

DMQA open seminar

---

# 타이어 산업 데이터 특징 및 성능 예측 사례

---

2021. 7. 2

Data Mining & Quality Analytics Lab.

발표자: 황석철

[hsc841123@korea.ac.kr](mailto:hsc841123@korea.ac.kr)

1. 타이어 도메인 소개
2. 타이어 산업 데이터 특징
3. Machine Learning 적용 사례
  - 타이어 연비 성능 예측
4. 정리



### ❖ 황 석 철

- 기계공학 전공 (구조해석, 최적설계)
- 고려대학교 산업경영공학과 Data Mining & Quality Analytics Lab.
- 지도 교수 : 김성범 교수님
- 석사 과정 (2021. 3 ~)

### ❖ 관심연구분야

- Machine Learning & Deep Learning

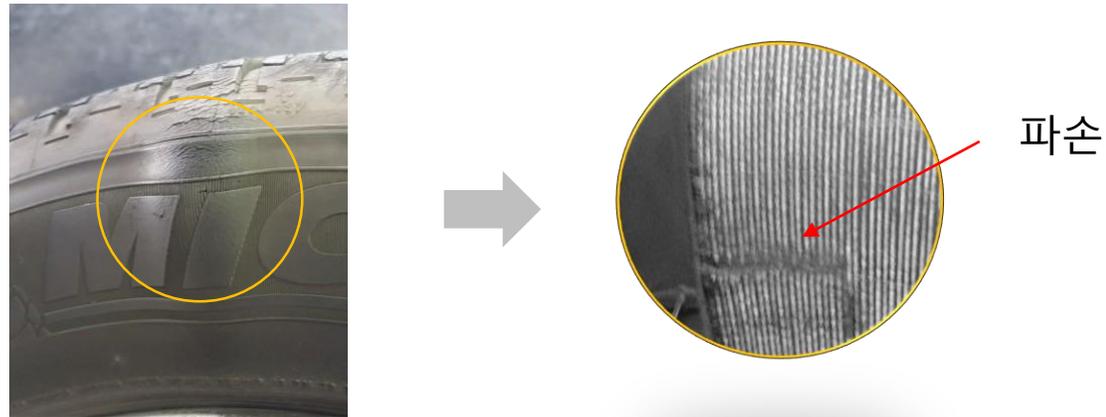
### ❖ 연락처

- hsc841123@korea.ac.kr

# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ Tip

- 타이어 옆면 **사이드 월 (Sidewall)**도 점검하세요.
- 타이어 옆면에 볼록 튀어나온 부분이 있다면 위험합니다. 빨리 교체하세요.



원인 ) 타이어의 골격에 해당하는 카카스 (Carcass) 섬유 코드 절단

# 1. 타이어 도메인 소개

- 타이어 개요
- 타이어 구조
- 타이어 성능 평가

# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어

- 차량에 장착되어 차량의 하중을 지지하고, 구동, 제동, 조향, 충격 완화의 역할을 수행하는 부품
- 자동차 부품 중 유일하게 지면과 맞닿아 있는 부품으로 차량에 성능에 기여도가 높음



자동차 - 타이어



사람 - 신발

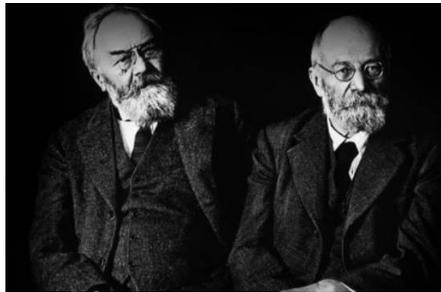
# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 역사

- 1888년 스코틀랜드 의사 존 보이드 던롭에 의해 공기를 넣는 타이어 발명

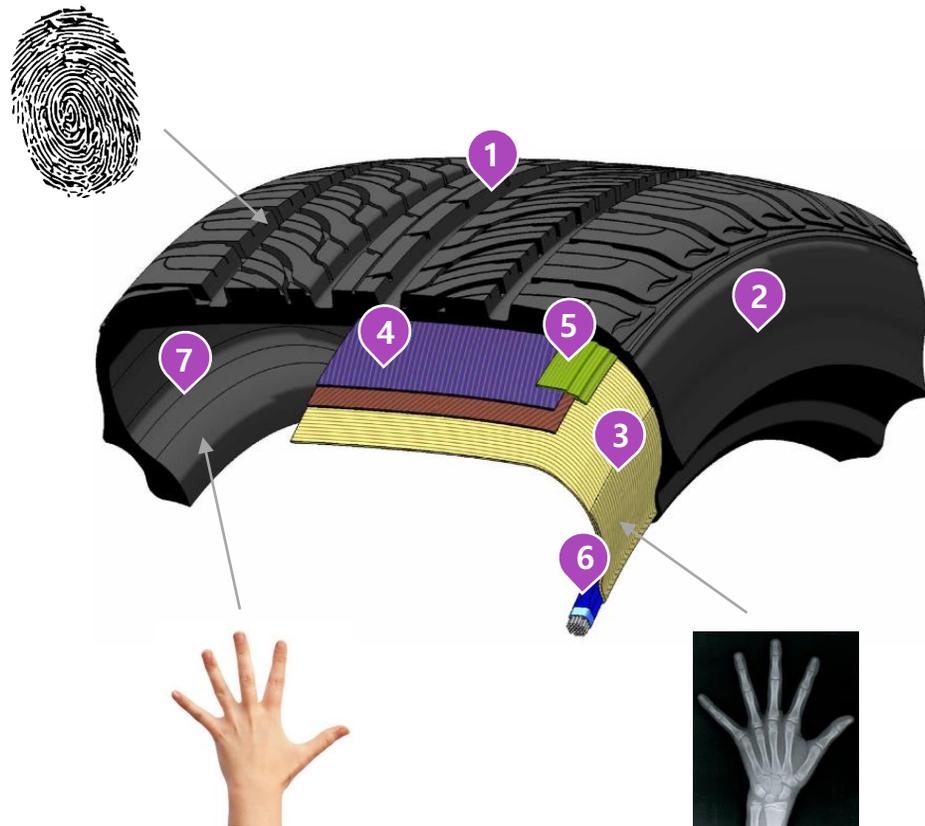


- 1895년 프랑스 미쉐린 형제가 자동차용으로 상용화



# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 구조



1. 트레드 (Tread)
2. 사이드 월 (Sidewall)
3. 카카스 (Carcass)
4. 벨트 (Belt)
5. 캡 플라이 (Cap Ply)
6. 비드 (Bead)
7. 이너라이너 (Inner Liner)



# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 구조



### 1 트레드 (Tread) / 재료 : 고무

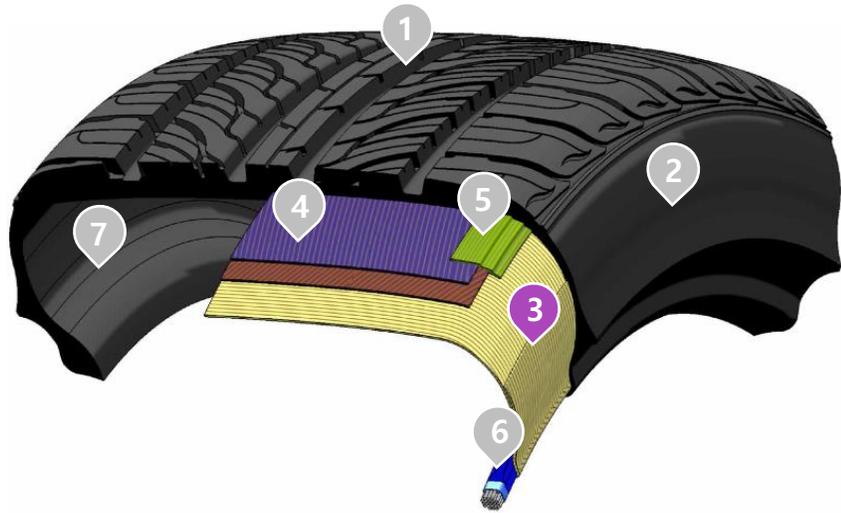
- 노면과 접촉하는 부분
- 표면 Tread Pattern 각인  
제동력, 구동력, 선회력, 배수성 등의 기능을 강화
- 충격/외상으로부터 내부 카카스(Carcass) 를 보호

### 2 사이드 월 (Sidewall) / 재료 : 고무

- 주행 중 지속적인 굴신 운동을 지지함
- 상표명, 사이즈, 안전표시 등의 정보를 각인
- 습기나 마찰로부터 카카스 코드(Carcass Cord)를 보호

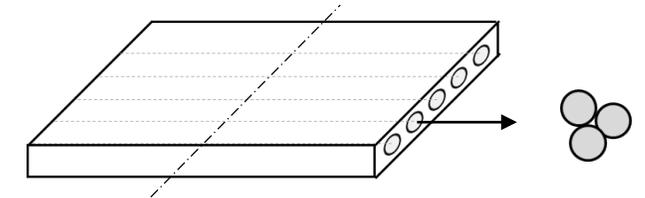
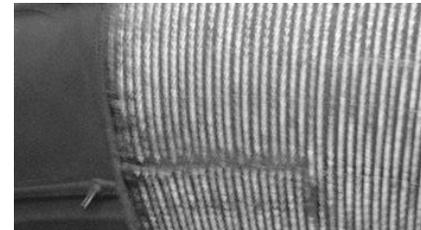
# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 구조



### 3 카카스 (Carcass) / 재료 : 섬유 코드 + 고무

- 타이어의 골격
- 공기압 지지를 위해 강함 필요
- 하중 변화와 충격을 흡수를 위해 유연함 필요



\* Carcass Cord 각도 : 90°

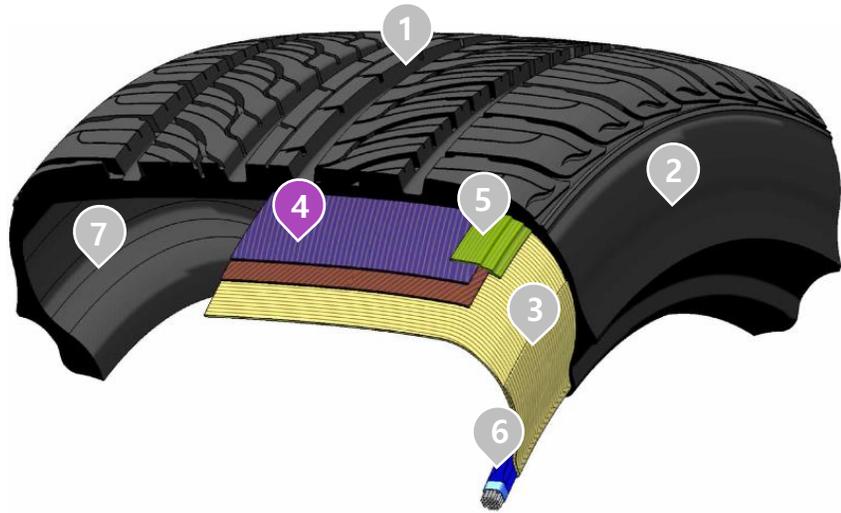


밭줄과 같이 꼬임

동일 직경의 섬유 코드 대비 무게 ↓ 강도 ↑

# 1. 타이어 도메인 소개

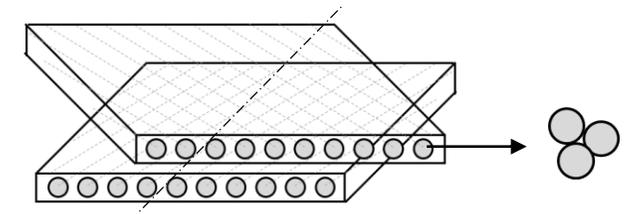
## ❖ 타이어의 구조



4

### 벨트 (Belt) / 재료 : Steel 코드 + 고무

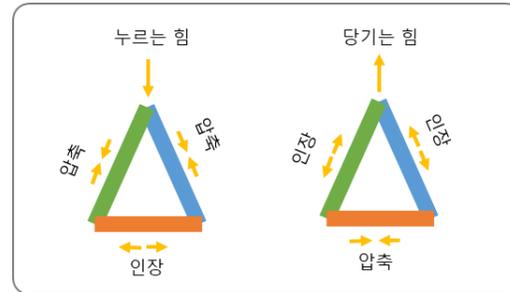
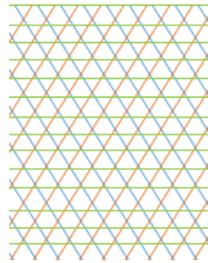
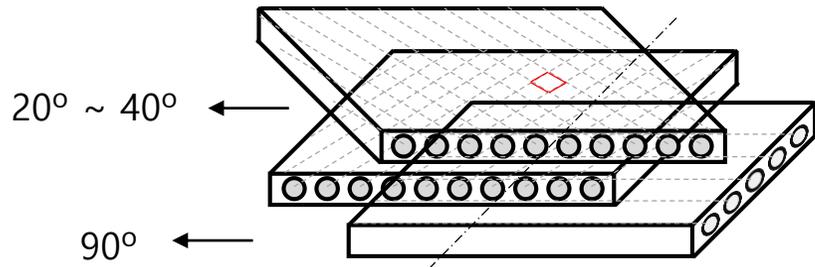
- 트레드와 카카스 사이에 위치한 원주방향 보강층
- 외부 노면 충격으로 부터 카카스를 보호
- 트레드부 형상 유지 및 조종성 및 안정성 강화
- 일반적으로 2장의 벨트가 그물과 같이 다른 각도로 적층



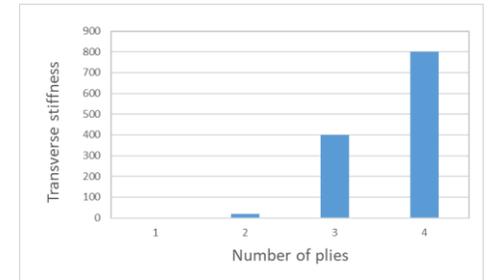
\* Steel Cord 각도 : 20° ~ 40°

# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 카카스, 벨트 적층 구조 특징

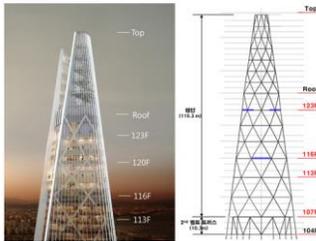


\* 힘을 상호 지지해 주는 구조 형태



카카스 1장 : 카카스 2장 + 벨트 2장  
1 : 800배 강성 증가

ex)



다이아 그리드 구조



트러스(Truss) 교량



나무 합판



카본 Plate

# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 구조



5

### 캡 플라이 (Cap Ply) / 재료 : 섬유 코드 + 고무

- 벨트를 보호
- 주행 시 벨트의 움직임을 지지하여 움직임을 최소화

6

### 비드 (Bead) / 재료 : Steel 코드 + 고무

- 비드 와이어 (Bead Wire), 비드 필러(Bead Filler) 로 구성
- 비드 와이어 : 타이어와 휠을 고정하고 기밀성을 유지하는 역할
- 비드 필러 : 사이드 월 지지
- 림 프로텍터 : 휠 보호

7

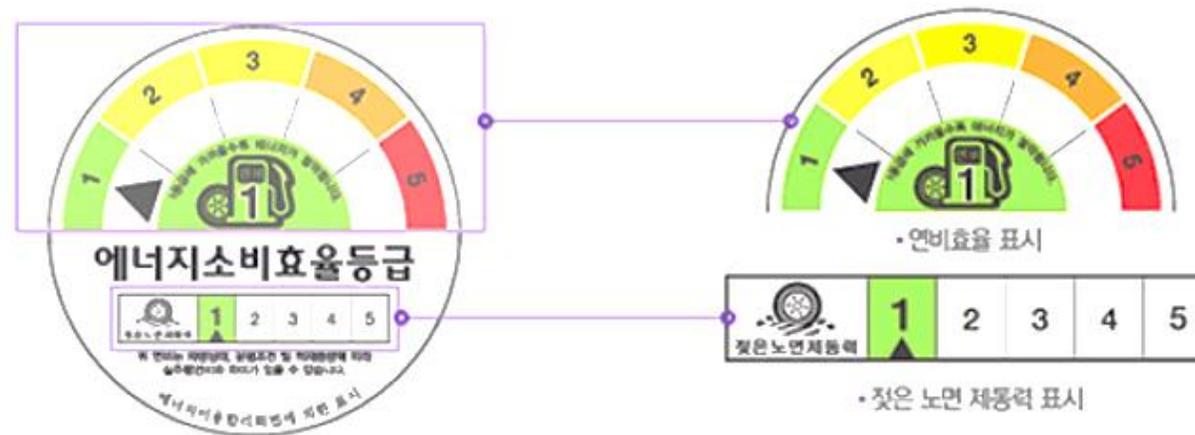
### 이너라이너 (Inner Liner) / 재료 : 고무

- 타이어 내부의 공기 누출을 방지하는 고무층

# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 주요 성능

- 제동, 핸들링(Handling), 승차감, 연비, 마모(내구)성능이 대표적
- 타이어의 성능평가 방법은 매우 다양하고, 완성차 업체 마다 다른 방법과 기준 적용
- 연비 성능과 젖은 노면(빗길) 제동력은 라벨링 제도 시행 이후 소비자가 직접 등급 확인이 가능



# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 주요 성능 평가 항목

- 제동 : 브레이크를 작동 후 멈출 때 까지 거리를 평가 (젖은 노면, 마른 노면)
- 핸들링 (Handling) : 조향 시 타이어의 반응성 평가 (젖은 노면, 마른 노면)

영상 출처 : AutoView



제동 실차 시험



핸들링 실차 시험

# 1. 타이어 도메인 소개

## ❖ 타이어의 주요 성능 평가 항목

- 승차감 : 소음, 진동 성능을 평가
- Snow : 눈길에서 타이어의 성능을 평가함 (제동, 핸들링 등)

영상 출처 : AutoView



승차감 실차 시험



Snow 실차 시험

## 2. 타이어 산업 데이터 특징

- 불확실성

## 2. 데이터 특징

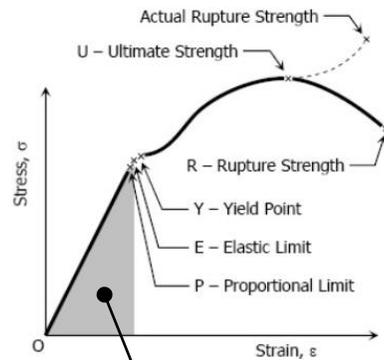
### ❖ 제조업에서 데이터의 불확실성을 발생시키는 대표적인 원인

- 재료 비선형 : 비선형 거동을 하는 재료를 적용한 제품의 경우
- 기하 비선형 : 제품의 변형량이 매우 큰 경우
- 접촉 및 부품 간 상호작용에서 발생하는 비선형 : 물체가 다른 물체와 접촉하거나, 회전하는 경우

### ❖ 재료 비선형

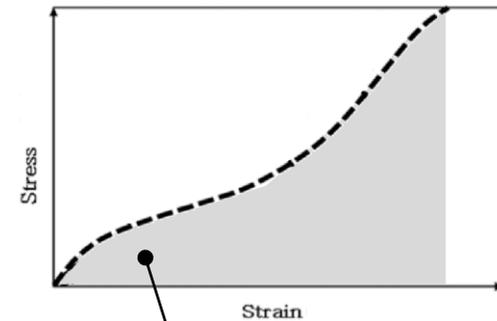


인장 시험기



탄성 구간 - 선형

불확실성



탄성 구간 - 비선형

## 2. 데이터 특징

### ❖ 기하학적 비선형

- 제품의 작동 범위가 크거나, 작동 시 변형이 큰 경우



불확실성



### ❖ 접촉 및 부품 간 상호 작용에 따른 비선형

- 마찰 하거나 여러 부품이 결합되어 작동하는 경우



불확실성



## 2. 데이터 특징

### ❖ 타이어 재료의 불확실성

- 타이어의 주 재료인 고무는 고무 나무에서 채취하는 농산물이다.
- 지역, 종자, 날씨에 따라 사과의 맛이 다르듯, 고무의 특성 또한 다르다.



고무 나무 → 고무



고무 = 농산물

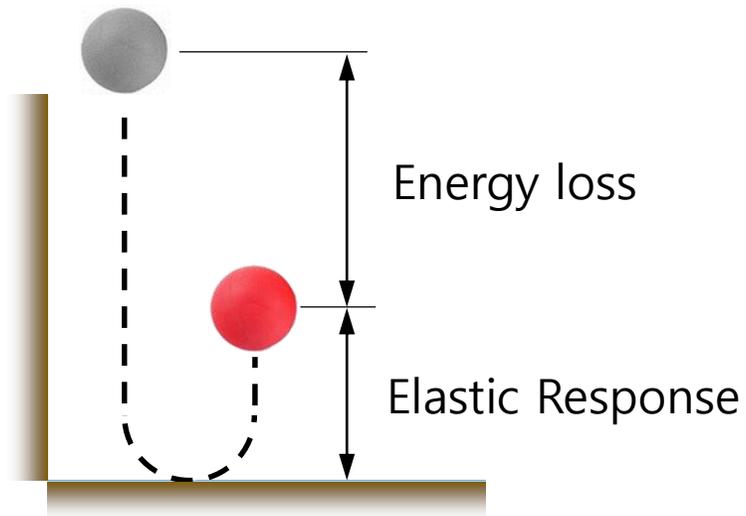


합성고무 + 첨가제

## 2. 데이터 특징

### ❖ 고무

- 점탄성 성질 : 액체와 고체의 성질을 동시에 가짐
- 가공이 용이하고 가격이 저렴



에너지 손실 = 충격 완화

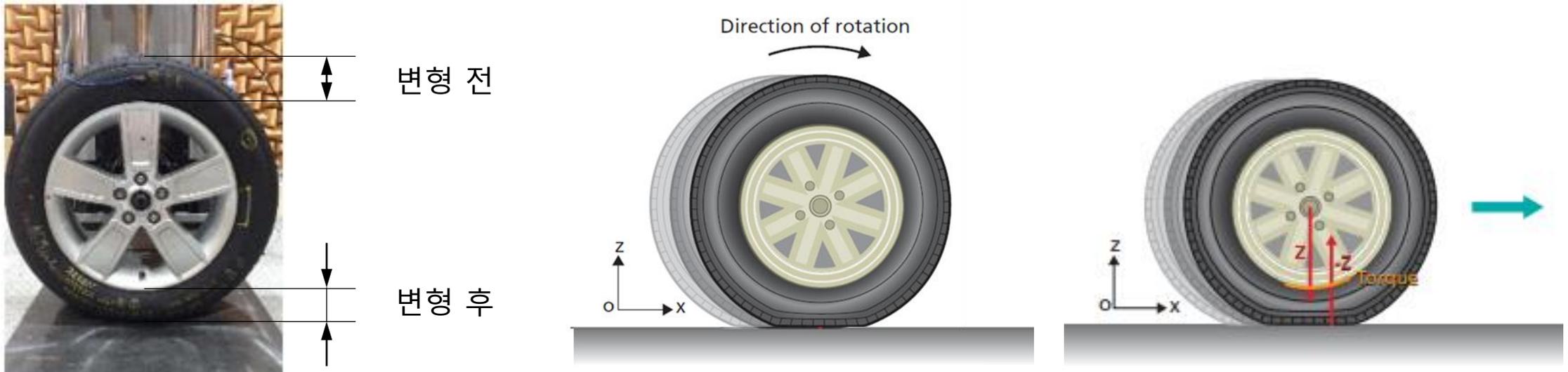


속도에 따라 탄성이 변함

## 2. 데이터 특징

### ❖ 타이어의 구동 조건에 따른 불확실성

- 타이어는 차량 무게, 사람 무게를 지지함 → 타이어 크기 대비 큰 변형 발생
- 타이어가 회전함에 따라 변형, 복원의 과정이 반복 → 접지면 반력의 불균형 발생



출처 : Michelin Rolling resistance and fuel savings

## 2. 데이터 특징

### ❖ 타이어의 제조 공정 따른 불확실성

- 고무로 형상을 만들기 위한 "가류" 공정 → 원하는 모양의 틀에 고무를 넣고 열을 가함
- 가류 공정 중 열이 가해지고 식는 과정에서 형상이 변하게 됨 → 오차가 발생



비슷하지만 차이가 있음

### ❖ 불확실성을 발생시키는 원인에 의해 타이어는 허용 오차 내에서 생산 차수 마다 차이가 있음

# 3. Machine Learning 적용 사례

- 타이어의 연비 성능 예측

### 3. Machine Learning 적용 사례

#### ❖ 주제

- Machine Learning 을 적용한 타이어 연비(회전 저항) 성능 예측
- 설명변수(X) : 타이어 설계 데이터 (치수, 재료, 구조 Type 등)
- 반응변수(Y) : 회전 저항 실내 시험 결과 (RRc : Rolling Resistance Coefficient)



타이어의 연비(회전 저항) 개념



회전 저항 실내 시험기

출처 : KATECH

### 3. Machine Learning 적용 사례

#### ❖ 데이터 전처리

- 전체 Data 수 : 69,257 개
- 설명 변수(X) : 124개 / 반응 변수(Y) : 1개

설명변수 (X)
  반응변수 (Y)

	제품명	타이어 크기	폭	편평비	휠 크기	Ply Rate <sup>1)</sup>	시험 휠	시험 속도	시험 압력	시험 하중	구조 Type <sup>2)</sup>	Outer Diameter	Section Width	...	Tread Compound	...	Y
O1	AAA	205/55R16	205	55	16	SL	6.5	60.0	2.14	492	SOT	627	221	...	A123	...	5.51
O2	BBB	215/45R18	215	45	18	SL	7.0	60.0	2.14	520	SOT	647	185	...	A123	...	6.52
O3	CCC	225/35ZR19	225	35	18	SL	7.0	60.0	2.14	420	TOS	633	189	...	B123	...	7.13
O4	DDD	195/55R16	195	55	16	SL	6.0	60.0	2.14	492	SOT	617	215	...	B123	...	6.7
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
On	EEE	225/55R16	225	55	16	SL	6.5	60.0	2.14	552	TOS	649	240	...	C123	...	6.85

Tire Information

Test Condition

Tire design value

Material

### 3. Machine Learning 적용 사례

#### ❖ 데이터 전처리

- 전체 Data 수 : 69,257개 → 47,453개

- 반응변수(Y) 결측치 및 설명변수(X) 결측치를 포함한 Data 삭제

	제품명	타이어 크기	폭	편평비	휠 크기	Ply Rate <sup>1)</sup>	시험 휠	시험 속도	시험 압력	시험 하중	구조 Type <sup>2)</sup>	Outer Diameter	Section Width	...	Tread Compound	...	Y
O1	AAA	205/55R16	205	55	16	SL	6.5	60.0	2.14	492	SOT	627	221	...	A123	...	5.51
O2	BBB	215/45R18	215	45	18	SL	7.0	60.0	2.14	520	SOT	Nan	185	...	A123	...	Nan

- 설명변수(X) : 124개 → 39개 / 반응 변수(Y) : 1개

- 종속 설명변수 제거 (ex. 조합으로 표현된 설명변수, 설명변수 X1이 결정되면 동시에 결정되는 X2, X3, X4 제거)

타이어 크기	폭	편평비	휠 크기
205/55R16	205	55	16
215/45R18	215	45	18



+ +

Cord Name	EPI	Thickness	Compound
AAA	20	0.9	CCC
BBB	23	1.2	DDD



### 3. Machine Learning 적용 사례

#### ❖ 데이터 전처리

- 범주형 Data 처리 → One-Hot Encoding 또는 수치형 변환

Ply Rate	구조 Type
SL	SOT
SL	SOT
SL	TOS
XL	SOT
...	...
SL	TOS

→

Ply Rate_1	Ply Rate_2	구조 Type_1	구조 Type_2
1	0	1	0
1	0	1	0
1	0	0	1
0	1	1	0
...	...	...	...
1	0	0	1

One-Hot Encoding

Tread Compound
A123
A123
B123
B123
...
C123

→

M50	M100	M300	T60
12	11	9	0.1
12	11	9	0.1
14	13	8	0.09
14	13	8	0.09
...	...	...	...
15	14	11	0.15

수치형 변환 (재료의 특성값으로 변환)

ex)

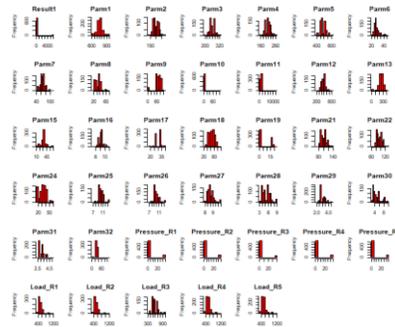
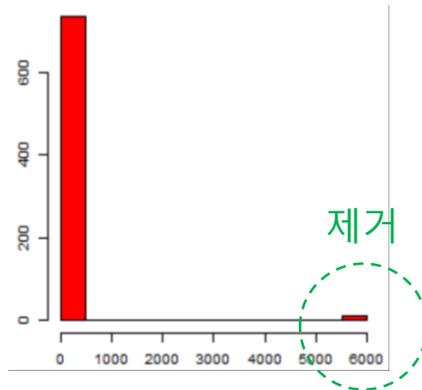
SM45C = 207.0 GPa	유리 = 71 GPa	나무 = 12 GPa
		

### 3. Machine Learning 적용 사례

#### ❖ 데이터 전처리

- 이상치 확인 및 처리

- 단위 표현 오류 정정 ( ex. 소수점 기호 차이에 따른 Data 오류 “,” 로 사용하는 국가 )



Outer Diameter	Section Width
627	221
6470	185
633	189
617	2150
...	...
<del>1</del>	<del>240</del>

Outer Diameter	Section Width
627	221
647	185
633	189
617	215
...	...
649	240

### 3. Machine Learning 적용 사례

#### ❖ 예측 모델링

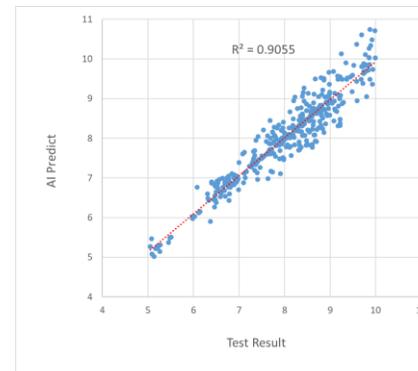
- 실험 : 훈련데이터 80%, 테스트데이터 20% 분할, 모델별 10회 반복 실험
- 평가 지표 : 10회 평균  $R^2$

	Random Forest	Light GBM	Decision Tree	SVM
$R^2$	0.951	0.940	0.856	0.917

- Hyper Parameter 를 변경하여 최종  $R^2$  : 0.960

#### ❖ Beta Test

- GUI 구성 후, 타이어 개발자 대상 1개월간 Beta Test 진행
  - 총 검증 설계안 수 : 373 개
  - 검증  $R^2$  : 0.9055



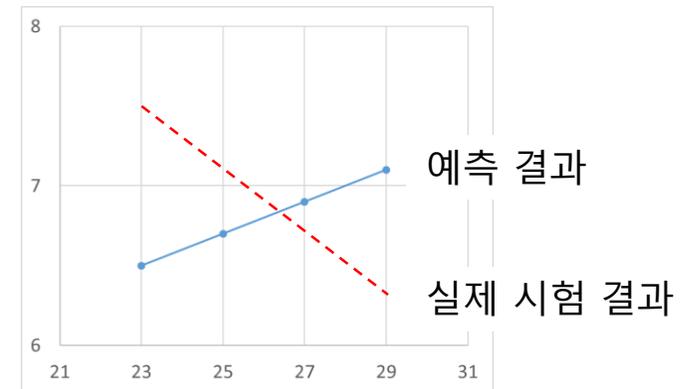
### 3. Machine Learning 적용 사례

#### ❖ 문제점

- 실제 타이어 개발 시 성능 예측값도 중요하지만, 설명변수의 값 변화 경향성도 중요 (개선 설계안 도출을 위해)
- 설명변수(X)의 경향이 실제 시험과 다름

ex)

	X1	X2	X3	X4
설계 1	650	23	221	49
설계 2	650	25	221	49
설계 3	650	27	221	49
설계 4	650	29	221	49



타이어 개발자는 X2 값이 작아지면 성능이 좋아진다고 생각하고, 설계안을 도출 할 것이다.  
하지만 실제로는 X2 값은 커지는 방향으로 설계를 해야 성능이 개선된다.

- 현재는 위와 같은 문제점을 해결하고 실제 타이어 개발 업무에 사용하고 있음

## 4. 정리

- ❖ 타이어의 개요와 구조, 성능 평가에 대해 설명
- ❖ 일반적인 제조업 및 타이어 도메인에서 데이터 불확실성의 원인을 간략히 소개
- ❖ Machine Learning을 성능 예측에 적용한 사례 소개

**EOD**