

# FEM을 이용한 타이어의 벨트각도에 따른 PRAT 및 코너링 특성 연구

성기득#, 김성래\*, 김기현\*, 김선주\*, 조춘택\*

## A Study on Characteristics of PRAT and Cornering due to the Belt Angle of Tire by the FEM

Ki Deug Sung#, Seong Rae Kim\*, Ki Hyun Kim\*, Sun Joo Kim\*, Choon Tack Cho\*

### ABSTRACT

The influence of tire belt angle on the Plysteer Residual Aligning Torque(PRAT) and the cornering stiffness by the FEM has been studied. The PRAT is a performance factor of the tire about vehicle pull, and the cornering stiffness has relation to vehicle steering response of outdoor test.

To validate FE model for analysis, simulation data for both the static stiffness(vertical, lateral) and the PRAT have been compared with the experimental data.

In addition to the characteristics of the PRAT and the cornering stiffness due to the tire belt angle, rolling and cornering contact characteristics have been studied. The tendency of the PRAT and the cornering stiffness due to the belt angle can be used as a guide line for the tire design in relation to vehicle pull and vehicle steering response.

**Key Words :** Vehicle Pull(차량 끌림), Belt Angle(벨트각도), Vertical Stiffness(종강성), Lateral Stiffness(횡강성), Slip Angle(슬립각도), Lateral Force(횡력), Aligning Torque(복원 토크), PRAT(Plysteer Residual Aligning Torque, 플라이스티어 잔류 복원 토크), F&M Test(Force and Moment 시험), Cornering Stiffness(코너링 강성)

### 기호설명

- $K_V$  = Vertical Stiffness
- $K_L$  = Lateral Stiffness
- $\alpha$  = Slip Angle
- $C_\alpha$  = Cornering Stiffness

### 1. 서론

타이어는 차량의 하중을 지지하는 기본적인 역할 뿐만 아니라, 운전자의 안전을 보장해야 하는 중요한 역할을 담당하고 있다. 또한, 차량의 성능 향상과 더불어 소비자의 요구가 까다로워짐에 따라

접수일: 2005년 6월 29일; 게재승인일: 2006년 1월 13일  
 # 교신저자: 넥센타이어(주) 기술연구소 특성연구팀  
 E-mail kdsung36@nexentire.co.kr Tel. (055) 370-5210  
 \* 넥센타이어(주) 기술연구소

타이어에 요구되는 여러가지 특성 또한 점차 늘어나고 있다.

타이어에 요구되는 특성들은 기본적으로 차량 하중을 지지하는 능력과 더불어 차량의 동적인 성능과 연관된 구동 및 제동성, 직진성, 조종안정성, 승차감 등이 있다. 또한, 저소음화, 경량화, 저연비화 등의 요구도 증가되고 있는 실정이다.

이러한 여러가지 특성들 중에서 최근들어 도로 조건의 개선과 차량성능의 향상으로 차량의 직진성을 위한 차량 쏠림(Vehicle Pull) 현상에 대한 연구가 많이 이루어지고 있고, 원활한 코너링을 위한 타이어의 코너링 파워(Cornering Power) 개선에 대한 연구가 점차 늘어나고 있다. 이로 인하여 국내외 많은 타이어 회사에서 이에 대한 연구<sup>1-9</sup>에 많은 시간과 투자를 아끼지 않고 있다.

차량의 쏠림과 관련된 타이어의 특성인자로서 PRAT(Plysteer Residual Aligning Torque)와 PRCF(Plysteer Residual Cornering Force)가 있으며, 이들의 값을 제어함으로써 차량의 쏠림을 제어할 수 있다. 이 값들을 제어하기 위한 타이어의 설계인자로서 벨트각도(Belt Angle)와 패턴형상이 연구대상으로 사용되고 있다. 이것은 설계인자만 고려하였을 때 쏠림에 영향을 미치는 타이어 구조의 비대칭 부분이 벨트각도와 패턴형상이기 때문이다. 원활한 코너링을 위한 타이어의 특성인자로는 F&M(Force & Moment) 데이터를 이용하여 간단히 평가할 수 있는 코너링 강성(Cornering Stiffness)이 있다. 일반적으로 코너링 강성이 크면 실차의 코너링 시 응답성이 좋은 것으로 알려져 있다.<sup>5,6</sup>

이와 관련된 연구로서, Oh<sup>1</sup>등은 PRAT와 차량쏠림(Vehicle Pull)과의 관계를 설명하였고, Kazuyuki<sup>2</sup> 등은 F&M를 이용한 코너링 시뮬레이션에 있어서 본 해석에 사용된 정상상태 롤링 해석(Steady State Rolling Analysis)의 타당성을 검증하였다. Ohishi<sup>3</sup> 등은 쏠림 인자인 PRCF(Plysteer Residual Cornering Force)를 이용하여 패턴형상에 따른 FEM 해석을 시험결과와 비교하였다. 이때, 패턴 횡그루브의 각도에 대한 PRCF 경향이 시험과 잘 일치하였으나, 그 비교값의 차이는 너무 크게 나타났었다. Olatunbosun<sup>4</sup> 등은 벨트각도와 종강성(Vertical Stiffness), 벨트각도와 코너링 강성(Cornering Stiffness)과의 관계를 연구하였다. 그러나, 코너링 강성에 더 영향이 있다고 생각되어지는 횡강성(Lateral Stiffness)과 코너링 강성(Cornering Stiffness)

과의 관계는 파악되지 않았다. 이외에도 FEM을 이용한 PRAT 및 코너링 시뮬레이션 방법론 및 차량 쏠림에 관련된 연구로서, 다수의 논문들<sup>6-8</sup>이 있다. 기존 논문을 통해서 볼 때, 해석방법은 대체로 동적(Dynamic, Explicit) 해석방법보다는 정상상태 롤링 해석 방법을 사용한다. 이는 해의 정확도에 비해 동적 해석이 너무나 큰 시간 비용이 들기 때문이다.<sup>2</sup> 그리고, 정상상태 롤링 해석방법을 통한 F&M 시뮬레이션의 방법론도 각 회사에 사용되는 시험기기에 따라서 시험 조건이 달라 해석의 조건 및 방법도 약간씩은 다르게 사용된다. 이에 본 연구에서도 해석시간과 해의 정확성을 고려하여 정상상태 롤링 해석기법을 사용하였다.

본 논문은 벨트각도와 관련된 연구로서, 패턴형상이 중 그루브만 존재하는 타이어에 대하여, 벨트각도에 따른 차량의 쏠림 현상과 관련되어 있는 PRAT 특성과 실차의 조종응답성과 관련된 코너링 특성에 대한 연구이다. 벨트각도에 대한 체계적인 연구 수행을 위하여, 종강성, 횡강성 등의 정특성도 함께 파악하여 동특성과의 관계를 살펴보았다.

연구수행 절차는 다음과 같다.

- (1) 벨트각도에 따른 종강성, 횡강성 특성 파악
- (2) 롤링 접지 특성 파악
- (3) 벨트각도에 따른 PRAT 특성 파악
- (4) 코너링 시 접지 특성 파악
- (5) 벨트각도에 따른 코너링 특성 파악

본 해석모델의 검증을 위해서 종강성, 횡강성, PRAT 값을 시험과 비교하였다.

본 논문에서 사용된 모든 좌표계는 Fig.1과 같은 SAE 좌표계(SAE Coordinate System)를 기준으로 하였다.

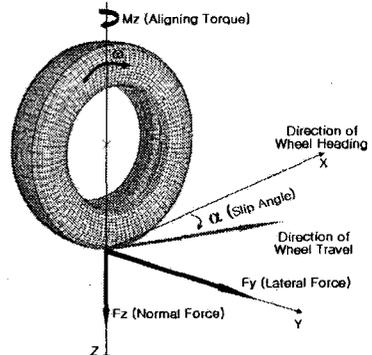


Fig. 1 SAE coordinate system

## 2. 관련 이론

### 2.1 PRAT(Plysteer Residual Aligning Torque)

PRAT는 차량 쏠림과 관련되어 있는 타이어의 특성 인자로서 일반적으로 “-” 부호인 경우 차량이 왼쪽으로 가려는 경향을, “+” 부호인 경우 차량이 오른쪽으로 가려는 경향을 보인다. 그러나, 모든 차량에 대해서 일률적이지 않고, 차량과 타이어에 따라서 그 특성이 달리 나타난다.<sup>1,8</sup>

일반적으로 타이어에 작용하는 횡력(Lateral Force)과 복원토크(Aligning Torque)는 작은 슬립각도(Slip Angle)에서는 그 경향이 선형으로 나타난다. 이때, PRAT는 횡력과 복원토크의 관계에 의해서 횡력이 0일 때의 복원토크값으로 표현되고 이를 잔류복원토크(RAT, Residual Aligning Torque)라 부른다. 그리고, 타이어는 슬립각도가 0도인 경우에도 횡력이 발생하는 데 정방향과 역방향 시 발생하는 방향이 다르게 나타나고 이 횡력을 플라이스티어 힘(Plysteer Force)이라 부른다. Fig. 2는 F&M 시험을 통한 전형적인 F&M 선도를 나타낸 것이고, 이 그래프를 이용하여 PRAT 값을 식(1)과 같이 구할 수 있다.

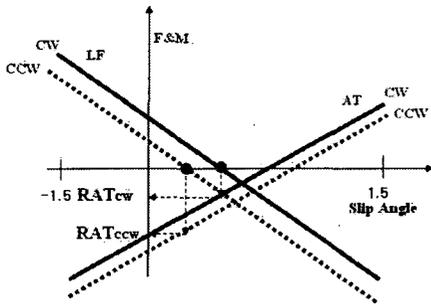


Fig. 2 Force and moment graph

$$PRAT = \frac{RAT_{cw} + RAT_{ccw}}{2} \quad (1)$$

### 2.2 코너링 강성(Cornering Stiffness)

코너링 강성은 실차의 종횡안정성 성능 중, 코너링 응답성과 관련된 타이어의 특성치로 알려져<sup>5,6</sup> 있고, 그 값은 슬립각도가 0도일 때의 횡력의 기울기로서 표현된다. SAE 기준에 의하면 Fig. 3과 같은 방법으로 코너링 강성이 평가되며 그 값은 식(2)로서 구할 수 있다.

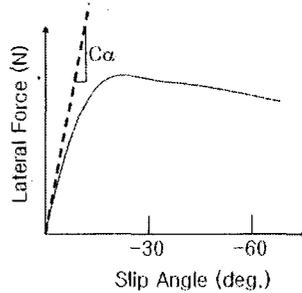


Fig. 3 Lateral force and cornering stiffness due to the slip angle

$$C_{\alpha} = \left. \frac{\partial F_y}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0} \quad (2)$$

## 3. 유한요소해석 모델

본 연구에서 사용된 타이어의 종류는 185/65R14이며 패턴 형상은 해석 시간 및 패턴 블록의 영향을 배제하기 위해서 메인 그루브 즉, 종 그루브 3개가 있는 경우로 설정하였다. 벨트각도는 19도, 20도, 22도, 24도로 설정하였다. Fig. 4는 벨트 각도를 나타낸 그림이다.

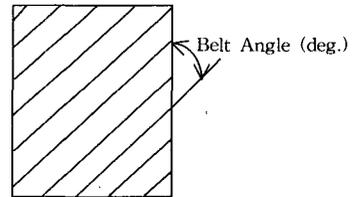
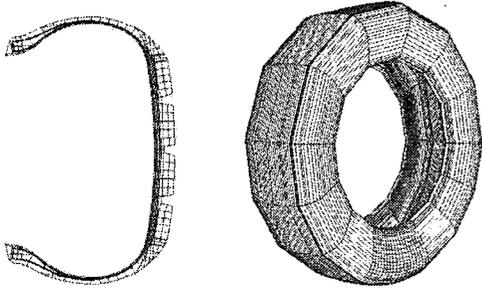


Fig. 4 Belt angle of tire

Fig. 5는 본 연구에서 2차원, 3차원 해석에 각각 사용된 유한요소 모델이다. 3차원 모델의 경우 사용된 총 요소 수는 18,310개이며, 노드 수는 33,830개이다. 고무 재료는 6절점과 8절점 솔리드 요소(Solid Element)를 사용하였고, Mooney-Rivlin 함수를 사용하여 비선형 거동을 표현하였다. 벨트, 카카스 등의 복합재는 우선, 코드의 모사를 위해서 두께를 가지지 않는 4절점 Surface 요소에 Rebar를 정의하여 Rebar Layer를 만들고, 이 Rebar Layer를 고무에 심어주는(Embedded) 방식으로 복합재를 표현하였다. 그 후 Rebar Layer에 단면적, 간격, 물성치, 각도 등을 정의해 주면 Rebar는 고무와 같이 거동을 하게 된다.



(a) 2-D F. E. model (b) 3-D F. E. model  
Fig. 5 2-D and 3-D F.E. model

해석 프로그램은 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS Ver. 6.5를 사용하였다. Table 1과 2는 본 해석모델에 사용된 물성치를 나타낸 표이다.

Table 1 Cord material properties for simulation

	$E(N/m^2) \times 10^{-9}$
Belt	205
Carcass	7.75
Wrap Ply	2.80

Table 2 Rubber material properties for simulation

	$C_{10} \times 10^{-5}$	$C_{01} \times 10^{-5}$
Wrappy Rubber	7.38	1.43
Bead Filler	9.30	1.99
Sidewall	2.20	2.48
Inner Liner	1.70	1.72
Rim Strip	3.03	5.42
Tread	4.46	1.70
Carcass Rubber	6.50	0.343
Belt Rubber	7.86	0.589

#### 4. 해석결과

##### 4.1 종강성, 횡강성 특성

###### 4.1.1 시험과 비교

해석 모델의 타당성 검증을 위하여, 시험(Test)과 같은 조건으로 해석을 수행하였다. 림의 모사를 위해서는 타이어의 중앙에 하나의 노드를 만들어,

즉 기준 노드(Reference Node)를 설정하여 림과 닿는 위치의 노드들과 변위가 같이 거동 되도록 구속 조건(Tie Constraint)을 설정하였다. 종강성의 경우, 이 기준 노드를 완전히 구속하고 기준하중 4,223.8N(431kgf)을 노면에서 가해지도록 하여 해석하였다. 공기압은  $2.06 \times 10^5 N/m^2 (2.1kgf/cm^2)$ 을 주었다. 이때, 종강성 값은 시험기와 같은 방법인 기준하중의  $\pm 490.5N(\pm 50kgf)$  때의 노면의 변위를 이용하여 식(3)과 같이 구하였다. 횡강성의 경우, 축하중이 노면에서 가해진 상태를 먼저 해석하고 다음 스텝(Step)에서 노면을 횡 방향으로 변위 제어하여 해석하였으며, 횡력이 490.5N(50kgf) 일 때의 노면의 변위 값을 이용하여 식(4)와 같이 구하였다. Fig. 6은 강성 해석을 위한 유한요소 모델과 시험한 그림이다. 이때 타이어의 벨트각도는 24도이다.

종강성  $K_v$

$$K_v = \frac{100kgf}{u_+ - u_-} \quad (3)$$

여기서,

$F_z$  : 기준하중

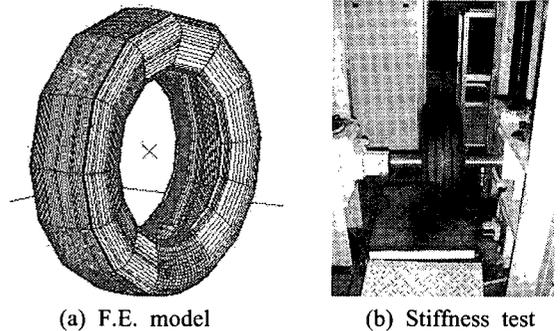
$u_+$  : 축하중  $F_z + 50kgf$  일 때의 종변위

$u_-$  : 축하중  $F_z - 50kgf$  일 때의 종변위

횡강성  $K_L$

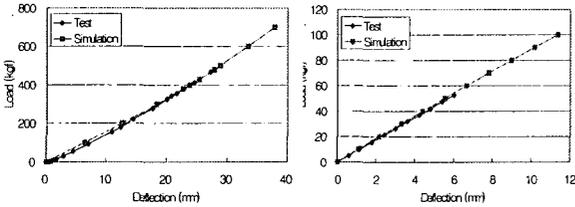
$$K_L = \frac{50kgf}{u_L} \quad (4)$$

여기서,  $u_L$  : 50kgf일 때의 횡변위



(a) F.E. model (b) Stiffness test  
Fig. 6 F. E. model for static stiffness simulation and photo for static stiffness test

Fig. 7은 종강성 및 횡강성에 대한 시험과 해석의 하중-변위 곡선을 도시한 그래프이며, Table 3은 그 강성 값을 비교한 표로서, 해석과 시험이 약 3%의 오차 내에서 잘 일치하였다. 이로서, 벨트각도에 대한 특성을 파악하는 데 있어서, 본 해석 모델의 타당성이 검증되었다고 볼 수 있다.



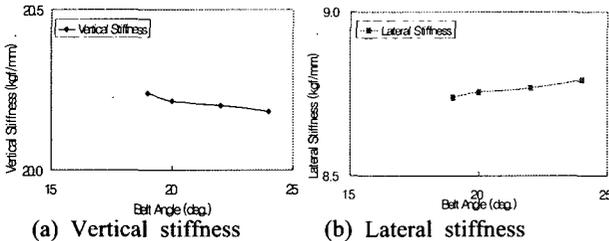
(a) Vertical load-deflection (b) Lateral load-deflection  
Fig. 7 Vertical and lateral load-deflection curves for simulation and test data

Table 3 Comparison of vertical and lateral stiffness about simulation and test

	Simulation (kgf/mm)	Test (kgf/mm)	Error (%)
Vertical Stiffness	20.18	19.51	3.4
Lateral Stiffness	8.79	9.12	3.7

#### 4.1.2 벨트각도에 따른 강성 변화

Fig. 8은 벨트각도에 따른 종강성과 횡강성 변화를 도시한 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이, 벨트각도에 따라 종강성과 횡강성의 변화는 크지 않다. 그러나, 그 경향은 종강성은 벨트각도가 증가함에 따라 작아지는 경향을, 횡강성은 커지는 경향을 보였다. Olatunbosun<sup>4</sup>등은 벨트각도에 대한 종강성 변화에 대하여 연구를 수행하였는데, 본 연구와 일치하는 경향을 보였다.



(a) Vertical stiffness (b) Lateral stiffness  
Fig. 8 Vertical and lateral stiffness due to the belt angle

## 4.2 PRAT 특성

### 4.2.1 시험과 비교

시험조건과 해석조건은 둘다, 속도는 30km/h이며, 슬립각도(Slip Angle)는 -1.5~1.5도이다. 하중은 기준하중으로서 4,223.8N(431kgf)을 가하였다. 시험에서는 PRAT 값을 구하기 위하여, 타이어의 롤링 방향을 정방향과 역방향 두가지 방향으로 나누어 시험을 수행하였다. 각 방향에서의 횡력과 복원토크 값을 데이터 처리하여, 2.1절에서와 같은 형태의 그래프로 도시하였고, 이 그래프를 이용하여 식 (1)로서 PRAT 값을 구하였다. 해석으로 PRAT 값을 구하기 위해서는 Fig. 9에서와 같은 순서로 해석을 수행하였다. 우선, 2차원 공기압(Inflation) 해석을 수행하고, 이 상태를 3차원으로 확장시켰다. 3차원 해석에서는 롤링 전 접지(Footprint) 해석을 우선 수행하였다. 접지 해석 방법은 종강성 해석과 유사한 방법으로 강체 요소(Rigid Element)인 드럼이 이동하여 하중이 가해지도록 하였다. 다음 단계로 타이어의 자유 구름(Free Rolling) 상태를 찾기 위해서, 30km/h에 해당되는 각속도를 드럼의 중앙에 위치한 기준 노드에 주고, 타이어의 중앙에 위치한 기준 노드에는 브레이크(Brake) 상태의 스텝(Step)과 트렉션(Traction) 상태의 스텝(Step)될 수 있는 임의의 각속도를 드럼과 반대방향으로 주어, 이 두 상태에서의 회전 토크값을 구하였다. 이 결과 값들에서 회전 토크가 0이 되는 근처의 각속도를 찾아 한번 더 세부적으로 자유 구름 상태 근처에서의 브레이크-트렉션 롤링 해석을 수행하였다. 이렇게 하면, 시험 조건인 자유 구름 상태를 모사하기 위한 타이어의 각속도를 구할 수 있다. 자유구름

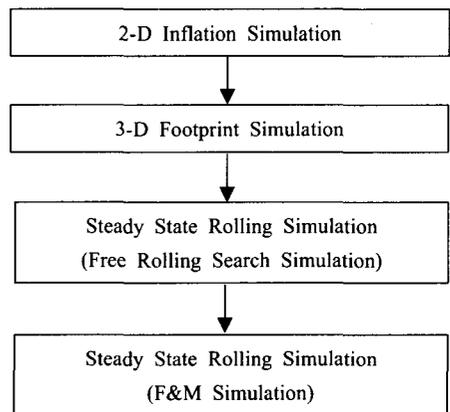
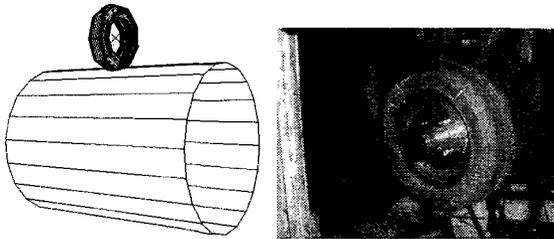


Fig. 9 Flowchart for PRAT simulation

상태를 찾은 후에, 마지막 해석에서 슬립각도를 모사하기 위하여, 자유 구름 상태의 타이어 중앙에 위치한 기준 노드에 슬립각도에 해당되는 각 변위를 주었다. 슬립각도 별 횡력과 복원 토크 값은 기준 노드에서 반력 데이터로 구하였다. 이를 SAE 좌표 기준으로 그래프를 도시하여, 횡력이 0일때의 복원 토크 값을 PRAT 값으로 사용하였다. 해석에서 마찰계수는 0.8을 주었다.

해석의 타당성 검토를 위하여, 벨트각도 24도에 대한 PRAT 값을 시험과 비교하였다. Fig. 10은 해석모델과 시험한 그림이다.



(a) F.E. model (b) F&M test

Fig. 10 F. E. model for F&M simulation and photo for F&M test apparatus

Fig. 11은 벨트각도 24도에 대한 슬립각도에 따른 횡력과 복원토크 그래프이다. Table 4는 시험과 해석결과를 비교한 표이다. PRAT 값이 7% 정도의 오차범위에서 잘 일치하였다.

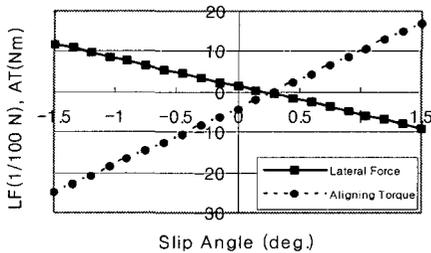


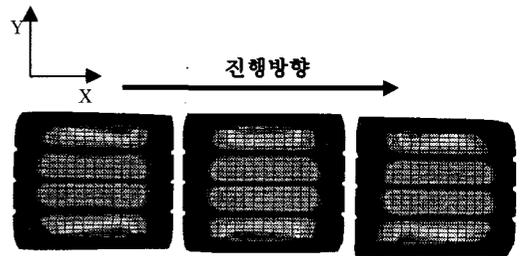
Fig. 11 F&M graph by simulation

Table 4 Comparison of PRAT about simulation and test

	Simulation (Nm)	Test (Nm)	Error (%)
PRAT	-1.20	-1.12	7.1

#### 4.2.2 롤링 접지 특성

일반적인 롤링 접지특성을 알아보았다. 본 논문에서의 모든 접지응력은 바닥면에서 본 그림이다. Fig. 12는 브레이크(Brake) 상태, 자유 구름(Free Rolling) 상태, 트렉션(Traction) 상태의 접지응력 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 브레이크 상태에서는 접지응력의 분포가 진행방향 쪽으로 치우치고 자유 구름 상태에서는 중앙쪽으로, 트렉션 상태로 갈수록 뒤쪽으로 이동되는 현상을 볼 수 있다. 또한, 브레이크 시 롤링 방향 반대로 토크(Torque)가 발생하고 이로 인하여 마찰력이 진행방향의 반대방향으로 생기며, 이러한 현상은 트렉션 상태에서는 반대로 일어난다.



(a) Brake (b) Free rolling (c) Traction

Fig. 12 Contact stress distribution of brake, free rolling and traction states

Fig. 13은 작은 슬립각도에서의 접지응력분포를 나타낸 그림이다. 자유 구름 상태에서 슬립-접착 (Slip-Adhesion) 구간이 그림에서와 같이 나타났다. 작은 슬립각도에서는 슬립 영역이 트레일(Trail) 끝 지역에서 주로 발생했다. 그러나 슬립각도가 더 커지면 슬립 영역도 더 커질 것이다. (4.3.1 항 참조)

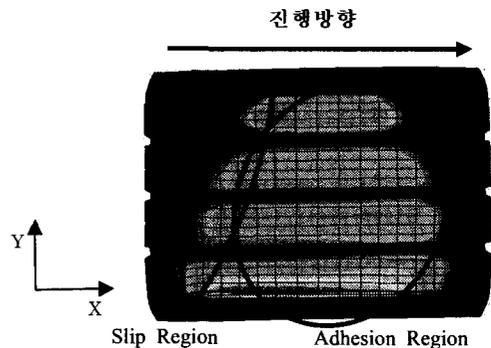


Fig. 13 Contact stress distribution of slip angle  $-1.5^{\circ}$

### 4.2.3 벨트각도에 따른 PRAT 변화

제조오차에 따른 횡력 즉, Conicity를 무시했을 때, 슬립각도가 0도일 때의 횡력값을 플라이스티어 힘(Plyster Force)이라 부르는 데, Fig. 11에서 이 값이 “+”인 이유는 롤링상태에서는 지면과 가까이 있는 벨트의 변형이 Fig. 14에서와 같이 진행방향의 오른쪽으로 생기기 때문이라 생각된다. 아래의 Fig. 14는 위에서 본 그림이다.

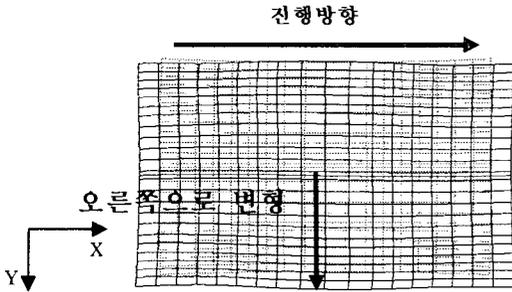


Fig. 14 Deformation of outer belt at slip angle 0°

Fig. 15는 벨트각도에 따른 PRAT 값을 표시한 그래프로서, 그림에서 보는 바와 같이 벨트각도가 감소함에 따라서 PRAT 값이 “-” 방향으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 벨트각도가 감소함에 따라서 차량의 쓸림은 왼쪽으로 생기는 경향이 있다는 것을 의미한다. 즉, 차량의 쓸림이 왼쪽으로 생기는 경우에는 벨트각도를 크게 되도록 설계하여 쓸림을 줄일 수 있고, 차량의 쓸림이 오른쪽으로 생기는 경우에는 벨트각도가 작게 되도록 설계하여 쓸림을 줄일 수 있는 설계 가이드 라인이 될 수 있다. 물론, 이 설계 가이드 라인은 다른 특성을 제외한 쓸림의 경우에만 해당되며, 실제 설계 시는 다른 특성까지 고려한 벨트각도를 설정하여야 할 것이다.

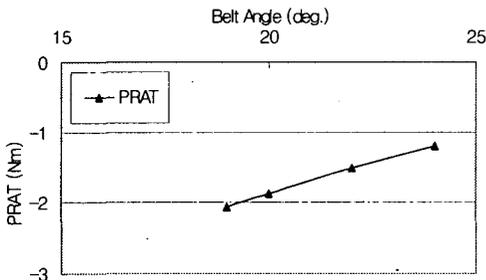


Fig. 15 PRAT variation due to the belt angle

Fig. 16은 벨트각도가 반대인 경우를 사용한 타이어에 대한 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 정방향과 비교했을 때 완전히 접대칭이 되는 경향으로 나오는 것을 볼 수 있다. 이것은 실제의 경우에는 제조 오차가 존재하므로 완전한 접대칭은 이루어지지 않을 수 있다. 그러나, 시뮬레이션은 제조 오차를 완전히 배제한 경우이므로 완전한 접대칭으로 나오고 또한, 이것은 해석모델이 타당하다는 것을 보여주는 또 하나의 증거로 볼 수 있다.

그리고, 데이터는 표시하지 않았지만, 벨트각도가 현용보다 더 작은 경우를 해석을 해보면 그림에서 보는 바와 같은 경향을 나타낸다. 벨트각도가 감소함에 따라 절대값 기준으로 PRAT 값은 커지다가 어느 한계에서는 횡력의 감소 추세전환으로 인해서 절대값 기준으로 PRAT 값이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

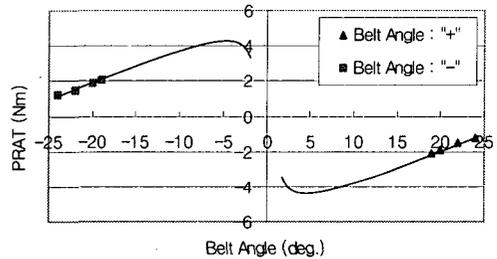


Fig. 16 PRAT variation due to the reverse belt angle

## 4.3 코너링 특성

### 4.3.1 코너링 접지 특성

Fig. 17은 슬립각도 -4도에서의 접지응력 분포를 나타낸 그림이다. 슬립 영역이 Fig. 13의 슬립각도 -1.5도보다 크게 나타났다

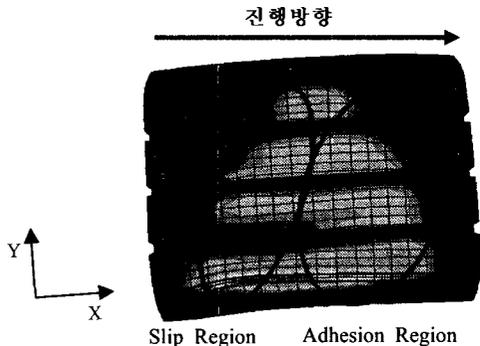


Fig. 17 Contact stress distribution of slip angle -4°

Fig. 18은 슬립각도 -10도로 아주 급격한 코너링 시의 접지응력 분포를 나타낸 그림이다. 슬립 영역은 리딩(Leading) 부분을 제외한 거의 전 영역에서 발생했으며, 접지면의 형상은 전형적인 급격한 코너링 접지형상을 보이고 있다.<sup>9</sup>

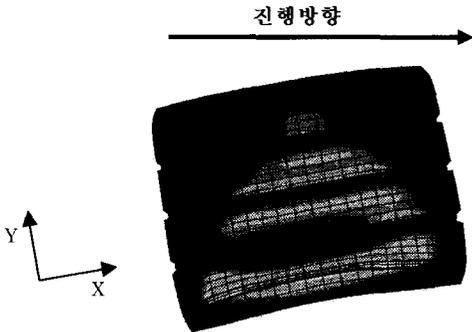


Fig. 18 Contact stress distribution of slip angle -10°

#### 4.3.2 벨트각도에 따른 코너링 강성 변화

Fig. 19는 벨트각도 19도와 24도에 대한 슬립각도 -10도와 10도 사이에서의 코너링 해석을 한 결과이다. 횡력과 복원토크가 슬립각도에 따라서 이론 및 기존 시험과 유사한 경향을 보이고 있다.<sup>2,3,5,6,9</sup>

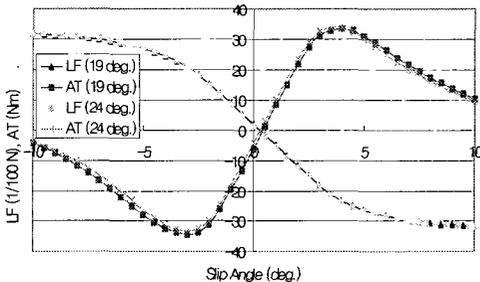


Fig. 19 F&M graph by cornering simulation

Fig. 20은 Fig. 19의 그래프에서 벨트각도에 대한 코너링 특성을 알아보기 위해서 SAE 기준<sup>5</sup>에 의하여 슬립각 -10도에서 0도까지의 횡력을 도시한 그래프이다. 본 논문에서는 코너링 력(Cornering Force)과 횡력(Lateral Force)의 구분을 두지 않고 설명하고자 한다. 그래프에서 보는 바와 같이 슬립각 0도에서의 횡력은 19도가 크나, 슬립각도가 커짐에 따라 횡력이 24도가 커지는 것을 볼 수 있다. 즉,

벨트각도가 커짐에 따라 코너링 파워(Cornering Power)가 커진다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 Olatunbosun<sup>4</sup> 등의 연구와 일치하는 결과로, 벨트각도가 커지면 커질수록 응답성이 좋다는 것을 의미한다. 본 연구에서의 타이어 모델의 경우, 코너링 파워가 벨트각도 19도는 677 N/deg., 24도는 694 N/deg. 이다.

3.1 절에서의 벨트각도에 의한 정특성과 비교해 보았을 때, 코너링 특성은 벨트각도에 의한 횡강성의 경향과 일치하는 경향을 보였다. 즉, 벨트각도에 의한 횡강성의 정특성은 코너링 강성의 동특성과 비례하는 상관성이 있다고 볼 수 있다.

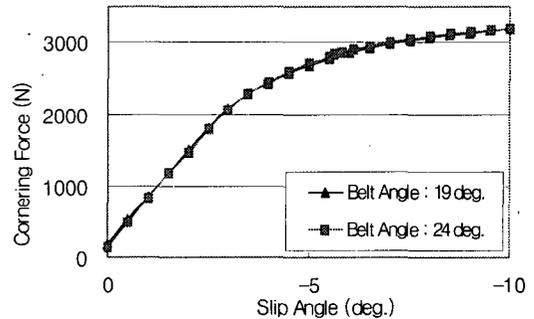


Fig. 20 Cornering force due to the belt angle

## 5. 결론

유한요소해석 기법을 이용하여 시험과 해석모델의 타당성을 먼저 검증하였다. 타당성 검증 후, 타이어의 벨트각도에 따른 정특성인 종강성, 횡강성 및 동특성인 PRAT, 코너링 특성에 대한 연구를 수행하였다. 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 논문에서 사용된 해석 모델 및 해석 방법은 정특성 및 동특성 시험과 잘 일치하여 타 특성 시뮬레이션에도 유사하게 사용될 수 있다.
2. 벨트각도의 커짐에 따라서 종강성은 작아지는 경향을, 횡강성은 커지는 경향을 보인다. 그러나, 본 연구에서의 타이어의 경우 그 차이는 크지 않았다.
3. 벨트각도의 정방향 각도, 역방향 각도, 모두 벨트각도가 커짐 절대값 기준으로 하였을 때, PRAT는 감소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은

차량 끌림(Vehicle Pull)을 고려한 타이어의 설계 시 설계기준이 될 수 있다.

4. 벨트각도가 커짐에 따라 코너링 강성은 증가한다. 이러한 코너링 특성은 벨트각도에 의한 정특성 중 횡강성과 밀접한 관련성을 가진다.

5. 추후, PRAT에 더 큰 영향을 미치는 설계 인자로 알려져 있는 패턴 형상에 대한 연구가 필요하다.

9. Samuel, K. Clark, "Mechanics of Pneumatic Tires," U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Administration, pp. 367-467, pp. 658-720, 1981.

### 참고문헌

1. Oh, Sang Hyun, Cho, Young Hee, Gim, Gwang hun, "Identification of A Vehicle Pull Mechanism," Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, 2000.
2. Kazuyuki, Kabe, Masataka, Koishi, "Tire Cornering Simulation Using Finite Element Analysis," Journal of Applied Polymer Science, Vol. 78, pp. 1566-1572, 2000.
3. Ohishi, K., Suita, H., Ishihara, K., "The Finite Element Approach to Predict the Plysteer Residual Cornering Force of Tires," Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 30, No. 2, pp. 122-133, 2002.
4. Olatunbosun, O. A., Bolarinwa, O., "FE Simulation of the Effect of Tire Design Parameters on Lateral Forces and Moments<sup>2</sup>," Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 32, No. 3, pp. 146-163, 2004.
5. Thomas, D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics," Society of Automotive Engineers, pp. 195-236, 1992.
6. Kim, H. W., Cho, K. Z., "A Study for the Prediction of a Tire Cornering Characteristics using a Finite Element Method," J. of KSAE, Vol. 6, No. 1, pp. 151-162, 1998.
7. Kim, K. W., Jeong, H. S., Cho, J. R., Yang, T. S., "Finite Element Analysis on Residual Aligning Torque and Frictional Energy of a Tire with Detailed Tread Blocks," J. of KSAE, Vol. 12, No. 4, pp. 173-180, 2004.
8. Lee, J. H., Lee, J. W., "Tire and Vehicle Pull I - Experimental Results," J. of KSAE, Vol. 8, No. 4, pp. 194-201, 2000.