

동역학 관점에서 바라본 타이어 개발 Process 현재와 미래

2017년 5월 31일

연구기술본부
시험평가담당
동역학NVH팀



영화속 미래 (1989년 작품속 2015년 미래)



1

타이어의 변천

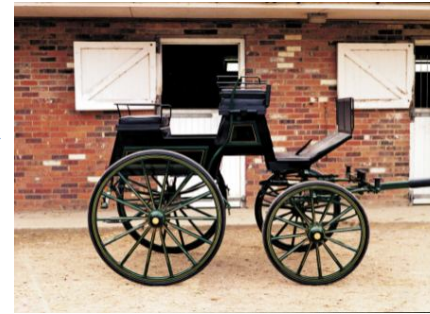
- 운송 수단의 요구와 생산기술의 발전에 따라 고대의 통나무부터 현대의 패턴이 적용된 Radial 타이어까지 타이어는 진화 중
- 미래의 타이어는 IT와 융합된 형태로 자가진단을 통한 복구, 변형 등의 기능이 추가되고, 네트워크에 연결되어 운전자와 차량에게 타이어 및 차량에 정보를 전달하는 체계를 갖출 것으로 예상



나무를 원형으로 제작한 바퀴
(기원전 2600)



바퀴살과 테두리에 철을 두른 바퀴
(로마시대)



철 바퀴살과 고무를 두른 바퀴
(1835)



공기압 주입 타이어(1888, 던롭)
튜브리스 타이어(1947, BF 굿리치)

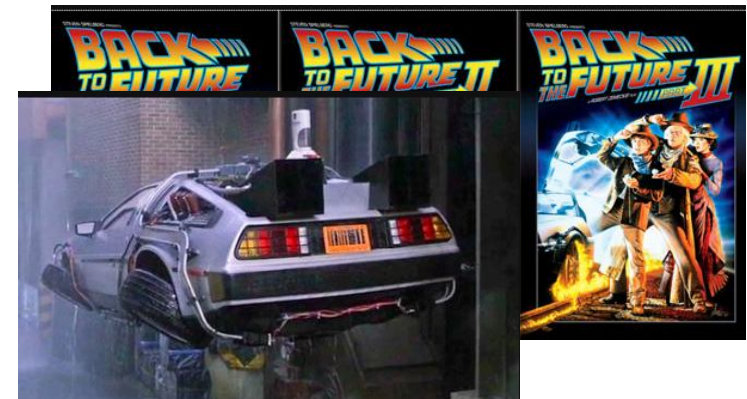


Radial 타이어 (1948, 미쉐린)



현재 제조법 확립

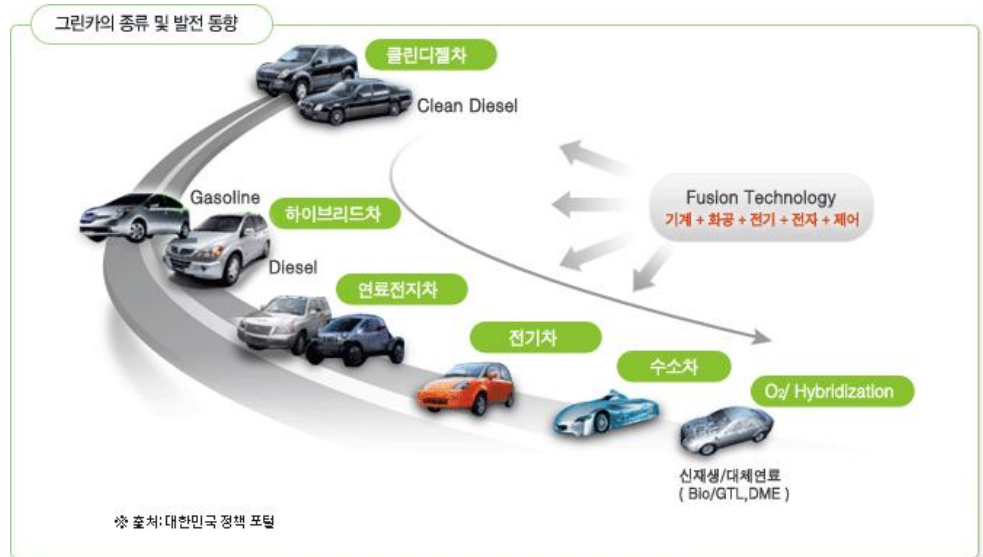
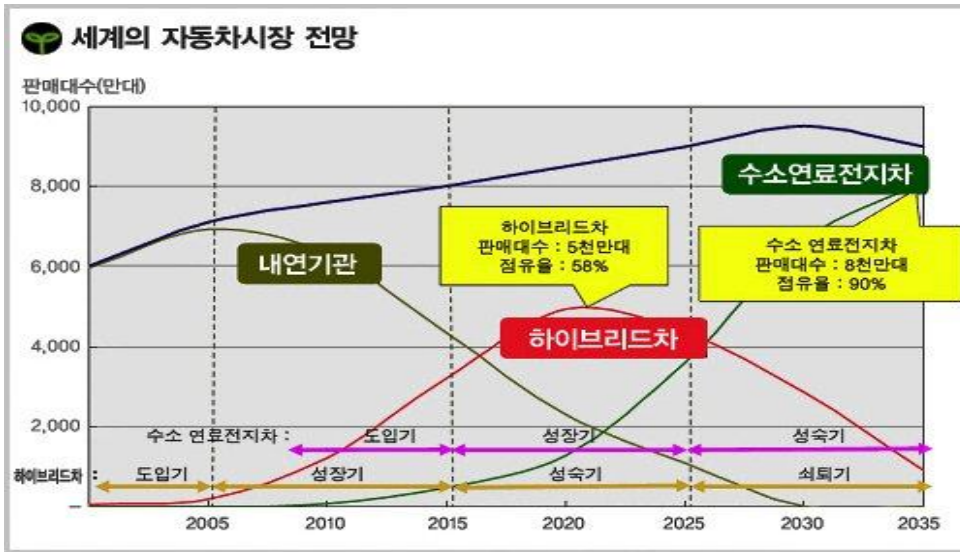
?



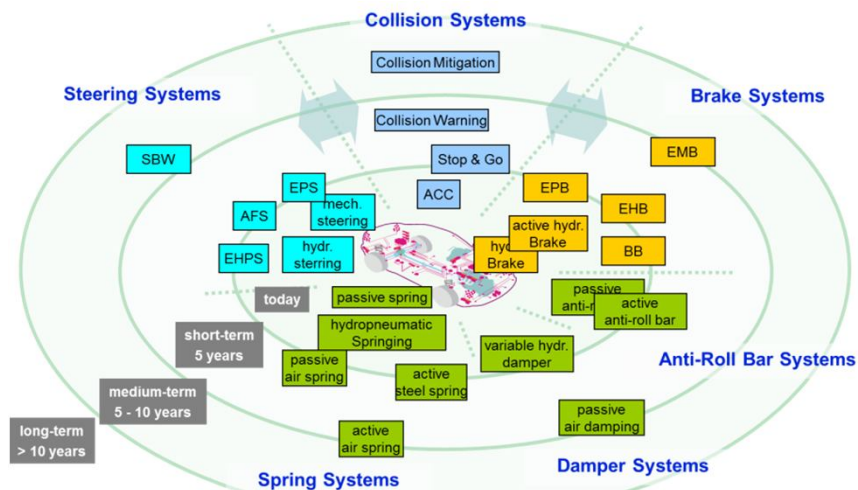
미래 타이어

2

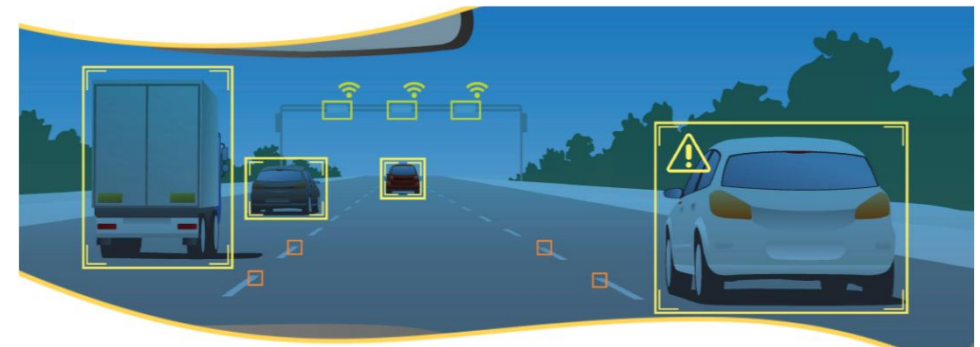
미래 자동차 기술



전기차/수소연지차



IT 기능 탑재차



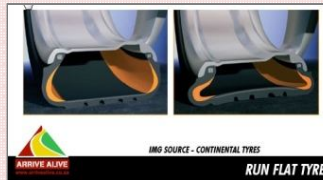
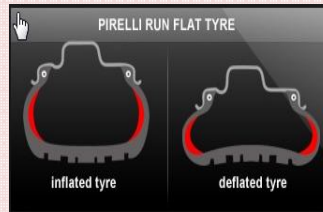
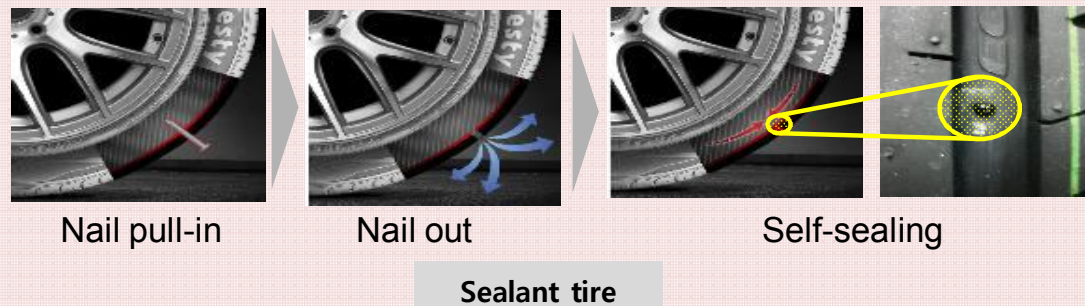
자율주행차/군집주행차

3 미래 타이어 기술

고안전 타이어 기술



Airless tire

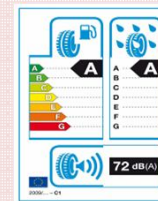


Runflat tire

지능화 타이어 기술

	PIRELLI	Continental	BRIDGESTONE	GOODYEAR
명칭	Cyber Tire System (Cyber)	Electronic Tire Information System (e-TIS)	Contact Area Inform. Sensing (CAIS)	Air Maintenance Technology (AMT)
개념도				
개요	가속도 센서 이용하여 접지면의 힘, 슬립, 마찰력을 예측하는 알고리즘 개발	가속도 센서 이용하여 접지면의 힘, 슬립, 트레드 마모량을 예측하는 알고리즘 개발	가속도 센서 이용하여 접지면 힘, 노면상태, 트레드 마모 정도의 예측 알고리즘 개발	공기압 저하 시에 자동으로 튜브 관을 통해 공기 주입하는 Self Inflation 장치
기능	접지면 가속도 측정 접지력, 슬립 변환 접지면 마찰력 예측	접지면 가속도 측정 트레드 마모량 예측 타이어 하중 예측	접지면 가속도 측정 Tire 동적 상태 변환 도로 노면 상태 예측	자동 공기압 조절 센서/전원 장치 없음

친환경 타이어 기술



1. 금호타이어

1

금호타이어



KUMHO TIRE, CO., Ltd.

- 창립일 : 1960. 09. 05
- 증권 상장 :
 - 한국증권거래소(KRX) : 2005년
 - 런던증권거래소(LSE) : 2005년
- 연결매출 ('15) : 3조 404억원
- 수출지역 : 180개 국가
- 임직원 수 : 10,973 명
 - 국내 : 4,940 명
 - 국외 : 6,033 명

1. 금호타이어

2

금호타이어 Global Networks



법인 : 9



연구소: 5



공장 : 8



지사 : 16

북미

미국



미국 법인 (아틀란타)



미국 기술연구소 (애크런)



조지아 공장

캐나다



캐나다 법인 (미시소가)

유럽

독일



유럽본부



유럽 기술연구소 (프랑크푸르트)

프랑스



프랑스 법인

영국



영국 법인

오스트리아



비엔나 지점

이탈리아



밀라노 지점

스페인



마드리드 지점

러시아



모스크바 사무소

아시아

대한민국



서울사무소



중앙연구소 (용인)



광주공장



곡성공장



평택공장



퍼포먼스 센터 (광주)

중국



중국본부 (상하이)



중국 기술연구소 (천진)



장춘 공장



남경 공장



천진 공장

베트남



베트남 법인



베트남 공장 (빈즈영 성)

일본



일본법인 (동경)

싱가포르



싱가포르 지사

태국



방콕 지사

터키



이스탄불 지사

아랍에미리트



두바이 지사

말레이시아



쿠알라룸푸르 지사

사우디아라비아



제다 지사

남미

멕시코



멕시코 법인

칠레



산티아고 지사

브라질



상파울루 지사

파나마



파나마 지사

아프리카

남아프리카공화국



요하네스버그 지사

이집트



카이로 지사

오세아니아

호주



호주 법인

1. 금호타이어

3

금호타이어 Global Plants



광주 공장 (1974~)



곡성 공장 (1989~)



평택 공장 (2003~)



장춘 공장 (2007~)



천진 공장 (2006~)



남경 공장 (1996~)



베트남 공장 (2008~)



조지아 공장(2016~)

※ 글로벌 연간 Capa. (2015년 기준 / 단위: 본)

제품	한국	중국	기타	계
PCR/LTR	30,800,000	28,100,000	3,300,000	62,200,000
TBR	2,400,000	400,000	-	2,800,000
계	33,200,000	28,500,000	3,300,000	65,000,000
(%)	(51.1 %)	(43.8 %)	(5.1 %)	(100 %)

* 조지아 공장 예상 연간 Capa. : 4,000,000 본

1. 금호타이어

4

금호타이어 Global R&D Network

R&D Center (KRDC)

- Yongin, Korea
- Since 2013 ~
- Employee : 380
- Area : 34,873m²



- ▶ Responsible for driving innovation to develop new products and technologies for global customer

Total Employees : 730

- Researcher : 504
- Assistant Researcher : 226

KPC



- Gwangju, Korea
- Since : 1981
- Employee : 135
- Area : 29,752m²
- Gokseong, Korea
- Since : 1989
- Employee : 35
- Area : 253,770m²

- ▶ Product Industrialization
- ▶ Indoor test & Outdoor test at Gokseong P/G

KETC



- Frankfurt, Germany
- Since : 2012(1997, GBR)
- Employee : 21
- Area : 850m²

- ▶ Contact window of EU customers
- ▶ New Product outdoor testing in Europe
- ▶ Market and technical information gathering

KCTC



- Tianjin, China
- Since : 2006
- Employee : 147
- Area : 22,000m²

- ▶ Technical support for plants in China
- ▶ RE tire development for Chinese market
- ▶ In/Outdoor test

KATC



- ▶ Technical support for Macon plant
- ▶ Contact window of N/A customers
- ▶ New Product outdoor testing in N/A
- ▶ Market and technical information gathering

2. 타이어 기본 상식

1

타이어의 기능

- 차체의 하중을 지지하고 진동을 흡수
- 주행 경로를 유지하고 변경을 위하여 구동 및 제동, 선회하는 힘을 노면으로 전달



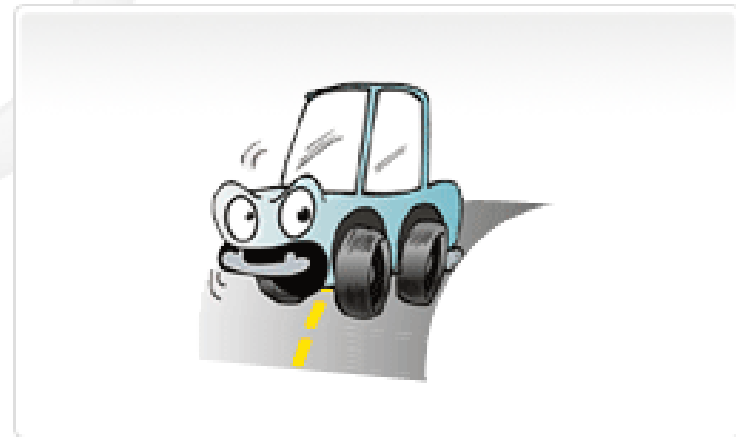
▶ Supports the weight of the car



▶ Transmits vehicle propulsion and braking



▶ Softens impact from the road



▶ Maintains or changes the car's direction

Functions
of Tires

2. 타이어 기본 상식

2 타이어의 요구 특성

- 운전 중 안전과 주행성능, 주행 중 안락감 및 친환경 특성이 좋은 타이어를 결정
- 각 특성은 서로 Trade off 경향을 갖고 있어, 사용 조건과 목적에 맞게 각각 특성을 최적화 해야 함
- 각 대륙 및 국가별로 주요 성능에 대한 기준을 정립한 Labeling제도가 있고 이를 통해 판매 규제 및 소비자에게 알 권리를 제공

내구성

- 운전자의 안전과 직결
- ☞ 굴신에 의한 내피로성이 강해야함
- ☞ 패턴 마모에 대한 내구성이 강해야함



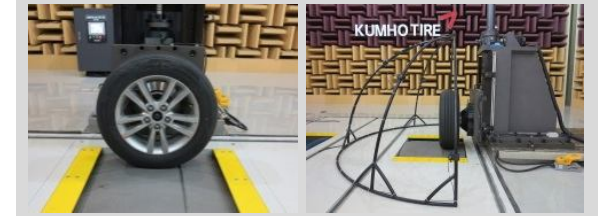
Ride & Handling

- 차량의 주행 성능을 결정
- ☞ 신속 정확한 방향전환이 되도록 강성 확보
- ☞ 서스펜션과 매칭을 통해 차량 진동감소



NVH

- 차량 주행 중 타이어 진동소음
- ☞ 요철 노면의 충격을 흡수
- ☞ 노면 접지, 공기 유동에 의한 타이어에서 발생 소음이 작아야 함



견인력

- 차량의 구동 및 제동성능 결정
- ☞ 사용환경에 따라 마른노면, 젖은노면, 눈길 견인특성을 강화
- ☞ 노면과의 마찰 특성을 ABS로직과 잘 맞도록 설계가 필요



친환경

- 환경문제 대두로 친환경성능 요구
- ☞ 구름저항 감소를 통한 차량 연비 개선
- ☞ 구동축 Moment of Inertia를 줄이기 위하여 저중량 설계 기술 필요



라벨링 제도

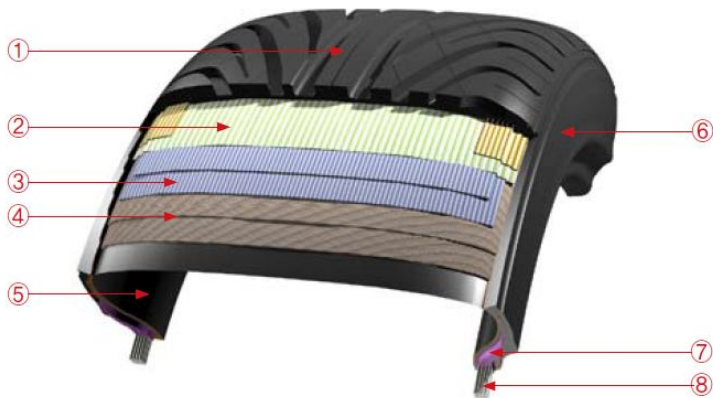
- 타이어 성능을 객관화
- ☞ 유럽은 연비, Wet Grip, 방사소음을 관리하고 규제 중
- ☞ 한국은 연비와 Wet Grip 표시



2. 타이어 기본 상식

3

타이어의 구조 PCR / TBR



① 트레드(Tread)

노면과 접촉하는 부분으로 제동, 구동에 필요한 마찰력 발생.

② 캡 플라이(Cap PLY)

레이얼 타이어의 BELT위에 위치한 특수 CORD로 주행 시 벨트의 움직임을 최소화하여 내구성을 확보

③ 벨트(Belt)

Steel Wire로 구성되며 외부의 충격을 완화시키는 것은 물론 Tread 접지면을 넓게 유지하여 주행 안정성 도모

④ 바디 플라이(Carcass)

타이어의 내부의 Cord층으로 하중을 지지하는 인체 골격과 같은 역할

⑤ 인너라이너(Inner Liner)

튜브대신 타이어의 안쪽에 위치하고 있는 것으로 공기누출 방지

⑥ 사이드 월(Side Wall)

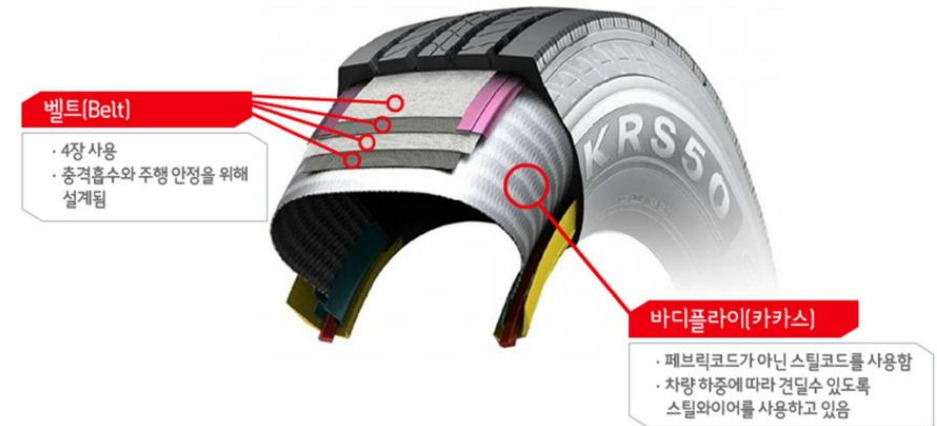
솔더 아랫부분부터 비드사이의 고무층을 말하며 내부의 카카스 보호

⑦ 에이펙스(Apex)

BEAD의 분산을 최소화하고 외부의 충격을 완화하여 BEAD를 보호하며 성형 시 AIR入을 방지하기 위하여 사용하는 삼각형태의 고무 충전재

⑧ 비드 와이어(Bead Wire)

Steel Wire에 고무를 피복한 사각 또는 육각형태의 Wire Bundle로 TIRE를 RIM에 안착 및 고정 역할



① 전반적인 구조는 PCR과 유사함.

② RADIAL구조와 튜브리스의 구조로 형성됨

③ PCR 구조와 상이하게 Cap Ply 없음.

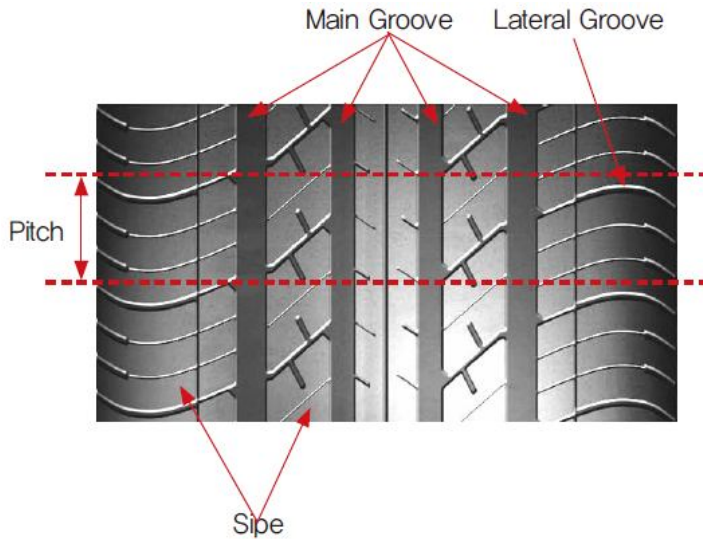
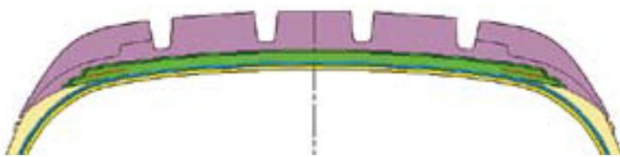
④ 고하중을 견딜 수 있도록 카카스는 스틸코드를 사용하고 벨트를 3장 / 4장 이상 사용함

2. 타이어 기본 상식

4

타이어의 요소별 구조 - PCR

▪ Tread & 패턴의 기능



▶ Tread의 기능

지면과 접촉하는 부분으로써 자동차의 구/제동력을 노면에 전달하는 기능

▶ Tread의 주요 요구 특성

- 내 마모성
- 내 Cutting성
- 내 Crack성
- 저 연비성
- 내 발열성

▶ Tire Type별 Tread 요건

- High Performance tire
 - ☞ High Grip & Wet성능 및 내 발열성 중시
- All Season Tire
 - ☞ 내 마모성 및 NVH 성능 중시
- Winter Tire
 - ☞ 저온하 Softness 유지 및 결빙로 Grip력 극대화

▶ Tread Pattern의 기능

형상 및 Groove의 깊이 변화에 따라 제·구동 성능 및 R&H, NVH성능 차이가 나타남

* Tire 외관도 중요함

▶ Tread Pattern 설계 요소

- Main Groove갯수, 폭, 깊이, 위치
 - ☞ 접지율, 배수성, Wandering
- Lateral Groove형상, 갯수, 깊이, 방향성
 - ☞ 접지율, 배수성, Pulling, NVH, R&H, Grip,마모
- Sipe 형상, 갯수, 깊이, 위치
 - ☞ Ride, NVH, 마모, Grip
- Pitch 개수, 크기, 배열
 - ☞ NVH, 마모

2. 타이어 기본 상식

4

타이어의 패턴 형상 - PCR / TBR

일반 타이어



- 사계절 모두 무난하게 사용할 수 있는 타이어
- 주로 신차에 장착되어 출고되는 기본타이어

비대칭 타



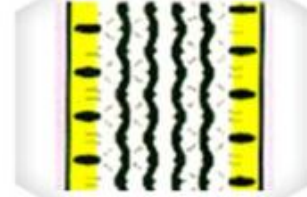
- 일명 세미 스포츠 형 타이어
- 포장도로와 고속도로 주행 가능
- 접지력이 우수해 타이어 회사에서 선호하는 패턴 트렌드
- 아웃사이드 폭이 바깥쪽으로 장착해야만 성능을 극대화할 수 있는 제품으로 구분해서 취부하여야 함



방향성 타이어

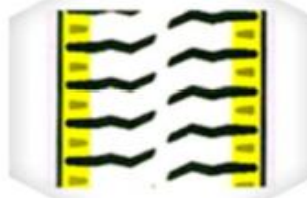
- 스포츠 형 타이어나 레이싱 차량에 특수 목적을 두고 사용
- 패턴이 한쪽방향으로 되어 있어 잘 달릴 수 있도록 설계된 고속주행용 타이어
- 좌우로 위치교환 시 패턴 방향이 바뀌어 주행 중 위험할 수 있으니 주의가 필요

RIB형



- 핸들링이 우수
- 화물용 차량 전륜에 많이 사용
- * PC-R: 마제스티, 엑스타 LX
- * LT, TB-R: RS03, RS50

LUG형



- 견인력이 우수해 화물 차량 중 비포장용 후륜에 사용
- * TB-R: 389

RIB-LUG형



- 포장과 비포장을 겸용으로 사용할 수 있는 화물차량에 사용
- * TB-R: 973

BLOCK형



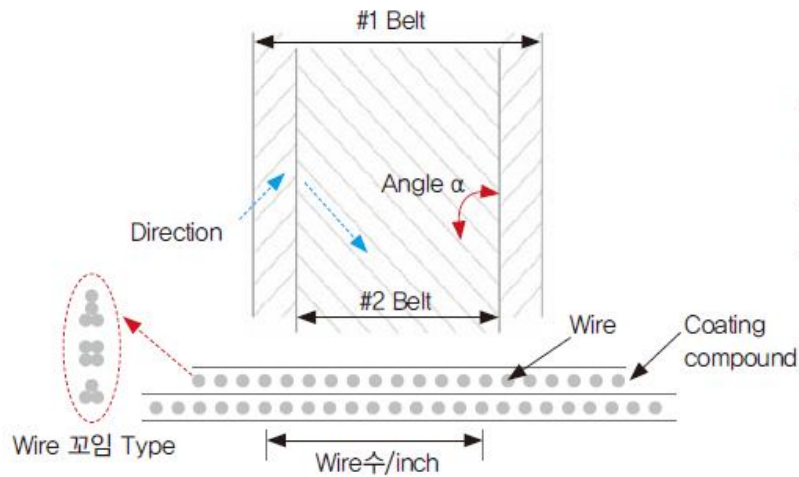
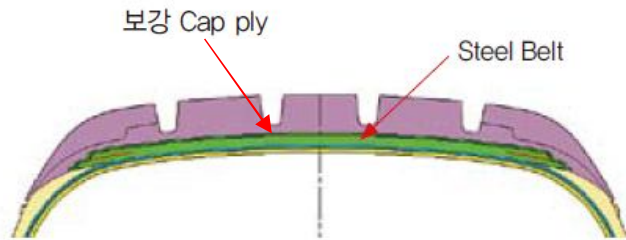
- 덤프트럭과 중장비에 들어가는 패턴으로 주로 후륜에 사용
- * TB-R: RD50

2. 타이어 기본 상식

4

타이어의 요소별 구조 - PCR

Steel Belt와 Cap ply의 기능



▶ Steel Belt의 기능

Tire Pattern 및 Compound와 함께 성능에 가장 큰 영향을 미치는 Part로써, 노면 Grip력 Handling, Ride등 성능 Tuning의 주요 요소임

▶ Steel Belt 주요 요구 특성

- Wire 강력 및 내부식성
- Wire 꼬임 정도 및 밀도 유지
- Coating고무 접착력
- Coating고무 내열성

▶ 보강 Cap ply의 기능

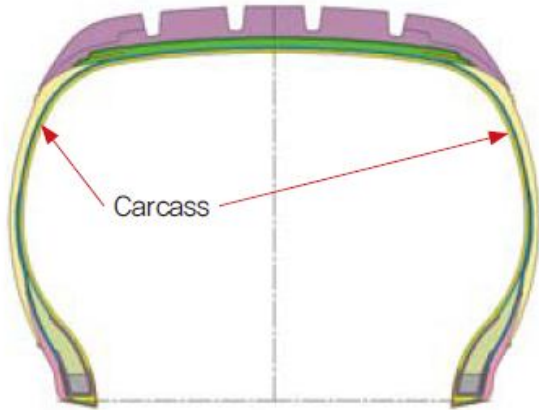
고속 주행 시 원심력 및 Belt변형으로 인한 Belt 층간 Separation을 방지하여 고속 내구성을 향상

2. 타이어 기본 상식

4

타이어의 요소별 구조 - PCR

▪ Carcass와 Inner Liner의 기능



▶ Carcass의 기능

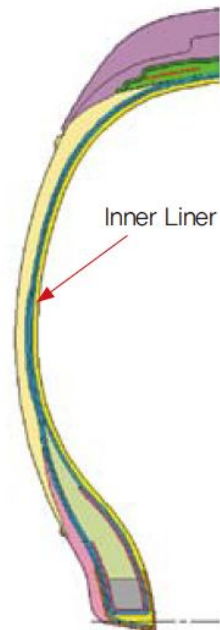
Tire의 골격을 이루는 뼈대 역할을 하며 Inner Liner와 함께 공기압을 유지하여 외부로 부터 부가되는 하중을 지지함.

▶ Carcass의 주요 요구 특성

- 충격 흡수성, 충격 저항성
- 치수 안정성
- Flat Spotting Resistance

▶ Carcass는 규격 및 용도에 따라

- Cord 재질
- Cord 경, 밀도
- Coating Compound등을 결정하여 사용함



▶ Inner Liner의 기능

Tire의 공기압 유지

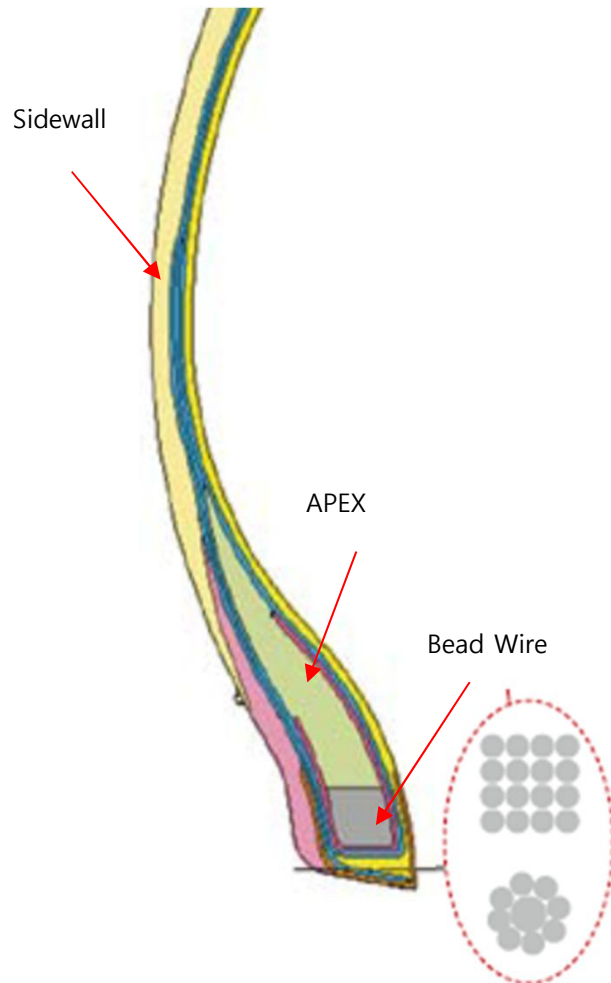
▶ Inner Liner 주요 요구 특성

- 내 공기 투과성이 우수한 고무를 사용

2. 타이어 기본 상식

4 타이어의 요소별 구조 - PCR

▪ Sidewall, APEX, Bead Wire의 기능



▶ Sidewall의 기능

Carcass를 외부의 충격으로부터 보호하고, Steering Wheel의 Input을 Bead부를 거쳐 Tread부에 전달하는 중간 위치

* Tire의 기본 정보(규격, 하중 공기압 등)가 문자로 각인된 부위

▶ Sidewall 주요 요구 특성

- 내 피로성
- 인장강도, 연신율
- 변색 내구성

▶ Sidewall의 특성 인자

- Compound 경도 및 Volume, Damping물성
- ☞ 실차 Feeling(R&H, NVH)

▶ APEX의 기능

Side부 강성을 결정하여 승차감과 조종안정성에 결정적인 역할 수행

▶ APEX의 특성 인자

- Height & Volume
- Compound 경도
- ☞ 실차 Feeling(R&H, NVH)

▶ Bead Wire의 기능

Tire와 Rim을 고정시켜 주고 부가 하중을 지지하며, 구동/제동, Torque등을 노면에 전달하는 역할

▶ Bead Wire 주요 요구 특성

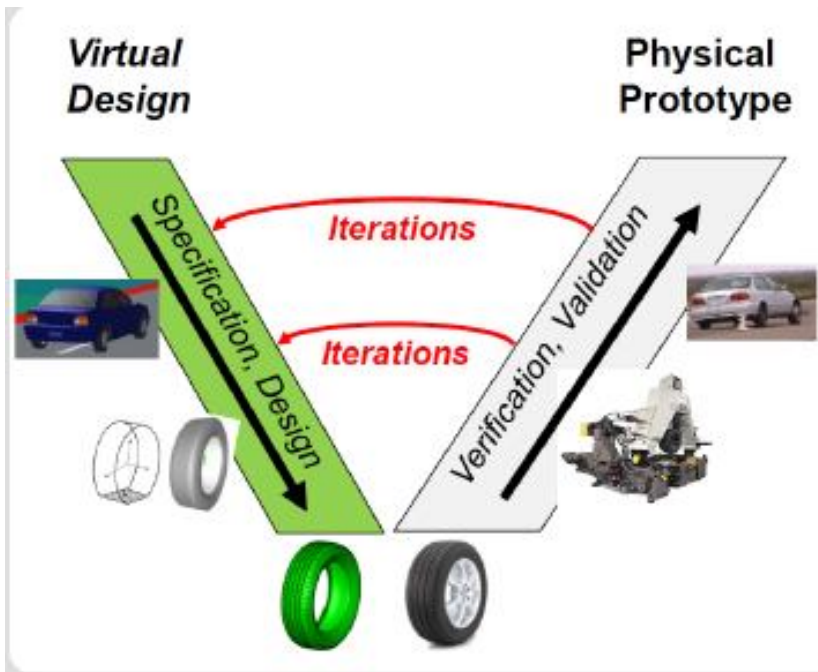
- 유연성
- 굽힘 강도
- 인장응력

▶ Bead Wire 특성 인자

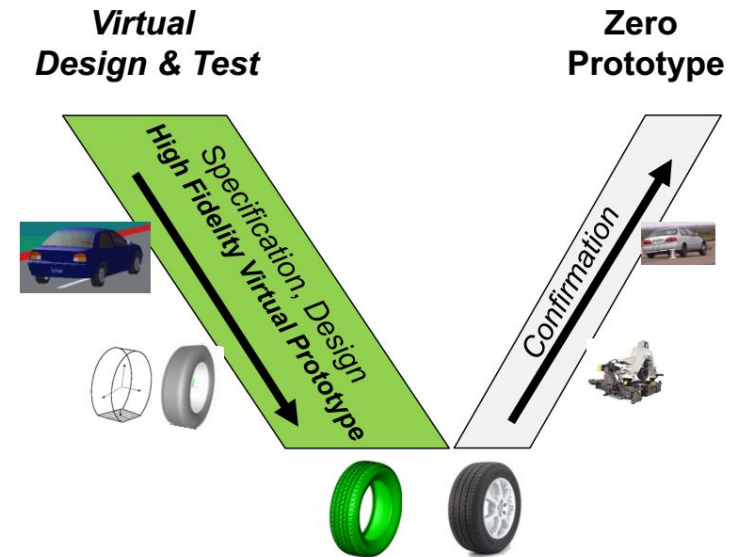
- Wire 가닥수, Wire 경
- ☞ 장착성, Bead 내구
- Bead 내경
- ☞ 장착성, Bead Slip

3. 타이어 개발 process에서 동역학 역할

현재 타이어 개발
Process



앞으로 타이어 개발
Process



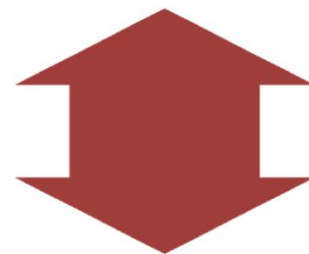
3. 타이어 개발 process에서 동역학 역할

1

차량 거동에서의 타이어 역할

Ride

: Suspension, Seat, **Tire**



Braking

: Brake System, **Tire**



Acceleration

: Engine, Transmission, **Tire**

Handling

: Suspension, Steering System, **Tire**

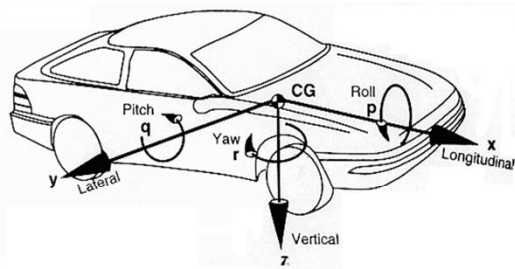


3. 타이어 개발 process에서 동역학 역할

2

지면과 마찰력 발생시키는 역할로서의 타이어

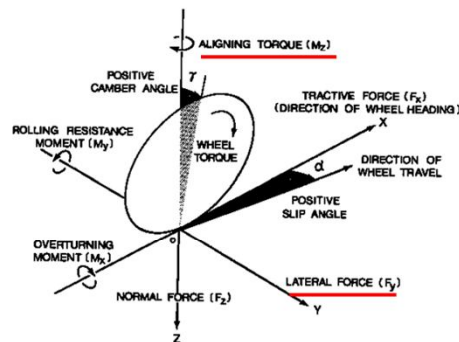
SAE Vehicle axis system



병진운동
x : Longitudinal
y : Lateral
z : Vertical

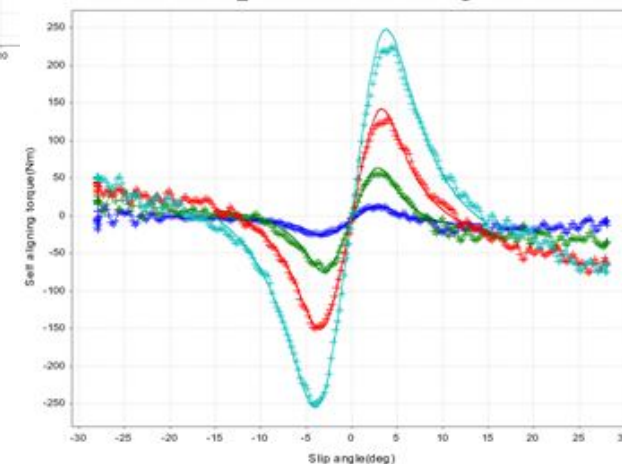
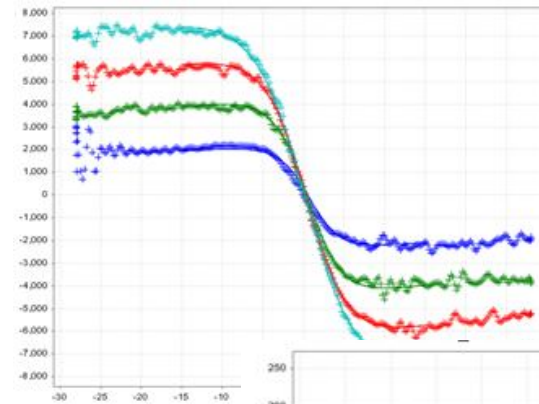
회전 운동
x : Rolling
y : Pitching
z : Yawing

SAE Tire axis system



Force in
x : Traction/Braking
y : Handling
z : Vehicle Load

Moment in
x : (Handling)
y : Rolling Resistance
z : Handling



▶ 지면과 마찰중인 타이어는 3방향의 힘(Force)와 모멘트(Moment)를 발생시키고, 이와 같은 F&M 특성이 차량 운동성능을 결정하는 핵심 기술 요소임.

▶ 타이어 F&M 특성은 Slip 각, Camber 각, Slip ratio, 하중, 주행 속도에 따라 변하는 특성을 가짐.

▶ 타이어 F&M Mechanism 의 차량 설계 반영 기법의 발전

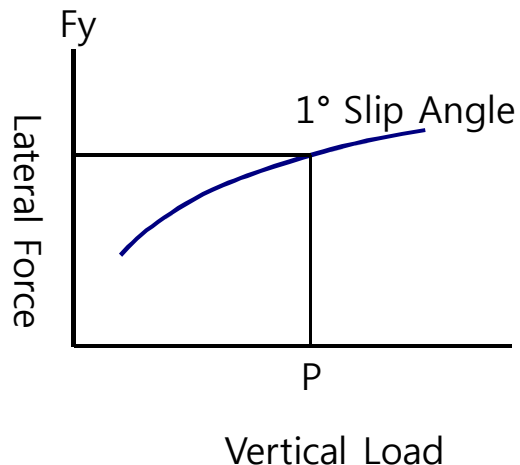
- 복잡한 특성 그래프의 단순화 기법 -> GM F&M Characteristics
- 다물체 동역학 Simulation 용 타이어 모델링 기법 -> MF-Tire model, F-Tire Model, MF-SWIFT tire model, CD tire model,....

3. 타이어 개발 process에서 동역학 역할

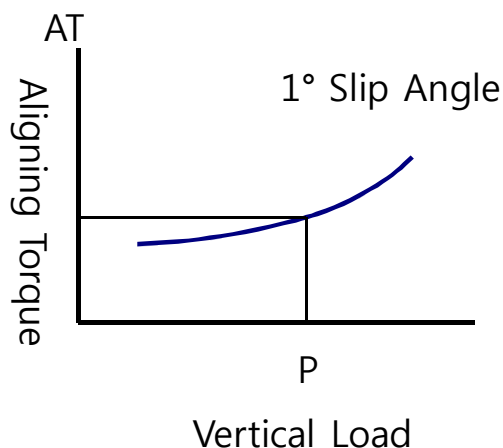
3

GM Tire F&M Characteristics

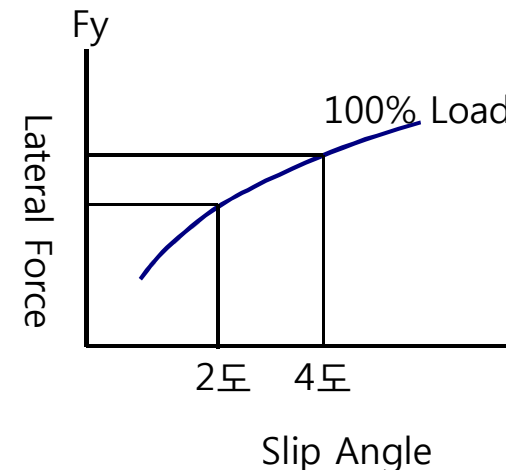
Cornering Coefficient = F_y/P



Aligning Coefficient = AT/P



Cornering Power 24 = $F_y(4) - F_y(2)$



1) Cornering Coefficient (CC1~10) :

- 각각의 Slip Angle에서 발생하는 Lateral Force를 적용 축하중으로 나눈 값으로 일반적으로 클수록 핸들링에 유리하다.

$$F(F_z, \alpha = 1) = CC(F_z)$$

2) Aligning Torque Coefficient (ATC1~10) :

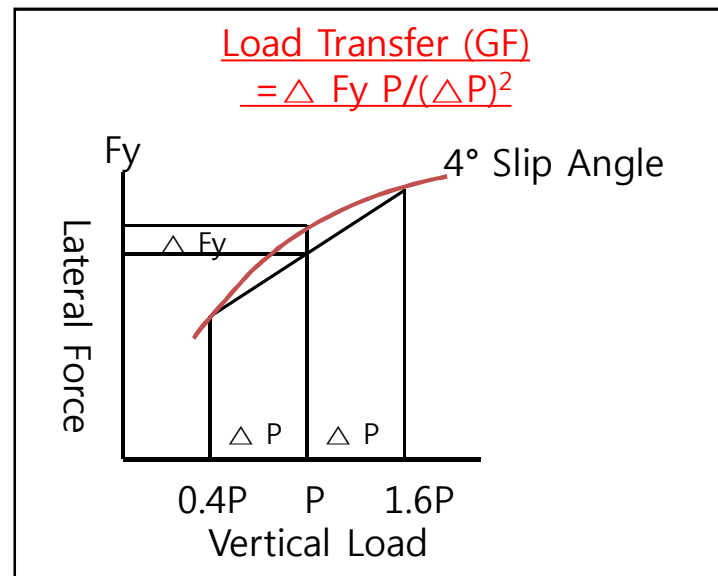
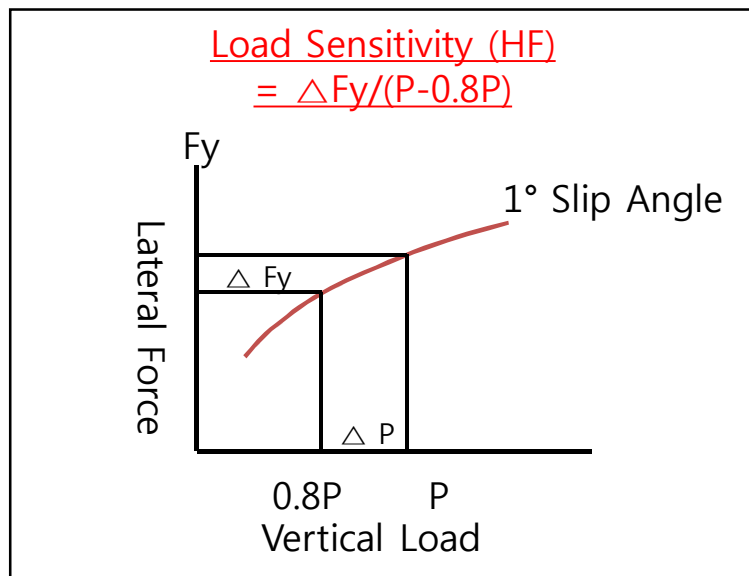
- 각각의 Slip Angle에서 발생하는 Self Aligning Torque를 적용 축하중으로 나눈 값이며 Lateral Force가 증가하면 같이 증가하는 경향을 갖는다.

$$AT(F_z, \alpha = 1) = ATC(F_z)$$

3) Cornering Power 24 (CP24):

- Slip Angle이 2도에서 4도로 변하는 동안의 Lateral Force 변화량이며, 값이 클수록 핸들링에 유리하다.

3. 타이어 개발 process에서 동역학 역할



4) H-Functions 1:

- Slip Angle이 1도 일때 축하중이 80%에서 100%로 변화하는 동안 Lateral Force의 변화량이며 **Load Sensitivity Function**이라고도 한다.
- 일반적으로 승차하중에 대한 Lateral Force 의 민감도를 나타낸다.

$$H(\alpha) = \frac{F_y(P, \alpha) - F_y(0.8P, \alpha)}{0.2P}$$

5) G-Functions 4:

- Slip Angle이 4도일 때 축하중이 40%에서 160%로 변화하는 동안의 Lateral Force 변화량이며 **Load Transfer Function** 이라고도 한다.
- 코너링시 좌우 축하중 전이에 따른 Lateral Force의 평균값과 실제값의 차이이다.

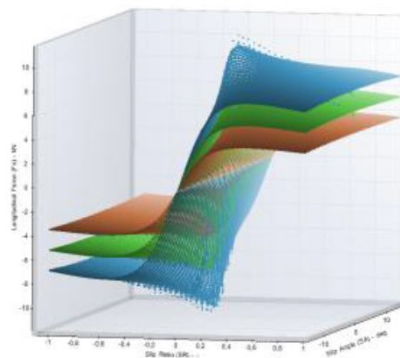
$$G(\alpha) = \frac{[F_y(P, \alpha) - \frac{1}{2}(F_y(0.4P, \alpha) + F_y(1.6P, \alpha))][P]}{(0.6P)^2}$$

3. 타이어 개발 process에서 동역학 역할

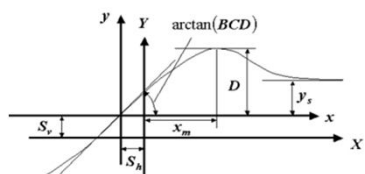
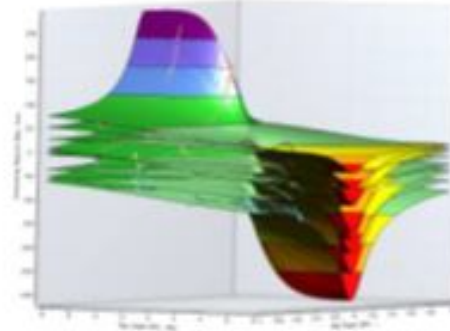
3 Tire model for vehicle dynamics simulation



SR - Fx - SA



MF - SA



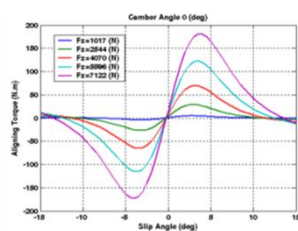
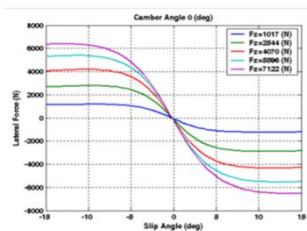
$$y'(x) = D \sin [C \arctan \{Bx - E(Bx - \arctan(Bx))\}]$$

$$B = (dy / dx_{(x=0)}) / CD$$

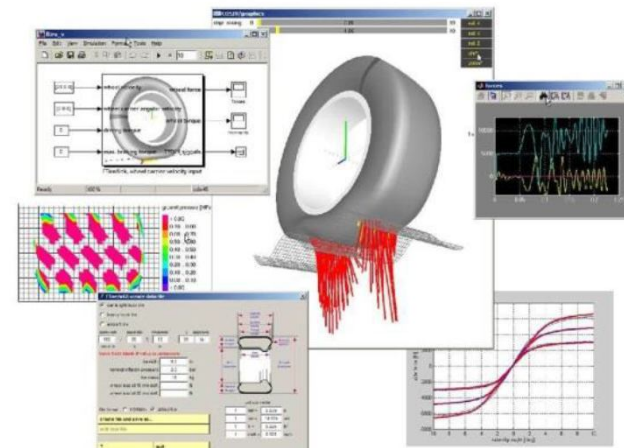
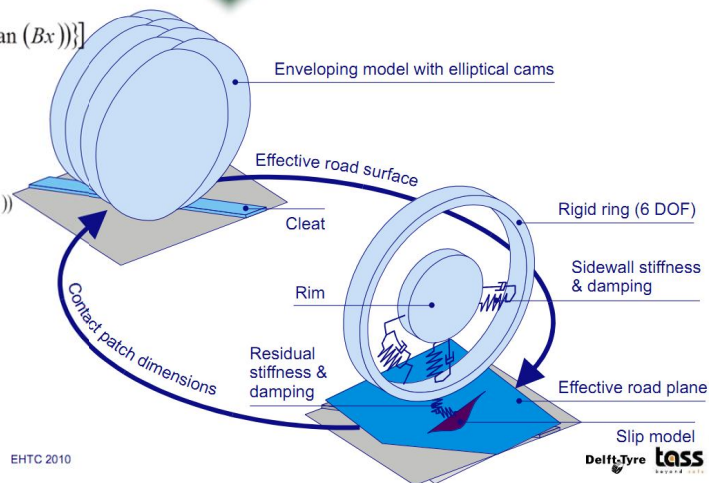
$$C = \frac{2}{\pi} \arcsin \left(\frac{y_s}{D} \right)$$

$$D = y_{\max}$$

$$E = (BX_m - \tan(\pi/2C)) / (BX_m - \arctan(BX_m))$$



EHTC 2010



MF Tire for Handling Simulation

SWIFT Tire for Ride&Handling Simulation

FTire Tire for NVH, Ride, Durability Simulation

3. 타이어 개발 process에서 동역학 역할

4

신뢰성 높은 차량 해석을 위한 필요한 Infra.

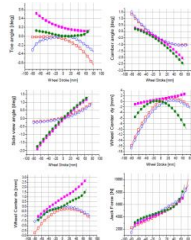
타이어 모델



- MF-tire
- MF-swift
- F-tire

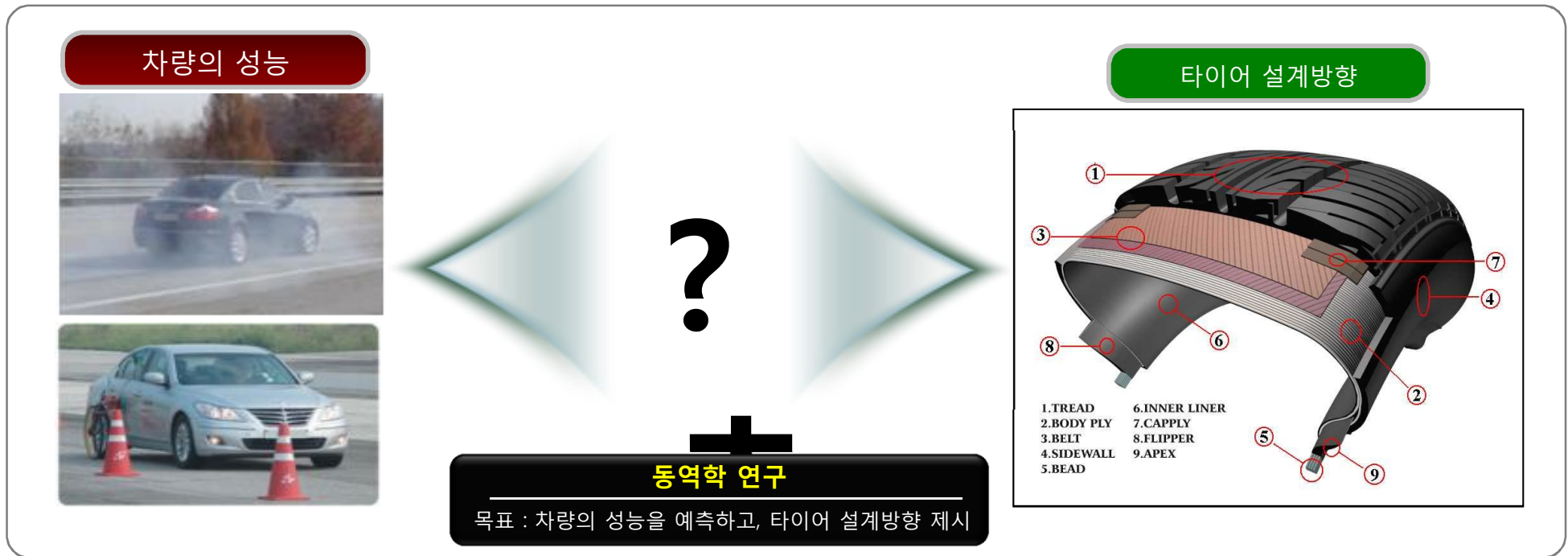


차량 모델



운전자 감성의 정량화 모델





동역학 연구의 난제	하지만 차량의 성능과 타이어 성능 관계를 직접적으로 연구하는 것은 거의 불가능함.
이유	차량 성능에 대한 판단은 수치값이 아닌 차량 운전자의 주관적 판단
	차량은 수만개 부품으로 구성되었고 타이어는 비선형 복합체로 구성됨
	대안적으로 사용하는 해석적 방법의 경우 해석 차량 모델의 정도의 오차 및 차량 모델 입수의 어려움
난제 극복 방안	차량의 성능과 타이어 설계 연구는 3가지 단계로 구분한 접근법이 필요함.