

〈논 문〉 SAE NO. 98370016

## 유한요소법을 이용한 타이어 코너링특성 예측에 관한 연구

### A Study for the Prediction of a Tire Cornering Characteristics using a Finite Element Method

김 항 우\*, 조 규 종\*\*  
H. W. Kim, K. Z. Cho

#### ABSTRACT

During a straight driving and cornering maneuver by a vehicle various forces and moments are exerted on the tire's footprint. A cornering properties, handling and stability performances of vehicle can be predicted by these forces and moments values. Therefore, on this study, a lateral force and a aligning torque are predicted using a finite element method. Contact area of the tire between bead and wheel are fixed to simplify of a finite element model. Lateral force is exerted on the rigid surface as a real load with Coulum friction after inflate and load vertically. Then, rotate the tire's axle to simulate a free rolling untill taken the equilibrium of a aligning torque. Also, experimental observations are made to test a reliability of a FE analysis conducted in this study. The finite element analysis said that good agreement was obtained with experimental results for these cornering properties, giving confidence within about one percent. So it is recommended that a finite element analysis can be used as a good tool to predicted the tire cornering properties.

주요기술용어 : Tire Cornering Properties, Lateral Force, Aligning Torque, Cornering Force, Cornering Coefficient, Aligning Torque Coefficient

#### 1. 서 론

차량에 이용되는 수많은 부품 가운데 도로면과 직접적인 접촉을 유지하고 있는 유일한 부품으로서 타이어를 들 수 있으며, 타이어의 기본적인

기능으로는 차량하중지지, 제동/구동력을 노면에 전달하며, 차량 진행방향의 유지 및 변경, 노면의 진동에 대한 완충작용을 담당하고 있다. 이러한 기능들은 곧바로 차량 조종안정성능, 제동/구동성능, 진동/승차감 성능 및 차 실내 정숙성 등의 중요한 성능과 밀접한 관련을 맺고 있어 타이어의 성능에 의해 자동차의 성능이 크게 좌우됨을 어느 누구도 부인하지 못한다.<sup>1)~3)</sup>

\* 정회원, 금호타이어 기술연구소 전임연구원

\*\* 정회원, 전남대학교 기계공학과

차량 부품으로서 타이어에 요구되어지는 여러 가지의 성능 가운데 조종안정성능과 진동/승차감 성능처럼 그 특성에서 이음배반적인 관계에 있는 것도 드물며, 환경친화 및 에너지 절약의 관점에서 저소음화, 저연비화 및 경량화등의 요구도 거세치고 있는 실정이다. 이러한 요구조건을 최대한 충족시켜 주면서 신속한 제품개발을 위해서는 제품설계 단계에서 다양한 성능예측도구를 활용하여 최적의 제품성능이 유지 될 수 있도록 설계하는 것이 무엇보다도 중요하게 인지되어 있다. 이러한 성능예측 도구로서는 다양한 응용 소프트웨어, 즉 ABAQUS, ADAMS, MARC 및 SYSNOISE 등을 활용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능예측기법의 적용이 타이어 업계에서는 매우 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이 분야에 많은 비용과 인력을 투자하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 차량 부품으로서 타이어에 요구되어지는 여러 가지 성능중 조종안정성능 특성을 유한요소기법을 통해 예측하여 보았으며, 이러한 예측치와 시험치를 상호 비교 분석함으로써 예측치의 신뢰성을 검토 하였다.

## 2. 연구동향

타이어의 조종안정성능 예측기법으로는 이론적인 계산기법, 해석적인 기법 및 시험적인 방법이 알려져 있으며, 이론적인 기법의 경우 신속한 결과를 얻을수는 있으나 신뢰성이 결여되어 있다. 또한, 시험적인 기법은 결과의 신뢰성은 높으나 과다한 시험비용과 시간소요로 인해 업계의 좋은 반응은 얻지 못하고 있는 실정이다. 마지막으로 해석적인 기법의 경우 짧은 시간과 비용으로 높은 신뢰성을 나타내고 있어 본 연구에서 다루게 되었다. 지금까지의 연구동향을 살펴보면, 이론적인 접근방법으로서 1954년도에 Fiala E.<sup>4)</sup>에 의해 소개된 슬립각을 고려한 솔리드 타이어 모델을 이용하여 횡력과 복원모우멘트를 구하였으며, 1981년도에 리지드 브레커의 탄성을 고려하여 현실에 근접한 이론적 모델링을 Sakai H.<sup>5)</sup>에 의해 행하여 졌다. 시험적인 기법의 경우 시

험실내에서 행할 수 있는 시험기를 이용하여 시간당 3.2km의 저속 회전시 슬립각에 의한 횡력과 복원모우멘트를 얻어내고 있다. 이는 시제품 제조에 따른 경비와 시간소요가 과다하여 다양하고 많은 양의 시험이 불가능하다는 단점을 지니고 있다. 또한, 최근들어 해석적인 기법연구에 많은 연구를 행하고 있으나 특이할 만한 방법은 제시되지 못하고 있는 상황이다. 1992년도에 Murakoshi H., Ide H. 및 Nishihata S.<sup>6)</sup>에 의해 차량직진 주행시 한축으로 쏠리는 차량플 현상을 연구 하였으나 슬립각의 영향은 고려 되지 못하였으며, 1994년도에 Mousseau C.W.와 Clark S.K.(7)에 의해 2차원 타이어 접촉문제를 이용하여 장애물 통과시 타이어축에 걸리는 작용력을 검토 하였으나 슬립각 및 복원모우멘트 파악에 어려움을 나타내고 있다.

## 3. 타이어구조 및 해석특징

### 3.1 타이어 구조

Fig.1에서 전형적인 레이디얼 타이어의 구조를 나타내고 있으며, 대표적인 내부 구성물로서는 타이어 내부압력을 유지 하면서 대부분의 하중을 지지하는 카카스, 타이어 주행시 노면과 접촉을 이루면서 견인력/제동력을 발생시켜주는 트레드, 차량의 승차감을 양호하게 하여 주는 굴곡과 신축부의 사이드월, 카카스층과 트레드층 사이에 배치되어 편평비를 생성 시켜주고 이물질의 내부침투를 방지하는 벨트부와 내부 공기압을 보지하고 펑크 발생시 타이어의 림 이탈방지 목적인 비이드로 구성되어 있다.

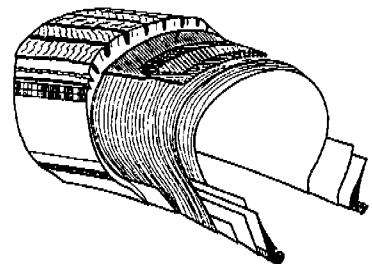


Fig.1 Structure of a Radial Tire

### 3.2 구조해석특징

일상적인 구조물의 대부분은 선형적인 특성을 지니고 있으며, 문제의 단순화를 위해 비선형적인 특성을 선형화 시키는 경우도 많다. 그러나, 타이어의 경우 이용되는 재료들의 비선형특성과 대변형이 이루어 진다는 측면에서 선형적인 문제로 다룰 경우 전혀 예상하지 못하는 결과를 가져 오게 된다. 따라서, 타이어 구조해석의 경우 비선형성의 고려는 필수적인 사항이다. Fig.2에서 나타낸 것처럼 타이어의 구조해석에서 다루어져야 할 비선형특성, 즉 기하학적인 비선형성, 재료의 비선형성 및 경계조건의 비선형성등을 구조해석시 고려해 주어야 한다.

### 3.3 재료특성

#### 3.3.1 고무재료

고무재료의 경우 비선형성 및 비압축성 재료로 널리 알려져 있으며, 일반적으로 타이어에서 발생될 수 있는 변형율의 경우 50% 이내의 범위이며, 이 부분에서의 비선형성을 고려해 주기 위해 Mooney-Rivlin Equation<sup>9)</sup>을 이용하였다.

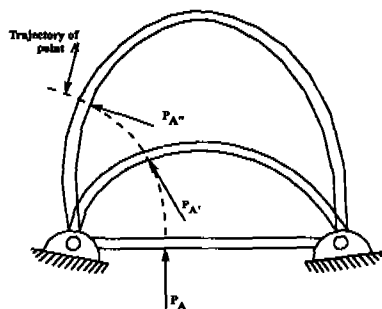
#### 3.3.2 고무-코드 복합체

타이어에 작용되는 대부분의 하중을 지지하고 있는 것이 Fig.3의 코드-고무 복합체이며, 고무에 꼬임코드 들이 일정한 각도를 지니면서 배열되어 있는 Orthotropic Material로 고려 하였으며, 이때의 물성은 Halpin-Tsai Equation<sup>9)</sup>을 이용하였다.

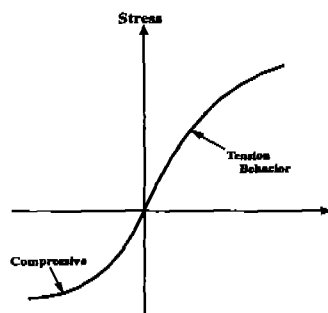
## 4. 자유구름 타이어 유한요소해석

### 4.1 유한요소모델

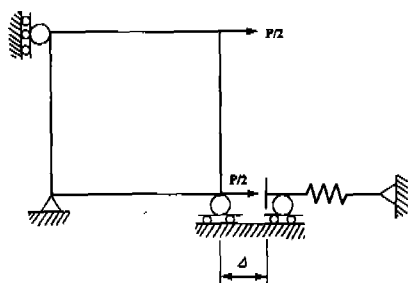
본 연구에서 이용된 타이어로서는 승용차용 레이디얼 타이어 175/70R13 규격 이고, 타이어 표면에 세 개의 직진 홈을 배치 시켰으며, Fig.4에 나타내었다. 또한, 이용된 요소형태는 Isoparametric Linear Solid 요소이며, 2차원 단면상에서 요소수는 122개 이며, 3차원 모델의 경우 원주방향으로 60개의 섹터로 구성 되었다. 이용된 자유도수는 총 26,640개이며, Fig.5에 나타내었다.



Change of Orientation of Hydrostatic Pressure by Large Deformation Generated Geometry Reorientation



Nonsymmetric Behavior of Cord-Rubber Composite Material



Change in Boundary Condition at Displacement  $\Delta$

Fig.2 Geometrical/Material/Boundary Conditions Nonlinearities

### 4.2 재료물성

상기 3.3절에서 언급된 타이어 부재의 재료물성 적용방법을 이용하여 본 연구에서 이용한 물성은 고무부재에 대해 표 1과 코드-고무 복합체

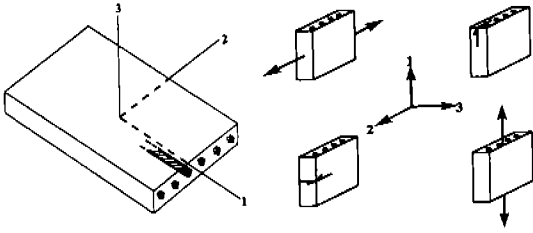


Fig.3 Cord/Rubber Ply Showing Principal Material Axes

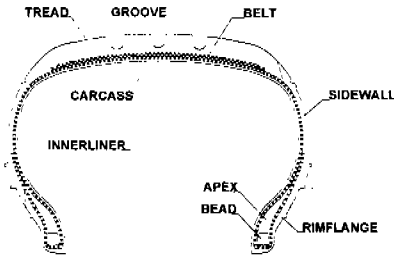


Fig.4 Cross Section of Passenger Car Tire

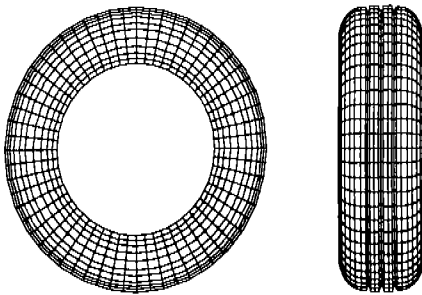


Fig.5 Three Dimensional Mesh for FE Analysis

Table 1 FE Material Properties of Elastomer

Component	E(ksi)	C <sub>10</sub>	C <sub>01</sub>
Tread	564	94	24
Sidewall	420	70	17

Table 2 Equivalent Modulus for Composite Material

Parts	E <sub>i</sub>	E <sub>0</sub> =E <sub>30</sub>	ν <sub>12</sub> =ν <sub>13</sub>	ν <sub>23</sub>	G <sub>12</sub> =G <sub>13</sub>	G <sub>23</sub>
Belt 1	3.85E0	3,770	0.4443	0.49	2,500	2,450
Belt 2	3.85E0	3,770	0.4443	0.49	2,500	2,450
Carcas	4.62E0	2,660	0.4718	0.49	2,200	2,170

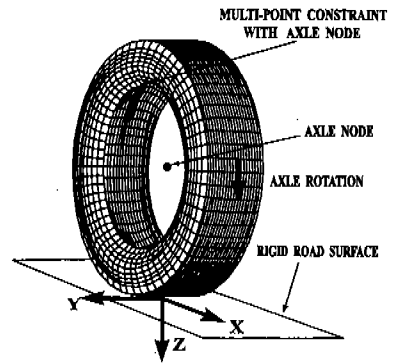


Fig.6 Contact Boundary Conditions for Tire/Road

에 대해 표 2를 적용 하였다.

### 4.3 경계조건

#### 4.3.1 타이어와 림

타이어를 휘일에 취부하고 공기압 주입시 타이어 비이드부를 휘일에 밀착 하여 고정시키게 되는데, 이때 타이어의 비이드부와 휘일부의 접촉이 발생하게 된다. 본 연구에서는 모델의 단순화를 위해 이 부분을 고정시켰다.

#### 4.3.2 타이어와 노면

타이어를 휘일에 장착한 후 공기압 주입 및 수직하중 작용시 노면과 접촉이 발생하게 되며, 노면은 강체로 모델링하고 타이어 표면과 노면은 Coulomb Friction Model을 이용하였으며, Fig. 6에 나타난 바와 같다.

#### 4.3.3 휠과 회전축

타이어 장착후 공기압, 수직하중 및 측력 작용 후 타이어축을 회전 시키게 되는데, 이때 타이어 회전축의 회전각과 타이어 림부의 회전각이 일치 되도록 하기 위해 Rigid Beam을 이용한 다결점 구속조건을 이용 하였다.

#### 4.4 유한요소 해석

##### 4.4.1 비선형해석

본 연구에서는 비선형 유한요소해석의 범용 구조해석 프로그램으로 널리 알려져 있는 ABAQUS<sup>(10), (11), (12)</sup>를 이용 하였으며, Solution 방법으로는 수렴성이 양호한 Modified Newton-Rhapson 방법을 활용하였다. 활용된 컴퓨터로서는 2GFlops의 CPU 성능 및 64Mw의 주기억 용량을 지닌 CRAY 기종을 이용하여 약 20시간 정도의 CPU 시간이 소요 되었다.

##### 4.4.2 해석방법 및 절차

본 자유구름 타이어 해석에서 이용된 Time Step은 4개로 구성 되어 있으며, 첫 번째로 타이어의 휘일 장착후 공기압 주입이 이루어 지며, 둘째로 차량의 하중에 해당되는 수직하중이 작용 되고, 셋째로 축력을 노면에 가하였으며, 이때 노면과 타이어 표면사이에 마찰계수를 적용 하였다. 마지막으로 타이어의 자유구름을 시키기 위해 타이어축 중심 절점에 대해 원주방향으로 각 변위를 부여하여 회전 시켰다. 또한, 각 Step별 Load Increment는 ABAQUS의 기능인 Auto Load Increment 기능을 이용 하였으며, Iteration 횟수는 250여회 정도 실시 되었다.

##### 4.4.3 해석조건

본 연구에서는 175/70R13 타이어에 일정한 공기압과 수직하중을 적용 하고서 축력을 8가지로 변화시키면서 자유구름 상태에 도달하면 슬립 각과 복원모우멘트를 얻었다.

##### 4.4.4 해석결과

본 연구에서 행한 각 Step별 해석결과를 살펴 보면 Fig.7에서와 같이 공기압 주입시 변형상태를 Fig.7(a), 공기압과 수직하중 작용시의 접지면에서 압력분포를 Fig.7(b)에 나타 내었으며, 접지중심점을 기준으로 점대칭(Skew Symmetry)을 보이고 있다. 또한, 공기압, 수직하중 및 축력을 작용한 결과 접지압분포는 Fig.7(c)에서와 같이 타이어의 한측 솔더부로부터 치우치면서 원주 전후방향으로 거의 대칭으로 나타난다. 마지막으로 공기압, 수직하중, 축력 및 Axle Rotation을 시켜 자유구름 상태에 도달 할 때 접지압력 분포를 Fig.7(d)에 나타내었고, 타이어 진행

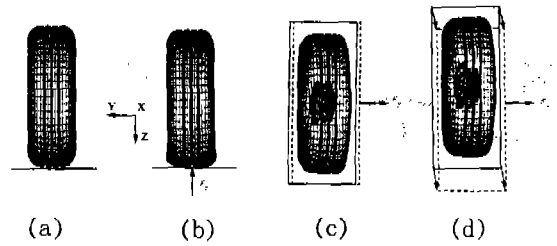


Fig.7 Loading Sequence

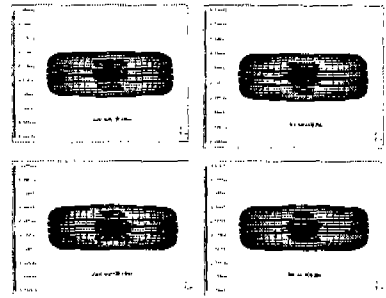


Fig.8 Contact Pressure Distribution with Lateral Force,  $\pm 1,201.0N$

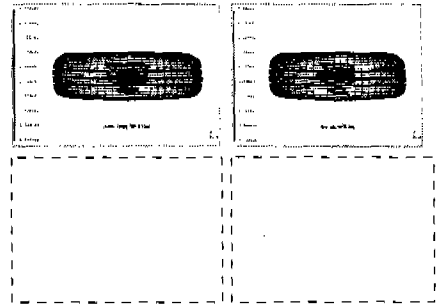


Fig.9 Contact Pressure Distribution with Lateral Force,  $\pm 2,224N$

방향으로 쏠리는 경향이 나타나고 있으며, 점착 영역과 미끄럼영역으로 구분이 됨을 알 수 있었다. 또한, Fig.8에서 Fig.11은 축력의 작용방향에 따라 축력 및 Axle Rotation 적용시의 접지압력 분포를 나타내고 있다. 이렇게 하여 얻어진 슬립각도와 복원모우멘트의 결과를 종합정리 하여 보면 표 3과 같다.

##### 4.4.5 횡강성

공기압과 수직하중을 받고 있는 타이어에 있어

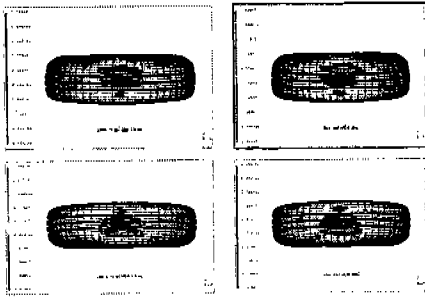


Fig.10 Contact Pressure Distribution with Lateral Force,  $\pm 3,558.6\text{N}$

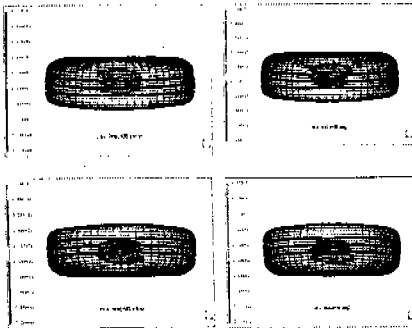


Fig.11 Contact Pressure Distribution with Lateral Force,  $\pm 4,225.4\text{N}$

Table 3 Results of FE Analysis

Lateral Force (N)	Slip Angle (deg)	Aligning Torque (N-m)
-4,225.6	-5.65	40.66
-3,558.4	-3.73	60.54
-2,224.0	-1.78	55.60
-1,201.0	-0.80	36.40
1,201.0	1.08	-34.80
2,224.0	2.01	-56.90
3,558.4	3.90	-65.90
4,225.6	5.77	-49.80

서 횡력을 적용 시킬 때 횡력에 대한 강체의 측 방향 변위 거동을 파악해 보면 Fig.12와 같이 나타나며, 여기에서 얻어진 횡강성 결과를 표 4에 나타 내었다.

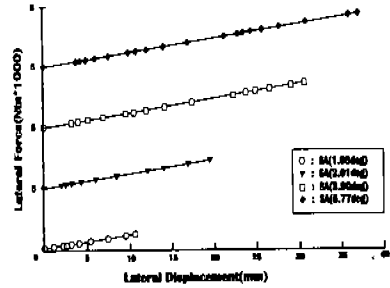


Fig.12 Lateral Force vs Lateral Displacement

Table 4 Lateral Stiffness Results

Lateral Force (N)	Slip Angle (deg)	Lateral Spring Rate(N/mm)
$\pm 1,201.0$	1.08/-0.80	113.30
$\pm 2,224.0$	2.01/-1.78	114.68
$\pm 3,558.4$	3.90/-3.73	115.88
$\pm 4,225.6$	5.77/-5.65	114.10

상기 표 4에서 Lateral Spring Rate치를 검토해 보면 Slip Angle이  $\pm 4^\circ$  근처까지는 계속 커지며, 그 이상에서는 감소하게 된다.

4.4.6 Tractive Stiffness(TS)

공기압, 수직하중 및 축력을 받고있는 타이어의 회전축에 회전 각변위를 부여하면, 초기에 Tractive Force(TF)가 많이 걸리게 나타나다가 점차 축회전이 진행 되면서 TF가 감소하게 되어 1Radian(56.3deg) 정도 회전하게 되면 TF가 거의 '0'에 가깝게 된다. 따라서, 1Radian 이상의 회전상태에서는 일정한 슬립각을 지니면서 자유구름 상태가 된다. 축력변화에 따른 Tractive Stiffness의 감소율을 표 5에 나타내었으며, 축력이 클수록 Tractive Stiffness의 감소율은 크게 나타나며, Fig.13에 그래프로 나타내었다.

4.4.7 Cornering Stiffness & Coefficients

본 유한요소해석에서 얻어진 슬립각과 축력과 의 관계에서 Cornering Stiffness( $C_\alpha$ )는 슬립각( $\alpha$ )가 '0'에서의 슬립각 변화에 대한 축력( $F_x$ ) 변화 기울기를 나타내고 있으며, 여기에 작용되는 수직하중( $F_z$ )을 고려 해주면 타이어 고유 조종

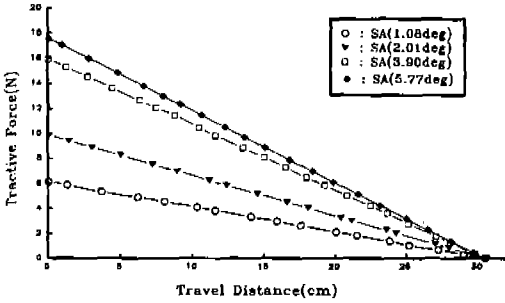


Fig. 13 Tractive Force vs Travel Distance

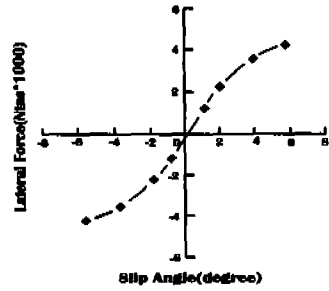


Fig. 14 Slip Angle vs Lateral Force by FEM

Table 5 Decrease rate of Tractive Stiffness

Lateral Force (N)	Slip Angle (deg)	Decrease rate of TS(N/mm)
+1201.0/-1201.0	+1.08/-0.80	0.0200/0.01986
+2224.0/-2224.0	+2.01/-1.78	0.03217/0.03194
+3558.4/-3558.4	+3.90/-3.73	0.05214/0.05139
+4225.6/-4225.6	+5.77/-5.65	0.05762/0.05723

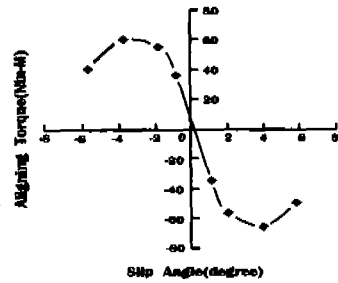


Fig. 15 Slip Angle vs Aligning Torque by FEM

안정 특성인 코너링계수 ( $CC_{\alpha}$ )가 식(1)과 식(2)와 같이 된다.

$$C_{\alpha} = \left. \frac{\partial F_y}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0} \quad (1)$$

$$CC_{\alpha} = \frac{C_{\alpha}}{F_z} \quad (2)$$

Fig.14의 그래프를 검토해보면 슬립각  $\pm 1^{\circ}$  영역에서는 선형적인 특성을 보이게 되며, 그 이상의 슬립각에서는 증가율이 저하 된다.

#### 4.4.8 Aligning Torque Stiffness & Coefficients

해석결과 얻어진 슬립각과 복원모우멘트와의 관계에서 Aligning Torque Stiffness( $C_z$ )는 슬립각 '0'에서의 슬립각( $\alpha$ ) 변화에 따른 복원모우멘트( $M_z$ ) 변화의 기울기를 나타내고 있으며, 여기에 작용되는 수직하중( $F_z$ )을 고려해 보면 타이어 고유 안정성능 특성인 Aligning Torque Coefficient( $CC_z$ )를 식(3)과 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_z = \left. \frac{\partial M_z}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0} \quad (3)$$

$$CC_z = \frac{C_z}{F_z} \quad (4)$$

Fig.15의 그래프에서 알수 있듯이 Slip Angle 이 '0'인 지점에서 복원모우멘트 값이 '0'이 아닌 값을 지니게 되는데 이 값이 Residual Aligning Troque로서 차량의 슐림(Conicity)을 발생하게 해준다.

### 5. 시험장치 및 시험

본 연구에서 행한 유한요소 해석결과에 대한 신뢰도를 검토 하고자 시험을 실시하게 되었다.

#### 5.1 시험장치

타이어 업계에서 저속회전시의 타이어에 발생 되는 힘과 모우멘트 결과를 얻고자 주로 이용되

는 시험기로서 Canada 소재 Uniroyal 회사로부터 도입된 시험기를 이용 하였으며, Fig.16과 Fig.17에 나타내었다. Fig.17에서 알수 있듯이 시험타이어에 정규 공기압과 수직하중을 작용 시킨후 노면특성을 지닌 컨베이어 벨트를 원하는 슬립각도 만큼 타이어 수직축에 대해 회전 이동 시킨후 컨베이어 벨트를 시속 3.2Km(초당 0.89m)로 모터 힘에 의해 구동시키게 되면 타이어 회전축에 축력과 회전 모우먼트 등을 얻을수가 있다. 시험기를 통한 힘과 모우먼트의 발생 Mechanism은 Fig.18에 나타내었다.

5.2 시험방법

시험기를 이용한 시험방법은 다음의 절차를 이용하여 행 하여졌다.

- 절차1 : 타이어를 정규시험립에 장착한후 기준 공기압을 주입한다.
- 절차2 : 준비된 림장착 타이어를 시험기의 하중축에 장착한다.

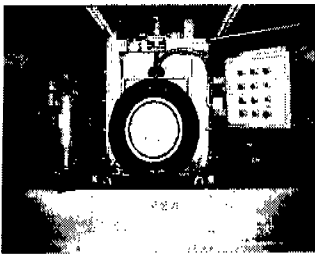


Fig.16 Experimental set-up for Tire Force & Moment Test

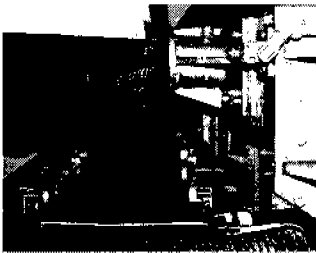


Fig.17 Enlarged Contact Part between Test Tire and Conveyor Flat Bed

- 절차3 : 장착된 시험타이어에 하중장치를 이용하여 기준 수직하중을 가한다.
- 절차4 : 컨베이어벨트로 구성된 노면을 타이어 진행방향에 대해 수직하중축 중심으로 슬립각  $\pm 6^\circ$  이내에서 조정한다.
- 절차5 : 조종된 컨베이어벨트를 기준속도(3.2km/H)로 회전 구동 시킨다.
- 절차6 : 타이어의 고유 코너링특성을 파악하고자 다양한 슬립각에 대해 30분 정도 회전 시킨후 힘과 모우먼트 값을 얻어낸다.

5.3 시험조건

본 시험 실시조건은 유한요소해석에서 적용한 조건과 동일하게 하였으며, 표 6과 같다.

5.4 시험내용

5.4.1 횡력(Lateral Force)

차량 주행시 타이어에 발생하는 횡력 또는 축

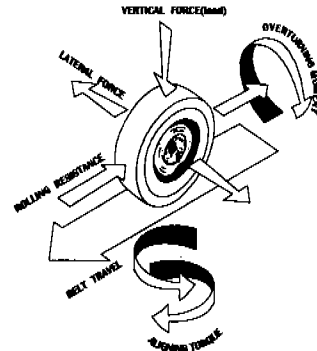


Fig.18 Schematic for Tire Force and Moment

Table 6 Test Conditions for Force & Moments

Items	Conditons
Tire Size	Passenger Car Radial Tire, 175/70R13
Air Pressure	38psi
Track Speed	3.2km/H, 0.89m/sec
Vertical Load	5,050.0N(515kgf)
Slip Angle	$\pm 1^\circ, \pm 2^\circ, \pm 4^\circ, \pm 6^\circ$



력을 타이어 자체의 비균일성 또는 방향선회시 슬립각에 의해 차축으로 힘이 전달되게 되는데, 이때 발생하는 차축방향의 힘을 타이어 진행방향의 후방으로 약간 이동하여 발생하게 되며, 이를 횡력 또는 측력이라 한다.

5.4.2 복원모우멘트(Aligning Torque)

차량 주행시 차량이 주행방향에 대해 한측으로 쏠리는 현상은 타이어 자체의 비균일성 또는 방향 선회시 나타나게 되는데, 이때 차축에 전달되는 횡력이 타이어 수직축에 대해 약간 진행방향의 후방으로 간격을 두고서 발생하게 되며, 이러한 측력은 타이어 수직축에 대한 회전모우멘트로 이어지게 되는데, 이를 복원모우멘트라 한다.

5.4.3 코너링계수(Cornering Coefficients)

타이어 코너링 특성치 중의 하나로서 조종성능을 나타내는 수치로 클수록 보다 좋은 조종성능을 지닌다고 본다. 이러한 수치는 슬립각이 '0' 일 때 슬립각 변화에 대한 측력변화의 기울기에 수직하중을 고려한 값이다.

5.4.4 복원모우멘트계수(Aligning Troque Coeff.)

타이어 코너링특성치 중의 하나인 안정성능을 나타내어 주는 값으로서 큰값을 나타 낼수록 보다 안정된 코너링 주행을 하게 된다. 이는 슬립각이 '0' 일때 슬립각변화에 대한 복원모우멘트 변화의 기울기에 수직하중을 고려한 값이다.

5.5 시험결과

본 시험기를 이용한 타이어의 힘과 모우멘트 시험결과 표 7에 나타낸 바와 같다. 또한, 이를 그래프로 나타낸 것이 Fig.19와 Fig.20에 주어졌다.

또한, Cornering Stiffness 값은 식(1)을 이용하면,

$$C_a = \left. \frac{\partial F_z}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0} = 1,262.8 N/deg \quad (5)$$

그리고, 코너링 계수값은 식(2)를 이용하여 식(6)와 같이 얻어진다.

Table 7 Test Results for Tire Force & Moment

Slip Angle (deg)	Lateral Force (N)	Aligning Torque (N-m)
-6	-4,336.7	40.58
-4	-3,774.0	62.38
-2	-2,475.0	59.67
-1	-1,496.9	42.90
1	1,028.7	-33.42
2	2,039.9	-57.55
4	3,483.2	-71.26
6	4,156.6	-59.52

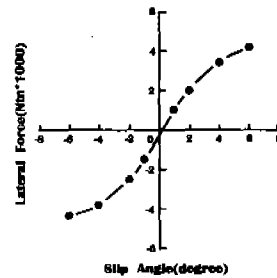


Fig. 19 Slip Angle vs Lateral Force by Test

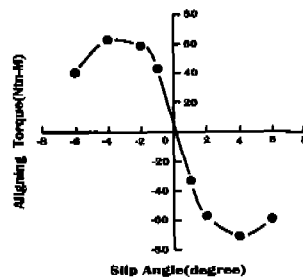


Fig.20 Slip Angle vs Aligning Torque by Test

$$CC_a = \frac{C_a}{F_z} = 0.25 N/N/deg \quad (6)$$

복원모우멘트계수를 구하기 위해 식(3)과 식(4)를 이용하면 다음과 같다.

$$C_z = \left. \frac{\partial M_z}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0} = 38.16 \text{ N-m/deg} \quad (7)$$

$$CC_z = \frac{C_z}{F_z} = 7.556 \text{ mm/deg} \quad (8)$$

6. 결과 및 고찰

여기에서는 본 연구에서 행한 해석치와 시험치를 상호 비교분석 함으로서 해석치의 신뢰도를 검토하였다.

6.1 횡 력

Fig.21에서와 같이 Slip Angle과 횡력과의 관계를 나타내는 그래프에 대해 해석치와 시험치를 상호 비교분석해 보면 거의 유사한 경향을 나타낼 수 있었다. Slip Angle이 ±1° 영역에서 가장 큰 기울기, 즉 Cornering Stiffness  $C_a$  값을 지니고 있으며, ±1° 이상에서는  $C_a$  값이 저하되는 경향을 보이고 있다. 또한, Slip Angle '0'에서 축력은 시험치와 해석치 공히 '0'이 아닌 약간 이격되어 있는 것은 타이어 고유특성을 나타내고 있다.

6.2 복원모우멘트

Fig.22에서와 같이 Slip Angle 변화에 따른 복원모우멘트 결과를 나타낸 그래프에서 시험치와 해석치가 거의 유사한 경향과 값을 나타내고 있다. Slip Angle이 ±1° 영역에서 가장 큰 기울기

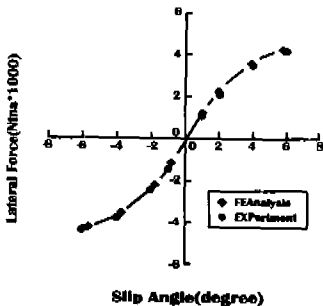


Fig.21 Slip Angle vs Lateral Force Compare of FEAnalysis and EXPeriment

기, 즉 Aligning Torque Stiffness  $C_z$  값이 얻어지고, ±4° 근처에서  $C_z$  값은 '0'에 가깝게 된다. 또한, 슬립각과 횡력의 관계에서와 같이 여기에서는 슬립각이 '0'인 부위에서 복원모우멘트가 '0'지점에서 이격된 상태를 보이고 있어, 타이어 자체의 고유특성을 보이고 있다. 특히, 슬립각도 '0'에서의 복원모우멘트 값을 Residual Aligning Torque라 하며, 타이어의 진행방향에 대해 한측으로 쏠리는 현상을 유발시키게 된다.

6.3 코너링계수

본 연구에서 얻고자 하는 결과중의 하나로서 타이어의 고유 조종성능특성을 나타내어 주는 코너링계수는 식(1)과 식(2)로부터 계산 할 수 있으며, 해석치와 시험치를 상호 비교한 것을 표 8에 나타내었으며, 매우 유사한 값을 지니고 있음을 알 수 있었다.

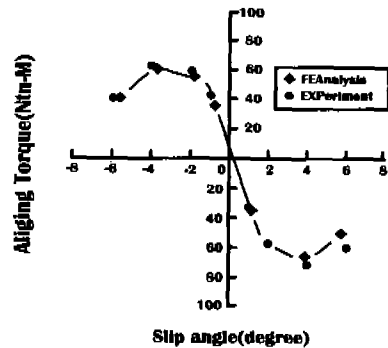


Fig.22 Slip Angle vs Aligning Torque Compare of FEAnalysis and EXPeriment

Table 8 Cornering Coefficients

	FE Analysis	Experimental
Cornering Stiffness (N/deg)	1,277.66	1,262.80
Cornering Coefficients (N/N/deg)	0.2530	0.2500
Index (%)	101.2	100

Table 9 Aligning Torque Coefficients

	FE Analysis	Experimental
Aligning Torque Stiffness (N-m/deg)	37.87	38.16
Aligning Torque Coefficients (mm/deg)	7.4990	7.5560
Index (%)	99.25	100

6.4 복원모우멘트계수

타이어 코너링특성 중의 하나인 안정성능을 결정시켜주는 값이 복원모우멘트 계수이며, 식(3)과 식(4)로부터 표 9와 같이 얻어 낼수 있다. 시험치와 해석치를 상호 비교한 결과 매우 흡사한 값을 나타내고 있다.

7. 맺음말

본 연구에서는 차량직진 주행 및 방향선회시 차량의 코너링특성이 타이어에 지배적이라고 인식하고서, 타이어 자체의 코너링특성을 조종안정성능 측면에서 유한요소해석기법을 통해 접근 하였으며, 시험을 통한 결과치와 상호비교 검토함으로써 해석치의 신뢰도를 검토 하였다. 따라서, 얻어진 결론은 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- 1) 타이어 시제품을 이용하여 시험기에서의 타이어 코너링특성 결과를 얻는데는 많은 비용과 시간을 요구하고 있어 신뢰도가 높 으면서 비용도 저렴한 방법의 모색이 필요 하였다.
- 2) 따라서, 요즘 매우 급속도로 제품설계 및 평가에 이용되어지고 있는 유한요소기법을 적용함으로써 상기의 시험적인 문제점을 해소 할 수 있을 것으로 사료되었다.
- 3) 유한요소해석기법을 이용한 타이어 코너링 특성치 해석결과값은 시험치와 비교해 손 색이 없을 정도로 신뢰도가 높게 나타나

향후 제품개발에 그 활용성이 기대 되어 진다.

- 4) 향후, 본 연구결과를 토대로 ADAMS를 이용한 차량의 동력학적 거동연구에 매우 유용한 자료로 활용되어질 것으로 믿어 의 심치 않는다.

참 고 문 헌

1. Wong J.Y., "Theory of Ground Vehicles," A Wiley-Inter Science Publication John Wiley & Sons, 1978, pp. 3~54.
2. Sakai H., "Study on Cornering Properties of Tire and Vehicle", Tire Science and Technology, TSTCA, Vol.18, No.3, 1990, pp.136~169.
3. Antoun R.J., Hackert P.B., Olealy M.C., "Vehicle Dynamics Handling Computer Simulation-Model Development, Correlation, and Application Using ADAMS," SAE 860574, 1986, pp. 1~10.
4. Fiala E., "Seitenkrafte am Rollenden Luftreifen", Z. VDI, Vol.96, No.29, Oct. 1954.
5. Sakai H., "Theoretical and Experimental Studies on the Dynamic Properties of Tyres, Part 2 : Experimental Investigation of Rubber Friction and Deformation of a tyre", International Journal of Vehicle Design, Vol.2, No.2, 1981.
6. Murakoshi H., Ide H., Nishihata S., "An Approach to Vehicle Pull Using a Tire Finite Element Model", Tire Science and Technology, TSTCA, Vol.20, No.4, Oct.~ Dec., 1992, pp. 212~229.
7. Mousseau C.W. and Clark S.K., "An Analytical and Experimental Study of a Tire Rolling Over a Stepped at Low Velocity", Tire Science and Technology, TSTCA, Vol.22, No.3, July~September, 1994, pp. 160~181.

8. MARC General Purpose Finite Element Program, Volume A, User Information Manual, MARC Analysis Research Cooperation, 260 Sheridan Avenue, Palo Alto, California 94306 USA, Rev. K6.1, pp. 6-23~6-27, 1995.
9. Halpin J.C. and Kardos J.L., "The Halpin-Tsai Equations : A Review", Polymer Engineering and Science, Vol. 16, No. 5, pp. 344~352, 1976.
10. ABAQUS Theory Manual, Version 5.5, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., 1995.
11. ABAQUS/Standard User's Manual Volume I, Version 5.5, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., 1995.
12. ABAQUS/Standard User's Manual Volume II, Version 5.5, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., 1995.