Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress  
Unit: Pa  
Time: 60  
5/12/2009 오후 4:05

6.5324e5 Max  
5.6251e5  
4.7178e5  
3.8105e5  
2.9030e5  
1.996e5  
1.0887e5  
18139  
-72590  
-1.6332e5 Min

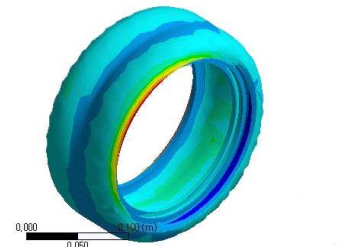


Fig. 15 Principal Stress Contour of Tire at Condition of Fig. 13

### 3. 결 론

본 연구에서 노면에 접촉된 자동차 Tire의 응력 해석을 하여 다음과 같은 해석 결과를 얻었다.

1. 지면과 접촉된 Tire는 윗부분의 가운데에서 받는 등가 응력이 최대 61200Pa을 보이고 있다.
2. Tire의 공기압이 증가할수록 Tire의 측면부에서 최대 5mm 까지의 전변형량을 보이고 있어 Tire의 측면 부분이 불안정됨을 보이고 있다.
3. Tire의 상하방향에서의 하중의 영향은 거의 없고, 측면에 가해지는 Moment가 1.4배 정도 증가되었을 때, Tire에서 받는 최대 주응력의 크기는 약 1.4배 가량 증가됨을 알 수 있었다.
4. Tire에서 받는 응력은 측면에 가해지는 Moment에 비례됨을 알 수 있어 Tire의 측면 풀림을 주로 영향을 준다고 사료된다.
6. 문덕희, 장구길, 이재종, 신보성, 이승우, "새로운 개념의 타이어 제조공정 설계지원을 위한 시뮬레이션 모델," 한국시뮬레이션학회 2000년 춘계 학술대회논문집, pp. 125 ~ 130, 2000.
7. Kim, J. B., Yoo, W. S. and Sim, J. J., "Angular Velocity of Steering Column according to Spider cross angle in the Universal joint," 2000 Autumn Conference Proceeding of KSAE, Vol. 1, pp. 713-718, 2000.
8. Swanson, J., Ansys 11.0, Ansys. Inc., 2008.

### 참고문헌

1. 박재립, 서해성, 양현수, 설상욱, 자동차 공학, 미전 사이언스, pp. 262-264, 2003.
2. Park, H. C. and Shim, H. W., "Car, Tire and Durability of Tire," Journal of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 25, No. 3, pp. 20-24, 2003.
3. Shin, J. Y. and Hwang, Ho. J., "Design of Connection Structure using FEA for Power Steering High-pressure Hose," 2006 Spring Conference Proceeding of KSAE, Vol. II, pp. 1138-1144, 2006.
4. Moon, D. H. and Chang, K. K., "A Simulation Model for Supporting System Design of Tire Manufacturing Cell," Vol. 9, No. 2, pp. 27-38, 2000.
5. Ryu, I. H., Cho, J. H. and Lim, Y. H., "FE Analysis of Clamping Process for Ear-Type Band of CVJ," 2007 Symposium of KSAE, pp. 37-43, 2007.