

오병준

BMW i3 주행 동역학 핵심 요약

1. 주행저항 4요소

차량은 아래 4가지 저항을 이겨내며 주행함.

- 공기저항 : 속도↑ → 급격히 증가
- 구름저항 : 타이어·노면 마찰
- 등판저항 : 오르막에서 증가
- 관성저항 : 가속 시 필요한 힘

총 저항:

$$F_{total}=F_d+F_r+F_g+F_a$$

2. BMW i3 주행저항 모델

$$F_{road}=104.9+1.32v+0.01043v^2 \quad F_{\{road\}}=104.9+1.32v+0.01043v^2 \quad F_{road}=104.9+1.32v+0.01043v^2$$

- v: 차량 속도(km/h)
- 속도가 증가할수록 공기저항 영향 증가

예:

- 50km/h 주행 시 약 197N 저항 발생
-

3. 회생제동(Regenerative Braking)

감속 시:

- 모터를 발전기로 사용
- 운동에너지를 전기로 회수
- 배터리에 재충전

특징:

- BMW i3는 회생제동이 매우 강한 차량
- 원페달 드라이빙 가능

운동에너지:

속도가 높을수록 회수 가능한 에너지 증가.

4. 에너지 소비 관계

- 속도↑ → 공기저항↑ → 전비 감소
 - 가속도↑ → 전류 소비 증가
 - 고도↑(오르막) → 토크·전력 증가
 - 감속 시 → 회생제동으로 일부 에너지 회수
-

5. Trip 데이터 활용 가능 분석

- 속도별 소비전력 분석
- 등판저항 분석
- 회생제동 효율 분석
- 주행저항 이상 탐지
- 정속주행 효율 분석

탭 5

Trip 데이터 기반 동역학 도메인

1. 공기저항 (Aerodynamic Drag)

관련 컬럼:

- Velocity [km/h]
- Battery Current [A]

도메인:

- 속도 증가 시 전류 소비 증가
- 고속일수록 공기저항 영향 커짐

즉:

속도가 빨라질수록 전비 급격히 감소 가능.

2. 등판저항 (Grade Resistance)

관련 컬럼:

- Elevation [m]
- Motor Torque [Nm]
- Battery Current [A]

도메인:

- 고도 상승 시 토크 증가
- 배터리 전류 증가

즉:

오르막에서 에너지 소비 증가

3. 관성저항 / 가속저항

관련 컬럼:

- Longitudinal Acceleration [m/s²]
- Motor Torque [Nm]
- Battery Current [A]

도메인:

- 급가속 시 전류 급증
- 토크 증가

즉:

급가속이 전비 악화의 큰 원인.

4. 회생제동 (Regenerative Braking)

관련 컬럼:

- Regenerative Braking Signal
- Battery Current [A]
- Velocity [km/h]

도메인:

- 감속 시 음수 전류 발생
- 운동에너지 회수

즉:

감속 에너지를 배터리로 재충전.

5. HVAC 에너지 소비

관련 컬럼:

- Heating Power CAN [kW]
- AirCon Power [kW]
- Ambient Temperature
- Cabin Temperature Sensor

도메인:

- 외기온도 낮을수록 난방 사용 증가
- 실제 주행전비 악화 가능

즉:

겨울철 전비 저하 원인 분석 가능.

6. 배터리 열관리

관련 컬럼:

- Battery Temperature
- max. Battery Temperature
- Coolant Temperature

도메인:

- 배터리 온도 낮으면 내부저항 증가
- 효율 저하 가능

즉:

저온 환경 배터리 효율 분석 가능.

답 6

1. 전비(Efficiency) 기반 파생변수

① 소비전력(kW)

가장 중요.

$$P=VI$$

- V: Battery Voltage
- I: Battery Current

의미:

- 실제 차량 에너지 사용량.
-

② km당 에너지 소비량

$$\text{Wh/km} = \frac{\text{Power}}{\text{Velocity}} \quad \text{Wh/km} = \frac{\text{Power}}{\text{Velocity}}$$

의미:

- 전비 직접 표현
 - 주행거리 예측 핵심 feature.
-

③ SOC 감소율

$$\text{SOC drop rate} = \frac{\Delta \text{SOC}}{\text{Distance}} \quad \text{SOC drop rate} = \frac{\Delta \text{SOC}}{\text{Distance}}$$

의미:

- 배터리 소모 속도
- Range prediction 핵심.

2. 주행저항 기반 파생변수

④ Road Load Force

네가 준 식 그대로 활용 가능.

$$F_{road} = 104.9 + 1.32v + 0.01043v^2 \quad F_{road} = 104.9 + 1.32v + 0.01043v^2$$

의미:

- 속도 기반 이론 주행저항.
-

⑤ 등판저항

$$F_g = mg \sin \theta \quad F_g = mg \sin \theta$$

파생:

- elevation diff
- slope
- cumulative climb

의미:

- 오르막 전력 증가 반영.
-

⑥ 가속 에너지

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

파생:

- 급가속 빈도
- acceleration variance

의미:

- aggressive driving 반영.

3. 회생제동 기반 변수

⑦ Regen Ratio

$$\text{Regen Ratio} = \frac{\text{Recovered Energy}}{\text{Consumed Energy}} \quad \text{Regen Ratio} = \frac{\text{Recovered Energy}}{\text{Consumed Energy}}$$

의미:

- 회생제동 효율
 - 도심주행 효율 분석 가능.
-

⑧ 음수 전류 비율

- Battery Current < 0 비율

의미:

- 회생제동 빈도
- 도심 주행 특성 반영.

4. HVAC 기반 변수

⑪ HVAC Load Ratio

$$\text{HVAC Ratio} = \frac{\text{Heating} + \text{AirCon}}{\text{Total Power}} \quad \text{HVAC Ratio} = \frac{\text{Heating} + \text{AirCon}}{\text{Total Power}}$$

의미:

- 겨울철 전비 저하 설명 가능.

윤채원

1. 리튬이온 배터리 작동 원리

리튬이온 배터리는 양극, 음극, 전해질, 분리막으로 구성된다.

양극에는 주로 **LFP**나 **NMC** 같은 리튬 화합물이 사용되고 음극에는 흑연이 쓰인다.

BMW i3 60Ah 모델은 **LFP** 계열을 사용하는데 열 안정성이 높아서 **HVAC** 부하에 상대적으로 강한 편이다.

작동 원리의 핵심은 리튬이온의 이동이다.

방전 시에는 Li^+ 이온이 음극에서 전해질을 통해 양극으로 이동하고 전자는 외부 회로를 타고 흘러서 전기 에너지를 만든다.

충전 시에는 반대 방향으로 Li^+ 가 역이동한다. 회생 제동도 같은 원리로 감속할 때 모터가 발전기 역할을 해서 에너지를 배터리로 돌려보낸다. 이 구간에서는 **Battery Current [A]** 값이 음수로 찍혀서 데이터로 바로 확인할 수 있다.

차량에서는 셀 여러 개를 묶어서 모듈을 만들고, 모듈들을 합쳐서 팩이 된다.

BMW i3의 배터리 팩 총 용량은 **21.6 kWh**, 실제로 쓸 수 있는 용량은 **18.8 kWh**이다. 팩 전체를 관리하는 **BMS**가 전압, 전류, 온도를 실시간으로 감시하면서 과충전이나 과방전을 막아준다.

2. SoC / SoH 개념

SoC는 배터리에 현재 얼마나 에너지가 남아 있는지를 퍼센트로 나타낸 값이다.

공식은 $\text{SoC} = (\text{현재 잔여 에너지} / \text{총 배터리 용량}) \times 100$ 이다.

SoC가 낮아질수록 전압도 같이 떨어지는데, 이 관계는 선형이 아니라 비선형이라서 막판에 급격히 꺾인다.

주행 거리 예측 라벨을 만들 때는 **SoC**에 총 용량을 곱해서 잔여 에너지를 구하고, 현재 소비 전력으로 나누면 남은 운행 가능 시간, 거기에 평균 속도를 곱하면 예상 주행 가능 거리가 나온다.

SoH는 배터리가 얼마나 노화됐는지를 나타내는 지표이다.

SoH = 현재 최대 용량 / 초기 설계 용량 × 100으로 계산하는데, 신품일 때 100%에서 시작해서 사이클이 쌓이고 고온에 노출될수록 낮아진다.

보통 70~80% 아래로 떨어지면 배터리 교체를 고려한다.

--> 이번 데이터에는 **SoH**를 직접 관측한 값이 없음. **SoC** 감소 패턴이나 전압 거동을 통해 추정해야함.

3. 배터리 전압, 전류, 온도 상관관계

소비 전력(kW) = 전압(V) × 전류(A) / 1000이 기본 공식이다, 이걸 시간 구간마다 적분하면 구간별 에너지 소비량을 구할 수 있다. 전류가 양수일 때는 배터리가 방전 중, 음수일 때는 회생 제동이나 충전 중이다. 급가속 순간에는 전류가 급증하면서 전압이 일시적으로 뚝 떨어지는 **IR drop** 현상이 나타나고, 반대로 회생 제동 시에는 전압이 일시적으로 상승한다.

온도는 전압·전류와 밀접하게 엮여 있어. 배터리의 최적 작동 온도는 대략 **15~35°C**이며 고전류 방전이나 **HVAC** 부하가 겹치면 온도가 빠르게 올라간다. 반대로 온도가 낮으면 내부 저항이 커져서 같은 **SoC**라도 꺼낼 수 있는 전력이 줄어든다.

--> 이번 데이터에는 **Heating Power CAN [kW]**, **AirCon Power [kW]** 컬럼이 있어서 **HVAC** 가동이 배터리 온도 상승과 **SoC** 하락에 얼마나 기여하는지를 직접 분석 가능함. 회생 제동 회수율 **KPI**도 전류가 음수인 구간만 골라서 에너지를 합산하고 전체 소비량으로 나눠서 구할 수 있음.

4. 배터리 열화, 이상 상태

열화는 크게 사이클 열화와 캘린더 열화로 나뉜다.

사이클 열화는 충방전을 반복할수록 전극 재료가 손상되면서 용량이 줄어드는 것이고 캘린더 열화는 시간이 지나면서 고온 환경에서 보관할 때 진행된다.

세부 메커니즘으로는 음극에 리튬이 결정 형태로 석출되는 리튬 플레이팅, 전극 표면에 **SEI** 피막이 두꺼워지면서 내부 저항이 증가하는 현상 등이 있다. 실제

주행에서는 고속 주행, 급가속, HVAC 동시 가동 같은 상황이 반복될수록 열화가 빨라진다.

이상 상태는 크게 과열과 급방전으로 정의할 수 있다.

과열은 **Battery Temperature**가 **50°C** 이상으로 일정 시간 지속되는 경우로, 최악의 경우 열폭주로 이어질 수 있어서 가장 위험한 이상 징후이다.

급방전은 **5분** 내에 **SoC**가 **10%** 이상 급격히 떨어지는 경우로 정의할 수 있다.

--> 분류 모델을 만들 때 이 두 가지 조건을 임계값 기반 라벨로 직접 만들어서 사용.

이상 케이스는 정상 케이스보다 드물게 나타나는 클래스 불균형 문제가 생기기 때문에, 모델 평가 지표를 **Accuracy** 하나만 보지 말고 **Precision, Recall, F1-score**를 함께 봐야 함.

리튬이온 배터리 작동 원리

1. 리튬이온 배터리 작동 원리

리튬이온 배터리는 양극, 음극, 전해질, 분리막으로 구성된다.

양극에는 주로 **LFP**나 **NMC** 같은 리튬 화합물이 사용되고 음극에는 흑연이 쓰인다.

BMW i3 60Ah 모델은 **LFP** 계열을 사용하는데 열 안정성이 높아서 **HVAC** 부하에 상대적으로 강한 편이다.

작동 원리의 핵심은 리튬이온의 이동이다.

방전 시에는 Li^+ 이온이 음극에서 전해질을 통해 양극으로 이동하고 전자는 외부 회로를 타고 흘러서 전기 에너지를 만든다.

충전 시에는 반대 방향으로 Li^+ 가 역이동한다. 회생 제동도 같은 원리로 감속할 때 모터가 발전기 역할을 해서 에너지를 배터리로 돌려보낸다. 이 구간에서는 **Battery Current [A]** 값이 음수로 찍혀서 데이터로 바로 확인할 수 있다.

차량에서는 셀 여러 개를 묶어서 모듈을 만들고, 모듈들을 합쳐서 팩이 된다.

BMW i3의 배터리 팩 총 용량은 **21.6 kWh**, 실제로 쓸 수 있는 용량은 **18.8 kWh**이다. 팩 전체를 관리하는 **BMS**가 전압, 전류, 온도를 실시간으로 감시하면서 과충전이나 과방전을 막아준다.

SoC / SoH 개념

2. SoC / SoH 개념

SoC는 배터리에 현재 얼마나 에너지가 남아 있는지를 퍼센트로 나타낸 값이다.

공식은 $\text{SoC} = (\text{현재 잔여 에너지} / \text{총 배터리 용량}) \times 100$ 이다.

SoC가 낮아질수록 전압도 같이 떨어지는데, 이 관계는 선형이 아니라 비선형이라서 막판에 급격히 꺾인다.

주행 거리 예측 라벨을 만들 때는 SoC에 총 용량을 곱해서 잔여 에너지를 구하고, 현재 소비 전력으로 나누면 남은 운행 가능 시간, 거기에 평균 속도를 곱하면 예상 주행 가능 거리가 나온다.

SoH는 배터리가 얼마나 노화됐는지를 나타내는 지표이다.

$\text{SoH} = \text{현재 최대 용량} / \text{초기 설계 용량} \times 100$ 으로 계산하는데, 신제품일 때 100%에서 시작해서 사이클이 쌓이고 고온에 노출될수록 낮아진다.

보통 70~80% 아래로 떨어지면 배터리 교체를 고려한다.

--> 이번 데이터에는 SoH를 직접 관측한 값이 없음. SoC 감소 패턴이나 전압 거동을 통해 추정해야함.

배터리 전압, 전류, 온도 상관관계

3. 배터리 전압, 전류, 온도 상관관계

소비 전력(kW) = 전압(V) × 전류(A) / 1000이 기본 공식이다, 이걸 시간 구간마다 적분하면 구간별 에너지 소비량을 구할 수 있다.

전류가 양수일 때는 배터리가 방전 중, 음수일 때는 회생 제동이나 충전 중이다.

급가속 순간에는 전류가 급증하면서 전압이 일시적으로 뚝 떨어지는 **IR drop** 현상이 나타나고, 반대로 회생 제동 시에는 전압이 일시적으로 상승한다.

온도는 전압·전류와 밀접하게 엮여 있어. 배터리의 최적 작동 온도는 대략 **15~35°C**이며 고전류 방전이나 **HVAC** 부하가 겹치면 온도가 빠르게 올라간다. 반대로 온도가 낮으면 내부 저항이 커져서 같은 **SoC**라도 꺼낼 수 있는 전력이 줄어든다.

--> 이번 데이터에는 **Heating Power CAN [kW]**, **AirCon Power [kW]** 컬럼이 있어서 **HVAC** 가동이 배터리 온도 상승과 **SoC** 하락에 얼마나 기여하는지를 직접 분석 가능함.

회생 제동 회수율 **KPI**도 전류가 음수인 구간만 골라서 에너지를 합산하고 전체 소비량으로 나눠서 구할 수 있음.

배터리 열화, 이상 상태

4. 배터리 열화, 이상 상태

열화는 크게 사이클 열화와 캘린더 열화로 나뉜다.

사이클 열화는 충방전을 반복할수록 전극 재료가 손상되면서 용량이 줄어드는 것이고 캘린더 열화는 시간이 지나면서 고온 환경에서 보관할 때 진행된다.

세부 메커니즘으로는 음극에 리튬이 결정 형태로 석출되는 리튬 플레이팅, 전극 표면에 SEI 피막이 두꺼워지면서 내부 저항이 증가하는 현상 등이 있다. 실제 주행에서는 고속 주행, 급가속, HVAC 동시 가동 같은 상황이 반복될수록 열화가 빨라진다.

이상 상태는 크게 과열과 급방전으로 정의할 수 있다.

과열은 **Battery Temperature**가 **50°C** 이상으로 일정 시간 지속되는 경우로, 최악의 경우 열폭주로 이어질 수 있어서 가장 위험한 이상 징후이다.

급방전은 **5분** 내에 **SoC**가 **10%** 이상 급격히 떨어지는 경우로 정의할 수 있다.

--> 분류 모델을 만들 때 이 두 가지 조건을 임계값 기반 라벨로 직접 만들어서 사용.

이상 케이스는 정상 케이스보다 드물게 나타나는 클래스 불균형 문제가 생기기 때문에, 모델 평가 지표를 **Accuracy** 하나만 보지 말고 **Precision, Recall, F1-score**를 함께 봐야 함.

이성훈

< 도메인 정리 >

< HVAC(난방·에어컨) 시스템 & 주행 환경 >

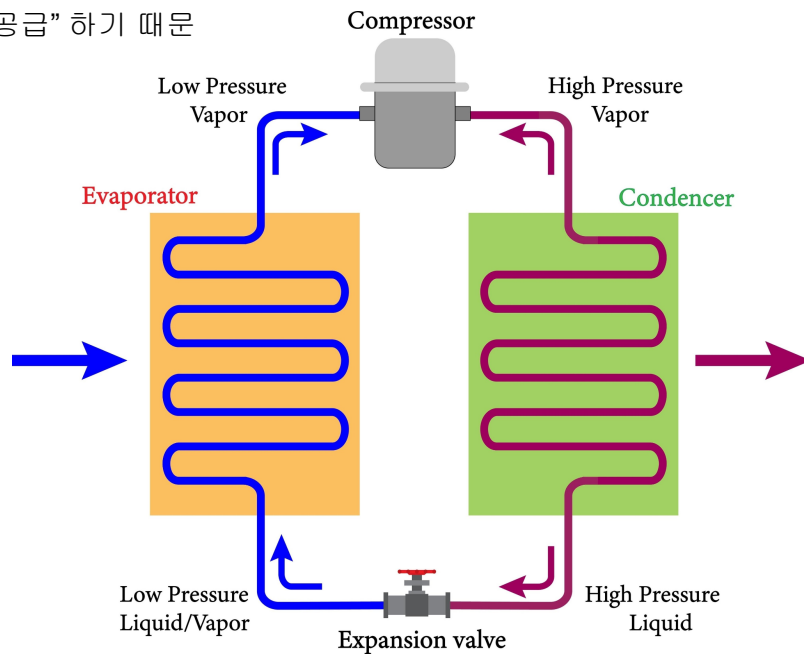
1. 전기차 HVAC가 주행거리에 미치는 영향

- a. 과거의 차량은 엔진과 에어컨 (즉, 난방과 냉방) 이 완전히 분리되어있었으나, 전기차는 통합 열관리 형태로 변화함

구분	주요 부품	역할 및 주행거리에 미치는 영향
냉매 사이클	전동 압축기	
냉각수 사이클	전동 워터 펌프	
발열 장치	고전압 PTC 히터	히트펌프의 효율이 떨어지는 극저온(영하 10°C 이하) 환경에서 보조적으로 열을 보충하는 장치

2. 히트펌프의 4대 열역학 프로세스, 에너지이동

- a. 히트펌프가 배터리를 아낄수 있는 이유는 전기를 열로 바꾸는 것이 아니라, 냉매의 압력제어를 통해 “낮은 온도의 열을 흡수하여 높은 온도로 배터리나 실내에 공급” 하기 때문



PTC 히터 vs 히트펌프 주행거리 비교 실험 연구

< 저온 환경에서의 전기차 주행거리 감소

원인 분석 및 HVAC 최적화 전략 >

1. 연구 배경

: 내연기관 차량은 엔진 구동 과정에서 발생하는 풍부한 폐열을 실내 난방에 활용하므로 동절기 연비 저하 폭이 크지 않다. 반면 엔진이 없는 전기차(EV)는 실내 난방을 위해 구동 배터리의 전기에너지를 직접 소모해야 하므로 극심한 주행거리 감소를 겪는다

2. 저온 환경(-7C)에서의 주행거리 감소 요인 분해

: 연구 결과, 영하의 환경에서 NEDC(New European Driving Cycle) 모드로 주행 시 **전기차의 총 주행거리는 상온 대비 42.8% 감소**하는 것으로 나타남

① 실내 공조(HVAC) 시스템의 영향 (핵심 요인)

- PTC 히터의 한계: 전기차에 주로 사용되는 고전압 PTC 히터는 **배터리 전력을 열에너지**로 직접 변환하는 저항 가열 방식이다.

② 배터리 정전용량 및 전기화학적 활성화도 저하

- 내부 저항 증가: 영하의 온도에서는 배터리 셀 내부의 전해액 점도가 상승하고 리튬 이온의 확산 속도가 느려진다.
- 에너지 가용성 감퇴: 이로 인해 배터리의 물리적인 정전용량 및 전기 에너지를 보유·출력할 수 있는 용량 자체가 감소한다.

③ 전기 구동 시스템(EDS, Electric Drive System) 효율 저하

- 저온 상태에서는 감속기 오일의 점도가 높아져 마찰 손실이 커지고, 모터 및 인버터의 초기 작동 효율이 저하되어 동일한 토크를 내기 위해 더 많은 전류를 필요로 한다.

- 내가 가진 데이터 셋 (컬럼)

- 외기온도 (Ambient Temp [Start])
- 목표 실내온도 (Target Cabin Temp)
- 배터리 SOC 변화량
- 배터리 온도 (Battery Temp (Start/End))
- 날씨 상태 (sunny)
- 주행거리 / 시간 (Distance /Duration)

- 파생변수 생성

- 계절 (날짜를 가지고 생성)
- 온도차이(델타 T) = Target Cabin - Ambient
- 냉난방 모드 = Target > Ambient (난방)
Target < Ambient (냉방)
- HVAC 에너지 추정
- 시간대 (아침 / 낮 / 저녁 / 밤)
- 단위거리 당 SOC 소모

- 분석 방향

- 계절별 HVAC 에너지 소비 비교
- 온도차이에 따른 배터리 소모(SOC) 회귀분석
- 냉방 VS 난방 효율 비교
- 날씨 상태에 따른 구간별 배터리 소모 차이 분석
- 배터리 온도가 HVAC 효율에 미치는 영향 분석

- [전기차 주행 거리 연구 - 첸 자오, 위청 리, 윤양, 송완, 푸용위, 청위, 청하오 덩, 안지안저우, 샤오이 셴, 2022](#)

히터코어, 열교환기 작동 원리

히터코어, 열교환기 작동 원리

- 히터 코어는 차량의 실내 난방 시스템 역할을 하며, 엔진 냉각수를 이용해 실내 공기를 데움
- 히터 코어는 차량 내부를 따뜻하게 하는 주요 수단으로, 추운 날씨 운행 시 편안함과 안전 모두에 필수적이다.. 전기 히팅 요소와 달리, 히터 코어는 엔진에서 나오는 폐열을 이용하여 차량 전기 시스템을 소모하거나 연비를 저해하지 않는 에너지 효율적인 솔루션이다.
- 히터 코어는 HVAC의 구성요소 중 하나이다. (내연기관에서 사용하는 열 전달 부품)
- 히트 코어는 PTC + 히트펌프 개념
- 전기차는 PTC 위주로 보편됨 + 히트 펌프
- PTC는 처음가동할때 3KW ~ 5KW의 전력을 소모 원하는 온도에 도달하면 전력 소비는 1KW ~ 2KW로 떨어짐. 하지만 이로 인해 주행거리는 줄어든다. 주행거리가 250마일인 전기차는 추운 환경에서 PTC 히터를 사용할 때 25마일에서 75마일(10-30%)의 연속 거리를 잃을 수 있다.

에너지 소비 비교: PTC vs. 히트펌프

- PTC 히터 – 실내 열기를 유지하기 위해 3kW에서 7kW가 필요합니다.
- 히트펌프(옥토텔브) – 1kW에서 2kW만 사용해 배터리 에너지 소모를 줄이고 주행 거리를 연장합니다.

[실내 난방 이해하기: 엔진 차량과 전기차 | 기술 드라이브 플레이](#)

날씨·외기온도와 에너지 소모 관계

< 주변 온도에 따른 전기차 에너지 소비 특징 >

① 저온/동절기 구간 (영하 7도~ 영상 5도) — 고전력 난방 부하

- 현상: 상온 대비 총 에너지 소비량이 최대 35%~45%까지 급증하여 주행거리가 가장 심하게 감소하는 구간입니다.
- 원인: 1. HVAC(난방): 실내 온도를 22°C 이상으로 유지하기 위해 PTC 히터나 히트펌프가 가동되며, 특히 주행 초기(Note의 screen defrost 등)에 막대한 피크 전력을 소모합니다.
2. 배터리 내부 저항: 저온으로 인해 배터리 셀 온도(CEL_TEM)가 낮아지면 전기화학적 활성도가 떨어져 내부 저항이 커지고, 이로 인해 배터리 자체에서 손실되는 열에너지가 늘어납니다.

② 최적 효율 구간 (영상 15도 ~ 영상 25도) — 에너지 소비 최소화

- 현상: 배터리의 전비(Wh/km)가 가장 뛰어난 '에너지 소비 최저점(Sweet Spot)' 구간입니다.
- 원인: 외부 기온과 실내 설정 온도의 차이(ΔT)가 최소화되어 공조 시스템(HVAC) 부하가 거의 제로에 가깝습니다. 또한 배터리 셀이 가장 이상적인 화학 반응 온도를 유지하므로 내부 저항 손실이 최소화됩니다.

③ 고온/하절기 구간 (영상 30도 ~ 영상 35도 이상) — 냉방 및 배터리 냉각 부하

- 현상: 상온 대비 에너지 소비량이 약 10%~15% 내외로 증가합니다.
- 원인: 1. HVAC(냉방): 에어컨 압축기(Compressor)가 작동하지만, 난방(PTC)에 비해 냉방은 열역학적 효율이 높아 난방만큼 에너지를 극단적으로 소모하지는 않습니다.
2. 배터리 쿨링: 배터리 셀의 과열을 막기 위해 차량 냉각 시스템(Chiller)이 배터리 팩으로 냉각수를 순환시키면서 추가적인 전력이 소모됩니다.

예상 사용 컬럼

1. hvac가 주행거리에 미치는 영향

TripA01.csv 관련 컬럼:

- **Heating Power CAN [kW]**: 차량 제어 네트워크(CAN) 상에 측정된 고전압 히터(PTC 등)의 소모 전력
- **Heating Power LIN [W] / Requested Heating Power [W]**: LIN 통신을 통해 제어되는 보조 히터 및 시스템 요구 전력
- **AirCon Power [kW]**: 에어컨 컴프레서 작동 전력 (히트펌프 구동 시 컴프레서 전력 소모량 확인에 필요)
- **Heater Signal / Heater Voltage [V] / Heater Current [A]**: 히터에 공급되는 전압과 전류를 통해 직접 물리 전력값 계산 및 교차 검증 가능

-
시간 흐름에 따른 SoC 감소 기울기를 계산하고, 실시간 전력($\$V \times I\$$)을 유도하여 공조 장치가 배터리를 소모하는 속도를 정량화

2. 히터코어, 열교환기

TripA01.csv 관련 컬럼:

- 냉각수 및 열교환기 온도:
 - **Coolant Temperature Heatercore [°C]**: 히터코어로 유입/유출되는 냉각수 온도로, 실내 난방을 위한 열원 공급 상태를 직접 반영
 - **Requested Coolant Temperature [°C]**: 시스템이 요구하는 목표 냉각수 온도 (제어 로직 분석용)
 - **Coolant Temperature Inlet [°C]**: 인렛측 냉각수 온도
 - **Heat Exchanger Temperature [°C]**: 외기 또는 배터리 등과 열을 주고받는 열교환기 자체의 온도 (히트펌프 흡열/방열 효율 분석에 유용)
- 실내 온도 반응:
 - **Cabin Temperature Sensor [°C]**: 실제 차량 내부의 온도 변화 (난방 시스템의 성능 지표)
 - **Target Cabin Temperature (Overview.csv에 존재)**: 운전자가 설정한 목표 실내 온도

-
초기 난방(Defrost 등) 시 전력이 피크를 치는 구간과, 실내 온도가 목표치에 도달한 후 안정화되어 에너지를 아끼는 구간을 시간 단위로 분리

3. 날씨와 에너지 소모 관계

Overview.csv 관련 컬럼:

- **Weather**: 눈, 비, 맑음 등 전반적인 기상 조건 파악
- **Ambient Temperature (Start) [°C]**: 주행 시작 시점의 외기 온도 (겨울철 조건 필터링에 핵심)
- **Battery State of Charge (Start) / Battery State of Charge (End)**: 트립 전후의 배터리 잔량 비교를 통한 총 에너지를 계산
- **Distance [km] / Duration [min]**: 단위 거리 및 시간당 전비(에너지 효율) 산출을 위한 기준값

TripA01.csv 관련 컬럼:

- **Ambient Temperature [°C]**: 실시간 외부 기온 변화 추이
- **Battery Voltage [V] / Battery Current [A]**: 실시간 배터리 출력 전력($PW = V \times A$) 계산을 통한 에너지 소모량 도출
- **SoC [%]**: 주행 중 실시간 배터리 잔량 감소 속도 모니터링

외부 기온 하락 시 배터리 온도가 웬업되는 속도를 추적하고, 기온 저하로 인한 배터리 내부 저항 상승이 실시간 전압 강하(Voltage Sag)에 미치는 인과관계를 증명

EDA 탐색적 분석 - 전처리 해야되는 컬럼

컬럼명	정상 범위 (Normal)	이상 범위 (Abnormal)	근거하는 자료 및 공학적 기준 (Basis)
SoC [%] (displayed SoC)	min. SoC ~ max. SoC (실제 주행 데이터 상 약 10% ~ 100%)	• 음수(<0) 또는 100% 초과 • min. SoC 미만 값	배터리 관리 시스템(BMS) 제어 맵 전기차 배터리는 과충전/과방전을 방지하기 위해 마진(Buffer)을 둡니다. 데이터에 포함된 min. SoC와 max. SoC 가이드라인을 벗어나는 값은 센서 오작동 혹은 데이터 손실로 판단

Battery Voltage [V]	약 240V ~ 420V (대체로 350V~400V 부근)	• 0V 또는 극단적 저전압(200V) • 450V이상의 과전압	리튬 이온 배터리 셀 팩 설계 사양 일반적인 400V 시스템 전기차의 전압 변동 범위입니다. 주행 중 급격한 전압 강하(Voltage Sag)가 아닌, 0{V}가 찍히는 것은 전압 센서 가동 전이거나 통신 에러(노이즈)입니다.
Heating Power CAN [kW]	0 kW ~ 6 kW (겨울철 초기 가동 시 최대 5~6kW)	• 음수(< 0kW) • 7 kW 초과 (지속 발생 시)	고전압 PTC 히터 / 히트펌프 소비전력 규격 전기차 캐빈 난방용 고전압 히터의 최대 정격 용량은 일반적으로 5~6kW 내외입니다. 이를 초과하여 지속적으로 큰 값이 나오거나 전력을 소비하는데 음수가 나오는 경우는 데이터 스파이크(노이즈)로 가공 제거해야 합니다.

Coolant Temperature Heatercore [°C]	- 겨울철 난방 시: 40°C ~ 80°C - 초기 가동 시: 외기온도 부근	100°C 이상 (과열) - 영하 극단적 값(<-40{°C})	자동차 냉각수(Antifreeze) 및 열역학 특성 실내 난방을 위해 히터코어로 들어가는 냉각수의 적정 온도는 60~70°C 선입니다. 100°C가 넘으면 냉각수 비등(끓음) 현상 위험이 있으며, 센서가 허용하는 물리적 한계치(-40\text{°C}) 이하, 120\text{°C} 이상)를 벗어나는 값은 센서 단선/단락에러입니다.
Ambient Temperature [°C]	-30°C ~ 50°C (주행 지역 기후 기준)	-273.15°C (절대영도) 999°C 등 불연속적 상수	차량용 외기 온도 센서(Thermistor) 데이터 시트 센서 단선이나 시스템 통신 오류가 발생했을 때, 제어기는 시스템 초기값(예: -273°C)이나 에러 코드 플래그(예: 999, -999)를 송신합니다. EDA 플롯을 그릴 때 가장 먼저 필터링해야 하는 대표적인 이상치 유형입니다.

Heater Signal	0 (Off) 또는 1 (On)	• 0과 1이 아닌 다른 정수/실수 • 결측치(NaN)	차량 제어 네트워크(CAN) 프로토콜 정의서 히터의 가동 상태를 나타내는 이진(Binary) 플래그 신호이므로, 이외의 값은 데이터 손상으로 판정합니다.
---------------	-------------------	---	---

최종 사용 컬럼

Target : 전비 [km / kwh]

1. HVAC 관련

컬럼	중요도
Heating Power CAN	매우 중요
AirCon Power	매우 중요
Heater Voltage/Current	중요
Requested Heating Power	중요

흐름

: 난방 출력 증가 (Heating Power)

-> 배터리 에너지 소비 증가 (Battery Energy Consumption) [파생변수] (배터리 전압 *
배터리 전류)

-> SoC 감소율 증가

-> 주행거리 감소

HVAC Power

```
df['HVAC_Power'] = (  
    df['Heating Power CAN [kW]']  
    + df['AirCon Power [kW]']  
)
```

배터리 전력 :

```
df['Battery_Power'] = (  
    df['Battery Voltage [V]']  
    * df['Battery Current [A]']  
)
```

SoC 감소율

```
df['SoC_Diff'] = df['SoC'].diff()
```

2. 날씨 관련 overview

컬럼명	활용 목적
Weather	맑음, 비, 눈 등 기상 조건 분류
Ambient Temperature (Start) [°C]	주행 시작 시 외기온도 분석
Battery State of Charge (Start) [%]	주행 시작 배터리 잔량
Battery State of Charge (End) [%]	주행 종료 배터리 잔량
Distance [km]	총 주행거리
Duration [min]	총 주행 시간
Target Cabin Temperature [°C]	운전자 목표 실내온도
trip	

컬럼명	활용 목적
Ambient Temperature [°C]	실시간 외기온도 변화 분석
Heating Power CAN [kW]	난방 시스템 전력 사용량
AirCon Power [kW]	에어컨 및 히트펌프 전력 사용량
Battery Voltage [V]	배터리 전압
Battery Current [A]	배터리 전류
SoC [%]	실시간 배터리 잔량 변화
Cabin Temperature Sensor [°C]	실제 실내온도 변화
Coolant Temperature Heatercore [°C]	히터코어 냉각수 온도
Heat Exchanger Temperature [°C]	열교환기 온도

Requested Coolant Temperature
[°C]

목표 냉각수 온도

1. 환경 분류

-

조건

분류

0°C 이하

Extreme Cold

0~10°C

Cold

10~20°C

Mild

20°C 이상

Warm

- 외기온도 감소
- → HVAC 사용량 증가
- → 배터리 전력 소비 증가
- → SoC 감소 속도 증가
- → 에너지 효율 감소
- → 주행거리 감소

분석 2

- 외기온도 감소
- → 시스템 목표 냉각수 온도 증가
- → 히터코어 냉각수 온도 상승
- → HVAC 난방 출력 증가
- → Cabin Temperature 상승
- → 목표 실내온도 도달
- → HVAC 사용량 감소 및 안정화
-

배진성

전기차(EV) 시장 & BMW i3 차량 스펙

1-1. 전기차 시장 동향 (Global & Domestic)

글로벌 시장 동향

전기차 시장은 niche 산업에서 mainstream으로 빠르게 전환되고 있습니다. 국제에너지기구(IEA)의 「Global EV Outlook 2026」에 따르면:

- 2025년 전 세계 전기차 판매량은 **2,070만** 대로 전년 대비 **20%** 성장했으며 [1], 2024년 기준 글로벌 자동차 시장에서 EV 점유율이 처음으로 **20%**를 돌파한 데 이어 2025년에는 ****25%(4대 중 1대)****를 넘어섰습니다 [2].
- IEA는 **2026년** 전기차 판매량이 **2,300만** 대에 이를 것으로 전망하고 있습니다 [3].
- 중국이 전 세계 배터리 셀 생산의 **80%** 이상을 차지하며 EV 공급망을 주도하고 있고, 중국산 EV 수출이 **250만** 대를 돌파했습니다 [4].
- 2024년 글로벌 EV 정부 지원금은 전체 EV 지출의 **7%** 미만으로 감소(2017년 20% 대비)했으며, 소비자 지출은 **5,600억** 달러 규모로 성장했습니다 [5].

성장 동력은 ① 배터리 가격 하락, ② 강화된 배출가스 규제, ③ 저렴한 중국산 모델의 등장, ④ 에너지 안보 이슈 등입니다.

국내 시장 동향

한국자동차모빌리티산업협회(KAMA)에 따르면 **2025년** 국내 전기차 신규 등록 대수는 전년 대비 **50.1%** 증가한 **220,177대**를 기록했습니다 [6].

- 전기차 침투율(구매 비중)은 **13.1%**로 사상 처음 두 자릿수에 진입했습니다 [7].
- 테슬라 모델 Y가 **50,397대**로 승용 전기차 시장 점유율 **26.6%**를 기록했으며, 제조사별로는 기아(**60,609대**), 테슬라(**59,893대**), 현대(**55,461대**) 순입니다 [8].
- 중국산 전기차 판매가 전년 대비 **112.4%** 폭증한 **74,728대**를 기록하며 시장 잠식이 가속되고 있습니다 [6].

에코 모빌리티(Eco-Mobility) 개념

에코 모빌리티는 단순히 친환경 차량을 의미하는 것이 아니라, 이동 수단 전체의 탄소 발자국과 에너지 효율을 최소화하는 통합 모빌리티 패러다임입니다. 주요 구성 요소:

영역	핵심 내용
차량	BEV(순수 전기차), PHEV(플러그인 하이브리드), FCEV(수소연료전지차)
에너지	신재생 에너지 기반 충전 인프라(V2G, V2H 포함)
데이터	실주행 센서 데이터 기반 효율 최적화, 예측 정비, 운영 분석
정책	탄소 배출 규제, 보조금, NDC(국가 온실가스 감축 목표)

본 프로젝트의 데이터 제공자인 "에코 모빌리티"는 BMW i3 시제품 주행 테스트를 통해 주행·배터리·HVAC 센서 데이터를 수집·분석함으로써 에너지 효율·안전성·품질 혁신을 추구하는 전형적인 에코 모빌리티 사업자의 R&D 활동을 보여줍니다.

1-2. BMW i3 (60Ah) 차량 제원

BMW i3는 BMW의 첫 번째 양산형 전기차로, 도심형 컴팩트 EV의 표준 모델입니다. 2013년 출시되어 2022년까지 생산되었으며, 60Ah → 94Ah → 120Ah 순으로 배터리 용량이 업그레이드되었습니다 [9].

핵심 제원 (60Ah, 2013년 출시 모델)

항목	사양	비고
배터리 총 용량	21.6 kWh (브로셔 기준 22 kWh)	리튬이온 NMC, 96셀, 공칭전압 355V [10]
사용 가능 용량	18.8 kWh	약 13% 버퍼(배터리 보호) [10]
최대 출력	125 kW (170 hp)	RWD(후륜 구동) [10]
최대 토크	250 Nm	정지 상태에서 즉시 발생 [10]
0-100 km/h	7.2초	경량 + 즉답성 [10]
최고 속도	150 km/h	도심형 한정 [10]
공차 중량	1,195 ~ 1,270 kg	본 데이터셋 기준 1,300 kg [9]
NEDC 주행 거리	130~161 km (EPA) / 190 km (NEDC)	실주행은 변동성 큼 [9]
충전	AC 7.4kW / DC 50kW	DC 급속 시 80% 약 25~30분 [11]

배터리 화학 구성

- 2013 BMW i3는 삼성 60Ah 각형(prismatic) 셀 기반의 배터리 팩을 채택했으며, 알루미늄/카본 파이버 차체 구조에 통합된 단순 팩 구조입니다. 에너지 밀도는 91 Wh/kg(중량), 77 Wh/L(부피)입니다 [12].
- 셀 화학: NMC(니켈-망간-코발트) 양극재 사용 → 에너지 밀도와 안정성의 균형 [10]
- 96셀 직렬 구성, 셀당 공칭 전압 약 3.7V [11]

1-3. 주행저항 계수의 의미

전기차의 에너지 소비를 결정하는 핵심 요소 중 하나는 주행저항(Driving Resistance)입니다. 본 프로젝트 데이터셋은 BMW i3의 주행저항을 속도에 대한 2차 다항식(quadratic fitting)으로 제공합니다:

$$F_{resistance}(v) = a + b \cdot v + c \cdot v^2$$

계수	값	물리적 의미
a	104.9 N	속도와 무관한 저항 — 주로 구름저항(Rolling Resistance) 성분. 타이어와 노면의 마찰, 베어링 손실 등
b	1.32 N/(km/h)	속도에 비례하는 저항 — 구동계 마찰, 점성 마찰 등 (속도 1차항)
c	0.01043 N/(km/h) ²	속도 제곱에 비례하는 저항 — 공기저항(Aerodynamic Drag) 성분. 고속에서 지배적

속도별 주행저항 예시 계산

속도	a (상수항)	b·v	c·v ²	총 저항
30 km/h	104.9 N	39.6 N	9.4 N	153.9 N
60 km/h	104.9 N	79.2 N	37.5 N	221.6 N
100 km/h	104.9 N	132.0 N	104.3 N	341.2 N
120 km/h	104.9 N	158.4 N	150.2 N	413.5 N

분석적 시사점:

- 약 **85~90 km/h** 부근에서 **c·v²** 항이 상수항 **a**를 추월 → 본 데이터셋의 도심 주행 구간에서는 저속 저항 성분이 지배적
- 일반적으로 자동차 연료 소비의 약 **30%**가 공기저항 때문에 발생하며, 고속 주행 상황에서 공기저항이 극대화됩니다 [13] → 데이터에서 Velocity와 Battery Current의 비선형 관계 예상

→ 본 데이터셋에는 Elevation, Longitudinal Acceleration, Velocity가 모두 기록되어 있어, 위 2차 다항식과 결합하면 이론적 주행 에너지 소모량을 계산하여 실측 배터리 소비량과 비교 검증할 수 있습니다. (주행저항 4요소의 상세 메커니즘은 별도 파트에서 다룸)

1-4. 경량 도심형 전기차로서의 BMW i3 특징

BMW i3는 "경량 도심형 전기차"의 정석으로 평가됩니다. 그 특징을 5가지로 정리하면:

① 경량 차체 설계 (CFRP + 알루미늄)

- 차체에 ****CFRP(탄소섬유 강화 플라스틱)****과 알루미늄 새시를 결합 → 공차 중량 1,195 kg으로 동급 EV 대비 100~300 kg 가벼움 [9]
- 경량화 효과: 관성저항·구름저항 동시 감소 → 도심 stop-and-go 환경에서 효율 극대화

② 후륜 구동 + 즉답성 토크

- RWD(후륜 구동) 채택, 좁은 도심 주차 환경에 최적 [11]
- 최대 토크 250 Nm가 0 rpm부터 즉시 발생 → 도심 가속·정지 반복에 유리 [10]

③ 도심형 주행 거리

- 60Ah 모델 기준 EPA 130 km / NEDC 190 km → 장거리보다는 도심 통근·배달용 최적화 [9]
- 도심 주행과 일상 통근에 실용적인 전기차로, 1회 충전 시 약 190 km 주행이 가능합니다 [11].

④ 회생 제동 강한 세팅 (One-Pedal Driving)

- BMW i3는 회생 제동 강도가 매우 강해 가속 페달에서 발만 떼도 강한 감속이 발생 → 원페달 드라이빙으로 도심에서 브레이크 사용 최소화
- → 본 데이터셋의 **Regenerative Braking Signal** 변수의 활성 빈도가 높을 것으로 예상

⑤ HVAC 의존도 높음 (도심 단거리 = HVAC 비중 큼)

- 도심 단거리 주행은 주행 자체의 에너지 소비가 적은 반면, 난방·에어컨 사용량은 동일 → HVAC가 전체 에너지에서 차지하는 비중이 상대적으로 큼
- 무거운 배터리를 싣고 달려야 하는 전기차는 차량 하중에 비례하는 구름·등판 저항을 줄이기 어렵기 때문에, 경량화 + HVAC 효율 개선이 EV의 핵심 경쟁력이 됩니다 [13].

1-5. 본 프로젝트와의 연결고리

본 도메인 조사가 데이터 분석에 어떻게 기여하는지:

도메인 지식	데이터셋 변수	분석 활용
주행저항 2차 다항식 (a, b, c)	Velocity, Acceleration, Elevation	이론적 주행 에너지 = 실측 에너지 비교 → 모델 검증
배터리 21.6 kWh (가용 18.8 kWh)	SoC[%], Battery Voltage·Current	남은 에너지(kWh) = SoC × 18.8 kWh → Range 추정

경량 도심형 특성	Velocity 분포, Trip Duration	트립별 주행 패턴 분류 (도심 vs 외곽)
회생 제동 강세팅	Regenerative Braking Signal, Battery Current(-)	회생 회수 에너지 비율 분석 → 효율 KPI
HVAC 비중 큼	Heating Power, AirCon Power	SoC 감소 속도 회귀 모델의 핵심 입력 변수

참고 출처

- [1] OilPrice.com, "IEA: Global Electric Car Sales Topped 20 Million In 2025", <https://oilprice.com/Energy/Energy-General/IEA-Global-Electric-Car-Sales-Topped-20-Million-In-2025.html>
- [2] IEA, "More than 1 in 4 cars sold worldwide this year is set to be electric as EV sales continue to grow", <https://www.iea.org/news/more-than-1-in-4-cars-sold-worldwide-this-year-is-set-to-be-electric-as-ev-sales-continue-to-grow>
- [3] Industrial Info Resources, "IEA: Global EV Sales Rose 20% in 2025, More Gains Seen", <https://www.industrialinfo.com/news/article/iea-global-ev-sales-rose-20-in-2025-more-gains-seen--358023>
- [4] IEA, "Close to 30% of cars sold this year are set to be electric", <https://www.iea.org/news/close-to-30-of-cars-sold-this-year-are-set-to-be-electric-as-countries-and-consumers-respond-to-energy-crisis>
- [5] IEA, "Trends in electric car markets – Global EV Outlook 2025", <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/trends-in-electric-car-markets-2>
- [6] 글로벌오토뉴스, "2025년 국내 전기차 시장, 22만 대 돌파하며 역성장 고리 끊었다", <https://v.daum.net/v/6VoJxLe4w8>
- [7] 한국경제, "2025년 국내 전기차 시장, 2년 역성장 딛고 50.1% 반등", <https://www.hankyung.com/article/202601201164P>
- [8] 카매거진 CARMGZ, "KAMA, 2025년 국내 전기차 시장, 2년 역성장 딛고 50.1% 반등", <https://www.carmgz.kr/news/articleView.html?idxno=17041>
- [9] Wikipedia, "BMW i3 (hatchback)", [https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3_\(hatchback\)](https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3_(hatchback))
- [10] EVKX.net, "BMW i3 60 Ah – Full Specs, Features, Range & Comparison", https://evkx.net/models/bmw/i3/i3_60_ah/
- [11] Moba, "BMW i3", <https://get-moba.com/en/car/bmw-i3-2/>

[12] Battery Design, "2013 BMW i3 Battery Design", <https://www.batterydesign.net/bmw-i3-2/>

[13] 대한경제, "공기저항계수 '마의 0.20' 깬다...매끈·심플한 '디자인 전쟁'",
<https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202306121354144700941>

[14] EV Database, "BMW i3 60 Ah (2013-2017) price and specifications",
<https://ev-database.org/car/1004/BMW-i3-60-Ah>

[15] IEEE DataPort, "Battery and Heating Data in Real Driving Cycles" (TU München),
<https://ieee-dataport.org/open-access/battery-and-heating-data-real-driving-cycles>

전기차 시장 동향

1-1. 전기차 시장 동향 (Global & Domestic)

글로벌 시장 동향

전기차 시장은 niche 산업에서 mainstream으로 빠르게 전환되고 있습니다.
국제에너지기구(IEA)의 「Global EV Outlook 2026」에 따르면:

- 2025년 전 세계 전기차 판매량은 **2,070만** 대로 전년 대비 **20%** 성장했으며 [1], 2024년 기준 글로벌 자동차 시장에서 EV 점유율이 처음으로 **20%**를 돌파한 데 이어 2025년에는 **25%(4대 중 1대)**를 넘어섰습니다 [2].
- IEA는 **2026년** 전기차 판매량이 **2,300만** 대에 이를 것으로 전망하고 있습니다 [3].
- 중국이 전 세계 배터리 셀 생산의 **80%** 이상을 차지하며 EV 공급망을 주도하고 있고, 중국산 EV 수출이 **250만** 대를 돌파했습니다 [4].
- 2024년 글로벌 EV 정부 지원금은 전체 EV 지출의 **7%** 미만으로 감소(2017년 **20%** 대비)했으며, 소비자 지출은 **5,600억** 달러 규모로 성장했습니다 [5].

성장 동력은 ① 배터리 가격 하락, ② 강화된 배출가스 규제, ③ 저렴한 중국산 모델의 등장, ④ 에너지 안보 이슈 등입니다.

국내 시장 동향

한국자동차모빌리티산업협회(KAMA)에 따르면 **2025년** 국내 전기차 신규 등록 대수는 전년 대비 **50.1%** 증가한 **220,177대**를 기록했습니다 [6].

- 전기차 침투율(구매 비중)은 **13.1%**로 사상 처음 두 자릿수에 진입했습니다 [7].
- 테슬라 모델 Y가 **50,397대**로 승용 전기차 시장 점유율 **26.6%**를 기록했으며, 제조사별로는 기아(**60,609대**), 테슬라(**59,893대**), 현대(**55,461대**) 순입니다 [8].
- 중국산 전기차 판매가 전년 대비 **112.4%** 폭증한 **74,728대**를 기록하며 시장 잠식이 가속되고 있습니다 [6].

에코 모빌리티(Eco-Mobility) 개념

에코 모빌리티(Eco-Mobility) 개념

에코 모빌리티는 단순히 친환경 차량을 의미하는 것이 아니라, 이동 수단 전체의 탄소 발자국과 에너지 효율을 최소화하는 통합 모빌리티 패러다임입니다. 주요 구성 요소:

영역	핵심 내용
차량	BEV(순수 전기차), PHEV(플러그인 하이브리드), FCEV(수소연료전지차)
에너지	신재생 에너지 기반 충전 인프라(V2G, V2H 포함)
데이터	실주행 센서 데이터 기반 효율 최적화, 예측 정비, 운영 분석
정책	탄소 배출 규제, 보조금, NDC(국가 온실가스 감축 목표)

본 프로젝트의 데이터 제공자인 "에코 모빌리티"는 **BMW i3** 시제품 주행 테스트를 통해 주행·배터리·HVAC 센서 데이터를 수집·분석함으로써 에너지 효율·안전성·품질 혁신을 추구하는 전형적인 에코 모빌리티 사업자의 R&D 활동을 보여줍니다.

BMW i3 (60Ah) 차량

1-2. BMW i3 (60Ah) 차량 제원

BMW i3는 BMW의 첫 번째 양산형 전기차로, 도심형 컴팩트 EV의 표준 모델입니다. 2013년 출시되어 2022년까지 생산되었으며, 60Ah → 94Ah → 120Ah 순으로 배터리 용량이 업그레이드되었습니다 [9].

핵심 제원 (60Ah, 2013년 출시 모델)

항목	사양	비고
배터리 총 용량	21.6 kWh (브로셔 기준 22 kWh)	리튬이온 NMC, 96셀, 공칭전압 355V [10]
사용 가능 용량	18.8 kWh	약 13% 버퍼(배터리 보호) [10]
최대 출력	125 kW (170 hp)	RWD(후륜 구동) [10]
최대 토크	250 Nm	정지 상태부터 즉시 발생 [10]
0-100 km/h	7.2초	경량 + 즉답성 [10]
최고 속도	150 km/h	도심형 한정 [10]
공차 중량	1,195 ~ 1,270 kg	본 데이터셋 기준 1,300 kg [9]
NEDC 주행 거리	130~161 km (EPA) / 190 km (NEDC)	실주행은 변동성 큼 [9]
충전	AC 7.4kW / DC 50kW	DC 급속 시 80% 약 25~30분 [11]

배터리 화학 구성

- 2013 BMW i3는 삼성 60Ah 각형(prismatic) 셀 기반의 배터리 팩을 채택했으며, 알루미늄/카본 파이버 차체 구조에 통합된 단순 팩 구조입니다. 에너지 밀도는 91 Wh/kg(중량), 77 Wh/L(부피)입니다 [12].
- 셀 화학: NMC(니켈-망간-코발트) 양극재 사용 → 에너지 밀도와 안정성의 균형 [10]
- 96셀 직렬 구성, 셀당 공칭 전압 약 3.7V [11]

1-3. 주행저항 계수의 의미

전기차의 에너지 소비를 결정하는 핵심 요소 중 하나는 주행저항(Driving Resistance)입니다. 본 프로젝트 데이터셋은 BMW i3의 주행저항을 속도에 대한 2차

다항식(quadratic fitting)으로 제공합니다: $F_{resistance}(v) = a + b \cdot v + c \cdot v^2$

계수	값	물리적 의미
a	104.9 N	속도와 무관한 저항 — 주로 구름저항(Rolling Resistance) 성분. 타이어와 노면의 마찰, 베어링 손실 등
b	1.32 N/(km/h)	속도에 비례하는 저항 — 구동계 마찰, 점성 마찰 등 (속도 1차항)
c	0.01043 N/(km/h) ²	속도 제곱에 비례하는 저항 — 공기저항(Aerodynamic Drag) 성분. 고속에서 지배적

속도별 주행저항 예시 계산

속도	a (상수항)	b·v	c·v ²	총 저항
30 km/h	104.9 N	39.6 N	9.4 N	153.9 N
60 km/h	104.9 N	79.2 N	37.5 N	221.6 N
100 km/h	104.9 N	132.0 N	104.3 N	341.2 N
120 km/h	104.9 N	158.4 N	150.2 N	413.5 N

분석적 시사점:

- 약 **85~90 km/h** 부근에서 **c·v²** 항이 상수항 **a**를 추월 → 본 데이터셋의 도심 주행 구간에서는 저속 저항 성분이 지배적
- 일반적으로 자동차 연료 소비의 약 **30%**가 공기저항 때문에 발생하며, 고속 주행 상황에서 공기저항이 극대화됩니다 [13] → 데이터에서 Velocity와 Battery Current의 비선형 관계 예상

→ 본 데이터셋에는 Elevation, Longitudinal Acceleration, Velocity가 모두 기록되어 있어, 위 2차 다항식과 결합하면 이론적 주행 에너지 소모량을 계산하여 실측 배터리 소비량과 비교 검증할 수 있습니다. (주행저항 4요소의 상세 메커니즘은 별도 파트에서 다룸)

1-4. 경량 도심형 전기차로서의 BMW i3 특징

BMW i3는 "경량 도심형 전기차"의 정석으로 평가됩니다. 그 특징을 5가지로 정리하면:

① 경량 차체 설계 (CFRP + 알루미늄)

- 차체에 **CFRP(탄소섬유 강화 플라스틱)**과 알루미늄 새시를 결합 → 공차 중량 1,195 kg으로 동급 EV 대비 100~300 kg 가벼움 [9]
- 경량화 효과: 관성저항·구름저항 동시 감소 → 도심 stop-and-go 환경에서 효율 극대화

② 후륜 구동 + 즉답성 토크

- RWD(후륜 구동) 채택, 좁은 도심 주차 환경에 최적 [11]
- 최대 토크 250 Nm가 0 rpm부터 즉시 발생 → 도심 가속·정지 반복에 유리 [10]

③ 도심형 주행 거리

- 60Ah 모델 기준 EPA 130 km / NEDC 190 km → 장거리보다는 도심 통근·배달용 최적화 [9]
- 도심 주행과 일상 통근에 실용적인 전기차로, 1회 충전 시 약 190 km 주행이 가능합니다 [11].

④ 회생 제동 강한 세팅 (One-Pedal Driving)

- BMW i3는 회생 제동 강도가 매우 강해 가속 페달에서 발만 떼도 강한 감속이 발생 → 원페달 드라이빙으로 도심에서 브레이크 사용 최소화
- → 본 데이터셋의 Regenerative Braking Signal 변수의 활성 빈도가 높을 것으로 예상

⑤ HVAC 의존도 높음 (도심 단거리 = HVAC 비중 큼)

- 도심 단거리 주행은 주행 자체의 에너지 소비가 적은 반면, 난방·에어컨 사용량은 동일 → HVAC가 전체 에너지에서 차지하는 비중이 상대적으로 큼
- 무거운 배터리를 싣고 달려야 하는 전기차는 차량 하중에 비례하는 구름·등판 저항을 줄이기 어렵기 때문에, 경량화 + HVAC 효율 개선이 EV의 핵심 경쟁력이 됩니다 [13].

프로젝트와의 연결고리

1-5. 본 프로젝트와의 연결고리

본 도메인 조사가 데이터 분석에 어떻게 기여하는지:

도메인 지식	데이터셋 변수	분석 활용
주행저항 2차 다항식 (a, b, c)	Velocity, Acceleration, Elevation	이론적 주행 에너지 = 실측 에너지 비교 → 모델 검증
배터리 21.6 kWh (가용 18.8 kWh)	SoC[%], Battery Voltage·Current	남은 에너지(kWh) = SoC × 18.8 kWh → Range 추정
경량 도심형 특성	Velocity 분포, Trip Duration	트립별 주행 패턴 분류 (도심 vs 외곽)
회생 제동 강세팅	Regenerative Braking Signal, Battery Current(-)	회생 회수 에너지 비율 분석 → 효율 KPI
HVAC 비중 큼	Heating Power, AirCon Power	SoC 감소 속도 회귀 모델의 핵심 입력 변수

출처

참고 출처

- [1] OilPrice.com, "IEA: Global Electric Car Sales Topped 20 Million In 2025",
<https://oilprice.com/Energy/Energy-General/IEA-Global-Electric-Car-Sales-Topped-20-Million-In-2025.html>
- [2] IEA, "More than 1 in 4 cars sold worldwide this year is set to be electric as EV sales continue to grow",
<https://www.iea.org/news/more-than-1-in-4-cars-sold-worldwide-this-year-is-set-to-be-electric-as-ev-sales-continue-to-grow>
- [3] Industrial Info Resources, "IEA: Global EV Sales Rose 20% in 2025, More Gains Seen",
<https://www.industrialinfo.com/news/article/iea-global-ev-sales-rose-20-in-2025-more-gains-seen--358023>
- [4] IEA, "Close to 30% of cars sold this year are set to be electric",
<https://www.iea.org/news/close-to-30-of-cars-sold-this-year-are-set-to-be-electric-as-countries-and-consumers-respond-to-energy-crisis>
- [5] IEA, "Trends in electric car markets – Global EV Outlook 2025",
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/trends-in-electric-car-markets-2>
- [6] 글로벌오토뉴스, "2025년 국내 전기차 시장, 22만 대 돌파하며 역성장 고리 끊었다",
<https://v.daum.net/v/6VoJxLe4w8>
- [7] 한국경제, "2025년 국내 전기차 시장, 2년 역성장 딛고 50.1% 반등",
<https://www.hankyung.com/article/202601201164P>
- [8] 카매거진 CARMGZ, "KAMA, 2025년 국내 전기차 시장, 2년 역성장 딛고 50.1% 반등",
<https://www.carmgz.kr/news/articleView.html?idxno=17041>
- [9] Wikipedia, "BMW i3 (hatchback)", [https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3_\(hatchback\)](https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3_(hatchback))
- [10] EVKX.net, "BMW i3 60 Ah – Full Specs, Features, Range & Comparison",
https://evkx.net/models/bmw/i3/i3_60_ah/
- [11] Moba, "BMW i3", <https://get-moba.com/en/car/bmw-i3-2/>
- [12] Battery Design, "2013 BMW i3 Battery Design", <https://www.batterydesign.net/bmw-i3-2/>
- [13] 대한경제, "공기저항계수 '마의 0.20' 깬다...매끈·심플한 '디자인 전쟁'",
<https://www.dnews.co.kr/uhtml/view.jsp?idxno=202306121354144700941>
- [14] EV Database, "BMW i3 60 Ah (2013-2017) price and specifications",
<https://ev-database.org/car/1004/BMW-i3-60-Ah>
- [15] IEEE DataPort, "Battery and Heating Data in Real Driving Cycles" (TU München),
<https://ieee-dataport.org/open-access/battery-and-heating-data-real-driving-cycles>

추가할 포인트

1. EDA (탐색적 데이터 분석)

- 72건의 주행 로그 각각에 대해, 속도·가속도·배터리 전압/전류·SoC·난방 전력 등의 변수를 시계열 및 통계적으로 탐색
- 결측치 및 이상치 식별·처리, 변수 간 상관관계 파악

2. 통계 분석

- 난방/에어컨 사용 전력(HVAC)이 높은 구간 vs. 낮은 구간의 배터리 소모율(SoC 감소 속도) 비교 → t-검정 또는 ANOVA
- 날씨(Weather), 주행 거리(Distance), 주행 시간(Duration) 등이 배터리 온도 상승에 미치는 영향 파악

3. 머신러닝 모델

- 회귀 모델(Regression): 주행 데이터(속도, 가속, 난방 전력, 배터리 온도 등)를 입력으로 남은 주행 가능 거리(또는 소모 에너지)를 예측
- 분류 모델(Classification): 특정 조건에서의 배터리 이상 상태(예: SoC 급격 하락, 과열 등)를 조기 경고하는 모델

1. 시계열 예측용 라벨 만들기

- 아이디어: 데이터셋 안에 이미 SoC [%](배터리 충전 상태), Battery Temperature, Battery Current 등 시계열로 변화하는 값이 있으므로, 미래 시점의 값을 라벨로 설정할 수 있습니다.
- 예시: “다음 1분 후 SoC”
 - 현재 시점(t)까지의 속도, 가속, 난방 전력, 배터리 온도 등의 입력을 사용해, t+60초 시점의 SoC를 예측하는 회귀 모델을 구성합니다.
 - 이렇게 하면, 데이터셋 자체가 (입력 X, 목표 y)의 쌍을 만들 수 있는 ‘라벨’을 내장하고 있다고 볼 수 있습니다.
 - 시계열 데이터를 shift(시간 이동)해서 라벨로 사용한다는 점이 핵심입니다.

2. 임계값 기반의 이진 분류 라벨 만들기

- 아이디어: 데이터에 ‘배터리 이상 상태’를 직접 정의(임계값)하여, 분류 문제로 전환할 수 있습니다.
- 예시:
 - “SoC가 5분 내 10% 이상 급격히 떨어지면 = 1(이상), 그렇지 않으면 = 0(정상)”
 - “배터리 온도(Temperature)가 50°C 이상으로 일정 시간 유지되면 = 1(과열), 아니면 0(정상)”
- 이처럼 현업에서의 도메인 지식을 기반으로 이상 상태 조건을 정의하고, 그에 맞춰 데이터 라벨을 생성하면, 이진 분류 또는 다중 분류 모델이 가능합니다.

3. 주행 가능 거리(Range) 추정치 만들기

- 직접 ‘Range’를 관측한 값이 없다면, SoC와 차량의 공칭 배터리 용량(kWh), 소비 전력(kW) 등을 이용해 추정치를 계산할 수 있습니다.
- 예시: “현재 SoC로 몇 km 더 달릴 수 있는가?”
 1. 전기차의 배터리 총 용량이 22 kWh이고, 현재 SoC가 72%라면, 남은 에너지는 약 15.84 kWh.
 2. 최근 1분간(또는 일정 구간) 소비 전력(전압×전류 평균)이 10 kW 정도라면, $15.84 \text{ kWh} / 10 \text{ kW} = 1.584$ 시간(약 95분) 운행 가능.
 3. 해당 시간 동안 평균 속도(예: 40 km/h)를 곱해 대략 63.4 km 주행 가능하다고 추정.

4. 대시보드 구현

- 주요 KPI(에너지 소비율, 회생 제동 효율, 난방 시스템 사용률, 배터리 온도 범위 등)를 시각화
- 경고 임계값 설정(배터리 온도, 전압, SoC 등) → 실시간 모니터링 가능 시나리오 제시

※ 추가 분석 포인트

- 회생 제동 효과: Regenerative Braking Signal 활성화 시점에서 Battery Current가 음(-)의 값을 갖는지, 그 비율이 전체 에너지 사용량에서 어느 정도인지 파악
- 난방·에어컨 사용량: Heating Power, AirCon Power가 배터리 SoC 감소에 얼마나 기여하는지 산정
- 고도(Elevation)와 속도(Acceleration) 관계: 언덕길에서 가속 시 에너지 소모가 급증하는지 확인

전처리 할 컬럼 & 참고 자료

전처리가 필요한 컬럼(변수)

01. SOC [%]

- 정상 범위 : 10~ 100 %
- 이상치 처리 : 10% 미만 & 100% 초과
- 참고자료 : [전기차 배터리의 딥러닝 기반 충전 상태 추정: 기술적 병목 현상 극복 - PMC](#)

02. Battery Voltage [V]

- 정상 범위 : 약 240 ~ 420 V
- 이상치 처리 : 0 or 200미만 저전압 , 450 이상 과전압
- [전기차 리튬이온 배터리 충전 추정 상태에서의 딥러닝: 리뷰](#)

변수 분류

시계열 상세 데이터 변수 분류

분류	변수명	설명	활용 예시
시간 정보	Time [s]	누적 시간	시계열 인덱스, 구간 분석
주행 상태	Velocity [km/h]	차량 속도	주행 패턴, 전비 분석
주행 상태	Longitudinal Acceleration [m/s ²]	종방향 가속도	급가속/급감속 탐지
주행 상태	Throttle [%]	가속 페달 개도량	운전 습관 분석
구동 성능	Motor Torque [Nm]	모터 토크	출력 요구량 분석
회생 제동	Regenerative Braking Signal	회생 제동 활성화 여부	에너지 회수 분석
지형 정보	Elevation [m]	고도	오르막/내리막 영향
배터리 상태	Battery Voltage [V]	배터리 전압	소비 전력 계산
배터리 상태	Battery Current [A]	배터리 전류	충·방전량 계산
배터리 상태	Battery Temperature [°C]	배터리 온도	효율 저하 분석
배터리 상태	SoC [%]	배터리 충전 상태	잔여 주행거리 예측
HVAC 사용량	Heating Power CAN [kW]	난방 전력	겨울철 전비 분석
HVAC 사용량	Heating Power LIN [W]	난방 제어 전력	HVAC 세부 분석
HVAC 사용량	AirCon Power [kW]	에어컨 전력	냉방 사용 영향
실내 환경	Cabin Temperature	실내 온도	HVAC 사용 패턴
외부 환경	Ambient Temperature	외기 온도	배터리 효율 영향
열관리 시스템	Heat Exchanger Temp 등	열교환기/히터 온도	열관리 효율 분석
HVAC 사용량	Requested Heating Power [W]	목표 히터 전	실제 소모 전력 간의 제어 오차 및 응답성 분석

트립(Trip) 단위 요약 데이터 분류

분류	변수명	설명	활용 예시
트립 기본 정보	Distance [km]	총 주행 거리	주행거리 예측 Target
트립 기본 정보	Duration [min]	총 주행 시간	평균 속도 계산
배터리 상태	Battery Temperature Start/End	시작·종료 배터리 온도	열화 분석
배터리 상태	SoC Start/End	시작·종료 충전율	소모량 계산
외부 환경	Weather	날씨 상태	전비 변화 분석
HVAC 설정	Fan	송풍 모드	HVAC 영향
HVAC 설정	Target Cabin Temperature	목표 실내 온도	난방 부하 분석
이벤트 로그	Note	특이사항	이상 주행 탐지

주행거리 예측 변수

중요도	변수
매우 중요	SoC Start
매우 중요	Velocity
매우 중요	Battery Current
매우 중요	Heating Power / AirCon Power
중요	Ambient Temperature
중요	Elevation
중요	Acceleration

중요	Weather
보조	Cabin Temperature

배터리 성능 변수

Target	의미
SoC Drop	SoC Start - SoC End
Energy Consumption	소비 전력량
Efficiency (km/kWh)	전비
Battery Temperature Increase	배터리 발열량

추천 파생변수

파생변수	식	의미
평균 속도	Distance / Duration	주행 스타일
SoC 감소량	SoC Start - SoC End	배터리 사용량
전력 소비량	Voltage × Current	순간 전력
HVAC Total Power	Heating + AirCon	공조 총 사용량
고도 변화량	max(Elevation)-min(Elevation)	언덕 영향
급가속 빈도	Acceleration > threshold	운전 습관
회생제동 비율	Regen 활성 시간 / 전체 시간	회수 효율
평균 배터리 온도	mean(Battery Temp)	효율 상태

TripID 별 요약 통계 생성하기

변수	생성 통계
Velocity	mean, std, max
Battery Current	mean, max
Battery Temp	mean
Acceleration	mean, std

HVAC Power	sum, mean
SoC	start/end/drop
Regen Signal	활성 비율

컬럼명

삭제 추천 이유

Unnamed: 23	의미 없는 인덱스/빈 컬럼. 분석 정보 없음
displayed SoC [%]	SoC [%]와 상관관계수 거의 1에 가까움 (corr ≈ 0.996)
min. SoC [%]	SoC [%]와 거의 동일한 패턴
max. SoC [%]	SoC [%]와 거의 동일한 패턴
max. Battery Temperature [°C]	Battery Temperature [°C]와 상관관계수 매우 높음 (corr ≈ 0.997)
Heating Power LIN [W]	Heating Power CAN [kW], Heater Current [A]와 거의 동일 정보
Heater Current [A]	히터 소비량을 이미 Heating Power CAN [kW]가 대표
Requested Heating Power [W]	실제 소비 전력보다 요청값
Heater Signal	히터 ON/OFF 성격으로 정보량 제한적
Ambient Temperature Sensor [°C]	Ambient Temperature [°C]와 매우 높은 상관
Coolant Temperature Heatercore [°C]	냉각계열 센서들과 상관관계수 0.97~0.99 수준
Coolant Temperature Inlet [°C]	Heat Exchanger Temperature [°C]와 거의 같은 흐름
Temperature Coolant Heater Inlet [°C]	냉각계열 중복 센서
Temperature Coolant Heater Outlet [°C]	냉각계열 중복 센서
Temperature Heat Exchanger Outlet [°C]	Heat Exchanger Temperature [°C]와 매우 유사
Temperature Defrost lateral left [°C]	HVAC 송풍구 세부 센서, 직접적인 배터리/주행 영향 낮음
Temperature Defrost lateral right [°C]	HVAC 세부 센서 중복 가능성 높음

Temperature Defrost central [°C]	공조 결과값 성격, 모델 기여 가능성 낮음
Temperature Defrost central left [°C]	실내 송풍 위치 차이만 반영
Temperature Defrost central right [°C]	다른 Defrost 계열과 거의 동일
Temperature Footweel Driver [°C]	HVAC 세부 위치 센서
Temperature Footweel Co-Driver [°C]	운전석/조수석 차이만 존재
Temperature Feetvent Co-Driver [°C]	공조 세부 분배 센서
Temperature Feetvent Driver [°C]	HVAC 노이즈 가능성 큼
Temperature Head Co-Driver [°C]	세부 위치 센서
Temperature Head Driver [°C]	세부 위치 센서
Temperature Vent right [°C]	다른 Vent 계열과 매우 유사
Temperature Vent central right [°C]	Vent 계열 중복
Temperature Vent central left [°C]	Vent 계열 중복

변수 요약 및 추가

1. 요약통계 추천 변수

(절대값 자체가 중요한 변수)

이 변수들은:

- 평균
- 최대
- 표준편차

같은 정적 특징이 중요함.

변수	추천 통계	이유
Velocity	mean/std/max	주행 스타일
Battery Current	mean/max/std	소비전력 패턴
Battery Voltage	mean/min	전압 안정성
Battery Temperature	mean/max	발열 상태
AirCon Power	mean/sum/max	HVAC 사용량
Heating Power CAN	mean/sum/max	난방 사용량
Ambient Temperature	mean	외기 환경
Elevation	mean/max/min	지형 정보
Motor Torque	mean/max/std	출력 특성
Throttle	mean/max/std	운전 패턴

2. 변화량(diff/rate) 추천 변수 ★

(시간 흐름이 중요한 변수)

이 변수들은:

- 변화 속도
- 변화 폭
- 진동성

이 핵심임.

변수	추천 변화량	이유
SoC	diff / 감소율	배터리 소모 속도
Velocity	diff	급가속/급감속
Battery Current	diff	순간 전력 변화
Battery Temperature	상승률	발열 속도
Elevation	diff	경사 변화
Torque	diff	부하 변화
Throttle	diff	운전 습관
HVAC Power	diff	냉난방 패턴
Regen Signal	ON/OFF 변화횟수	회생제동 패턴

요약통계 추천 변수 TOP 5

변수	추천 통계	이유
Velocity	mean / std / max	주행 패턴 핵심
Battery Current	mean / max / std	소비전력 핵심
Battery Temperature	mean / max	발열 상태
AirCon + Heating Power	sum / mean	HVAC 사용량
Motor Torque	mean / max	출력 부하 특성

변화량(feature diff/rate) 추천 변수 TOP 5

변수	추천 변화량	이유
SoC	감소율(diff)	배터리 소모 속도
Velocity	diff	급가속/급감속
Battery Current	diff	순간 부하 변화
Battery Temperature	상승률	발열 변화
Throttle	diff	운전 습관 변화

제일 중요한 조합

Velocity
Battery Current
SoC
Battery Temperature
HVAC

->EV 효율/주행거리 예측에서 거의 핵심 변수들임.

초단위 시계열 정렬

내가 추천하는 최적 구성

요약통계 Feature

딱 5개 변수

변수	추천 통계
Velocity	mean, std
Battery Current	mean, max
Battery Temperature	mean
HVAC Power	sum
Motor Torque	mean

변화량 Feature

딱 5개 추천 ★

변수	추천 feature
SoC	감소율(diff mean)
Velocity	diff std
Battery Current	diff max
Battery Temperature	상승률
Throttle	diff std

Trip병합 -> 기본 전처리(컬럼명 및 중복 컬럼, 불필요 컬럼 제거) -> diff계산 전 결측치 처리
-> 시계열 기반 전처리(변화량 feature 생성, 시계열 cleaning) -> 요약통계 생성 ->
Overview 합치기 -> ML용 전처리

시계열 정리

작업	중요도
Trip_ID + Time 정렬	매우 중요
결측치 처리	매우 중요
이상치 확인	중요

1. TripA + TripB concat

↓

2. 시계열 정리

- Time 정렬

- 타입 변환

- 결측 확인

↓

3. 1초 resampling

↓

4. 변화량(diff/rate) 생성

↓

5. Trip_ID 기준 요약통계

↓

6. Overview merge

↓

7. 최종 전처리

↓

8. 모델링

관련 논문

[전기열 회수를 통한 사거리 연장](#)

[전기차의 남은 주행 거리 예측: 주요 도전 과제와 전망 - Mei - 2023 - IET 제어 이리 및 응용 - Wiley 온라인 라이브러리](#)

SoC · 토크 · HVAC 상관관계 조사

SoC · 토크 · HVAC 상관관계 조사

분석 결과

BMW i3 70개 트립을 트립 단위로 요약 후 상관계수 계산

SoC 감소량과의 상관

변수	전체	여름(A)	겨울(B)
Speed	0.40	0.54	0.48
Torque	0.37	0.27	0.33
HVAC	0.19	0.26	0.03
Heating	0.20	0.15	0.03
AirCon	-0.06	0.34	0.06

도메인 검증

토크 ↔ **SoC감소 (0.37)** — 이론 일치 전기차에서 전류는 토크에 정비례하므로 토크↑ → 전류↑ → 배터리 방전↑ [1]. 가속 시 방전 전류가 배터리 용량 손실에 영향을 준다는 연구도 동일한 결론 [2].

속도 ↔ **SoC감소 (0.40~0.54, 가장 강함)** — 이론 일치 공기저항은 속도의 제곱에 비례하고, 이를 극복하는 전력은 속도의 세제곱에 비례. 속도 2배 → 8배 전력 필요 [3]. 80km/h 이상에서 공기저항이 구름저항보다 더 커짐 [4].

HVAC ↔ SoC감소 (0.19) — 통념과 다름, 실증연구와는 일치 "HVAC가 EV 전력의 30%까지 차지" [5][6]라는 통념과 달리 약하게 나옴. 그러나 Geotab의 300만 트립 분석에 따르면, 실제 주행에서는 공기저항이 에어컨보다 주행거리에 훨씬 큰 영향을 미친다 [7]. 우리 결과(속도 > HVAC)와 정확히 일치. NREL의 30%는 극한 조건의 최댓값.

토크 ↔ **HVAC (0.25, 독립적)** — 이론 일치 HVAC는 주행 배터리에 기생 부하로 작용하는 별개의 전력 소비원 [8]. 즉 SoC를 깎는 원인이 '주행'과 '공조' 두 갈래.

여름 에어컨(0.34)이 겨울 난방(0.03)보다 SoC와 상관이 높은 이유

① 변동성: 여름엔 운전자별 에어컨 사용량이 다양해 상관이 잡히지만, 겨울엔 모두 일정하게 난방을 켜서 변동이 없어 상관이 안 잡힌다.

② 다요인 효과: 겨울 SoC 감소는 난방 외에도 저온으로 인한 배터리 내부 저항 증가, 노면 저항 등이 함께 작용해 난방의 단독 기여도가 희석된다.

출처

[1] DIY Electric Car Forums, "Relationship between power, RPM, voltage, and current"
<https://www.diyelectriccar.com/threads/relationship-between-power-rpm-voltage-and-current.201093/>

[2] Nature Scientific Reports, "Research on the interaction between energy consumption and power battery life during electric vehicle acceleration"
<https://www.nature.com/articles/s41598-023-50419-3>

[3] The Truth About Cars, "EV Range Explained: Speed, Drag & Heating"
<https://www.thetruthaboutcars.com/cars/features/ev-range-explained-speed-drag-heating-45133102>

[4] CarBuzz, "How Manufacturers Are Reducing Aerodynamic Drag To Increase Electric Car Range"
<https://carbuzz.com/news/how-manufacturers-are-reducing-aerodynamic-drag-to-increase-electric-car-range/>

[5] Diverse Daily, "Maximizing Electric Vehicle Range: The Role of Low-Energy HVAC Systems" (NREL 연구 인용)
<https://diversedaily.com/maximizing-electric-vehicle-range-the-role-of-low-energy-hvac-systems/>

[6] ScienceDirect, "Effects of ambient temperature on electric vehicle range considering battery performance, powertrain efficiency, and HVAC load"
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890425000160>

[7] Fleet News, "Data shows how temperature and speed affect energy use in EVs" (Geotab 300만 트립 분석)
<https://www.fleetnews.co.uk/news/data-shows-how-temperature-and-speed-affect-energy-use-in-evs>

[8] Amphenol Sensors, "How Sensors Optimize Electric Vehicle HVAC System Design"
<https://blog.amphenol-sensors.com/blog/electric-vehicle-hvac-system-optimization-with-sensors-or-technology>