

REPORT

다이나모미터 센서 데이터 분석 및 예측과 이상치 검출



활동명	동계 인턴쉽
지도교수	송석일
학과	컴퓨터공학과
학번	2226051
성명	이강민
제출일	2026.01.23.

국립한국교통대학교

목 차

I. 프로젝트 개요

- 목적, 데이터 정의, 분석 흐름(Day1~Day5)

II. 데이터 정리 및 기초 시각화 (Day1)

- 전처리
- 주요 센서 시간 그래프 해석

III. 센서 관계 분석 (Day2)

- 센서 간 관계 해석(RPM-Torque 중심)
- 상관관계수 표 요약

IV. 예측 결과 비교 (Day3~Day4)

- 단변량 예측 그래프 해석
- 다변량 예측 그래프 해석 및 단변량 대비 비교

V. 이상치 검출 및 이벤트 사례 (Day5)

- 진동(Vib) 기반 이상치 검출
- 대표 이상치 포인트 그래프 해석

I. 프로젝트 개요

1) 목적

본 프로젝트는 다이내모미터(엔진/모터 시험) 데이터에 대해 기초 시각화로 데이터의 시간적 패턴과 품질을 확인하고, 센서 간 관계를 해석하며, Prophet 기반으로 미래 토크 값을 예측 해보고, 마지막으로 진동(Vib) 신호를 기반으로 이상치(Anomaly) 검출을 목표로 한다.

2) 데이터 정의

원본 데이터의 Time 값이 0~4950 까지 50씩 증가 하며 반복하는 상대시간 구조 이므로, 분석에서는 run_id로 run을 구분하고, Prophet 입력을 위해 abs_time(연속 시간축)을 생성하여 사용한다.

구분	컬럼(그룹)	신호 설명(추정)	단위(가정)	스케일/변환(가정)	메모
시간	Time	각 run 내 상대 시간	ms	그대로 사용	run마다 0부터 반복
토크	FB_Torque	피드백 토크(부하/제동 방향 가능)	N·m	값 ÷ 10	음수는 흡수(제동) 토크 가정
RPM	FB_Rpm	분당 회전수	rpm	그대로 사용	저속 구간 중심
온도	Temp00~Temp19	온도 센서 20채널	°C	값 ÷ 10	대표값 생성 (평균)
압력	Press00~Press15	압력 센서 16채널	kPa(추정)	값 ÷ 10	대표값 생성 (평균)
진동	Vib_X,Y,Z	3축 진동(가속도) 출력	(상대값)	환산 보류	RMS로 변화량/크기 지표 사용

3) 분석 흐름(Day1 ~ Day5)

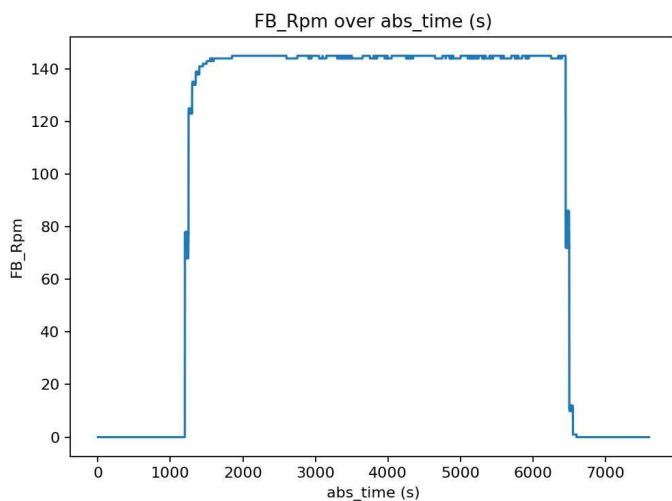
Day	목표	핵심 작업
Day1	데이터 정리 및 기초 시각화	시간축 정리(run → abs_time), 결측/시간 이상 점검, 주요 센서 시계열 확인
Day2	센서 관계 분석	산점도 기반 관계 해석, 상관계수 표 정리
Day3	단변량 예측	예측 대상 선정(Torque/Temp 등), Prophet 단변량 예측, 성능(MAE) 계산
Day4	다변량 예측 + 비교	회귀변수(regressors) 추가, 단변량 vs 다변량 비교(그래프/지표)
Day5	이상치 검출	Vib 기반 robust z-score 이상치 탐지. 대표 이벤트 사례 분석

II. 데이터 정리 및 기초 시각화 (Day1)

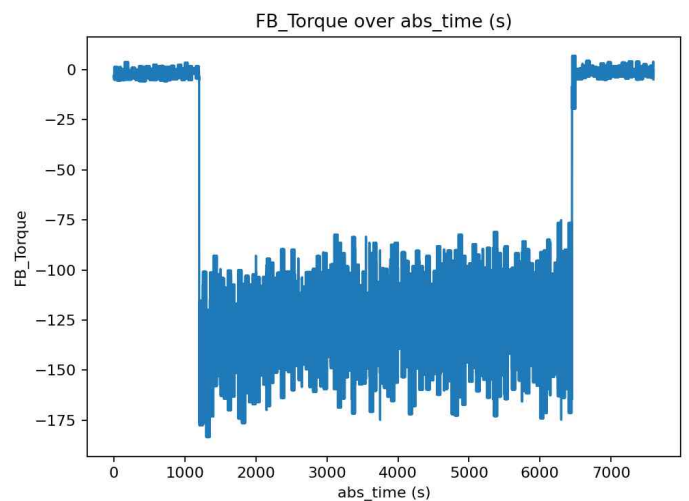
1) 전처리

토크(FB_Torque)는 음수 구간이 제동(흡수) 토크를 의미한다고 가정하여 부호를 포함하여 해석하며, 온도(Temp00~19)와 압력(Press00~15)은 채널 수가 많아 평균 값 (Temp_mean, Press_mean)으로 요약했고, 진동(Vib_X/Y/Z)은 방향성보다 크기 변화가 중요하므로 RMS(벡터 크기) 형태의 대표 진동 지표(Vib_rms)로 변환해 사용하였다.

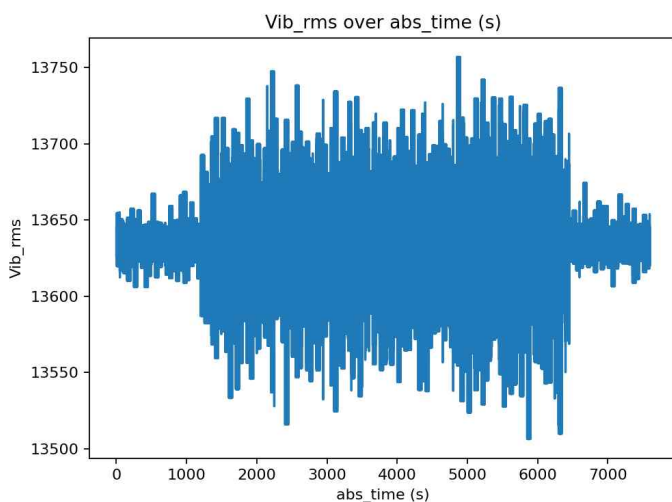
2) 주요 센서 시간 그래프 해석



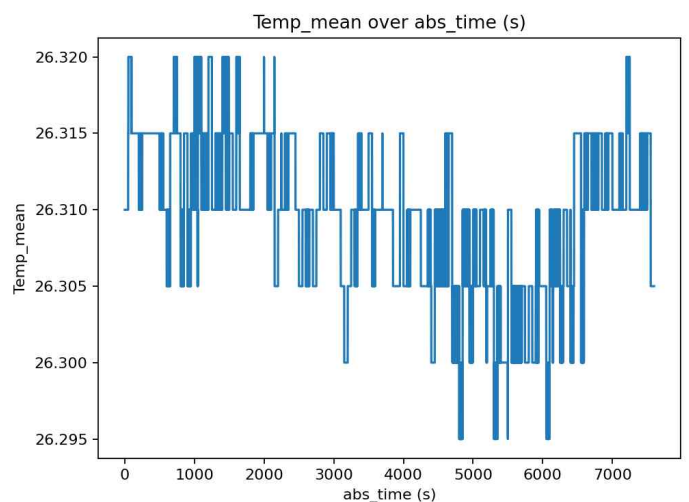
RPM: 정지 → 가동 → 정지



토크: 정지 → 가동 → 정지
음수(제동/흡수) 구간 존재



진동: 정지 → 가동 → 정지

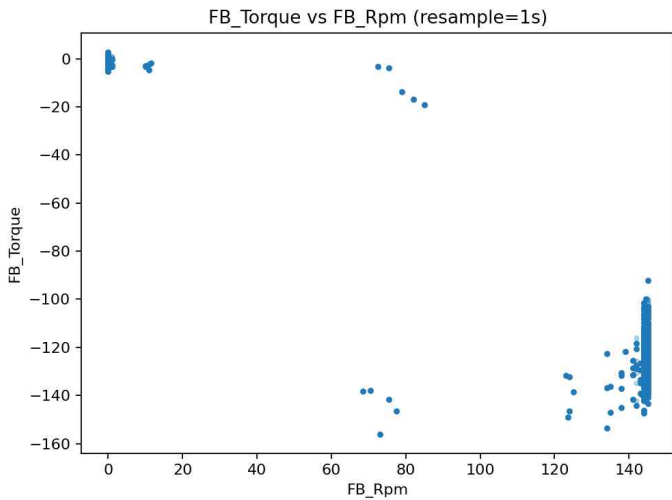


RPM/토크에 비해 변화가 완만하고 지연되는 특성이 보임

III. 센서 관계 분석 (Day2)

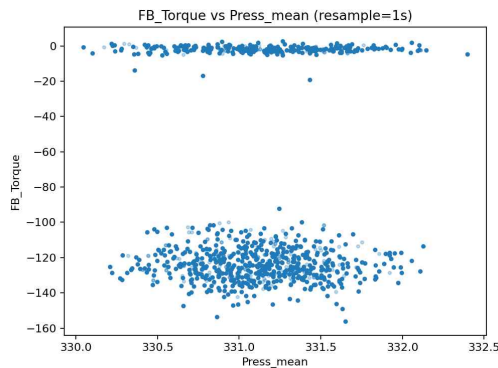
1) 산점도 기반 관계 해석(RPM-Torque 중심)

Day2에서는 FB_Torque를 기준으로 FB_Rpm, Temp_mean, Press_mean, Vib_rms와의 관계를 1초 단위 평균 리샘플(resample=1s) 후 산점도로 확인했다.



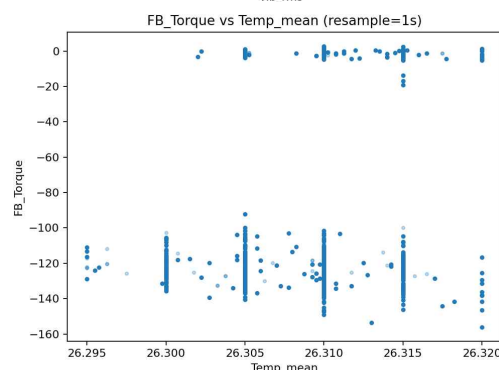
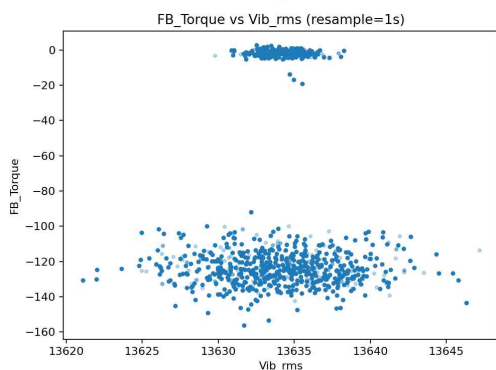
토크 ↔ RPM

- 산점도에서 4개의 군집으로 나뉜다.
- 저 RPM(정지/저속) 구간에서는 토크가 0 근처에 모이고, RPM이 커지는 구간에서는 토크가 음수(제동/흡수) 영역으로 이동한다.



토크 ↔ 압력/진동/온도

- 세 변수 모두 산점도에서 두 군집 (0 근처 / 큰 음수 구간)이 보이는 형태로 나타난다. (정지/가동 구간)
- 토크를 설명할 뚜렷한 패턴은 보이지 않는다.



2) 상관계수 표 요약

피어슨 상관계수를 사용했고, 전체 구간(corr_all)과 가동 구간(corr_running)을 분리해 해석했다.

* csv표는 아래 Github 주소에서 /tables/Day2 에서 확인 가능함
(<https://github.com/hjus36/dynamometer-prophet.git>)

전체 구간(corr_all)

	FB_Torque	FB_Rpm	Temp_mean	Press_mean	Vib_rms
FB_Torque	1	-0.97963	0.3683270205870517	0.031835	0.021383
FB_Rpm	-0.97963	1	-0.40989	-0.04232	-0.02428
Temp_mean	0.3683270205870517	-0.40989	1	0.020806777090708915	0.009973
Press_mean	0.031835	-0.04232	0.020806777090708915	1	-0.00867
Vib_rms	0.021383	-0.02428	0.009973	-0.00867	1

FB_Torque-FB_Rpm : -0.98 (매우 강한 음의 상관)

FB_Torque-Temp_mean : +0.37 (중간 정도 양의 상관)

그 외(Press_mean, Vib_rms)는 0에 가까움

가동 구간(corr_running) (FB_Rpm > 0)

	FB_Torque	FB_Rpm	Temp_mean	Press_mean	Vib_rms
FB_Torque	1	-0.77865	0.023534954223202356	-0.0775	0.000426
FB_Rpm	-0.77865	1	-0.18376	0.048431	-0.00863
Temp_mean	0.023534954223202356	-0.18376	1	0.006462	0.004745
Press_mean	-0.0775	0.048431	0.006462	1	-0.01911
Vib_rms	0.000426	-0.00863	0.004745	-0.01911	1

FB_Torque-FB_Rpm : -0.78 (여전히 음의 상관이지만 약화)

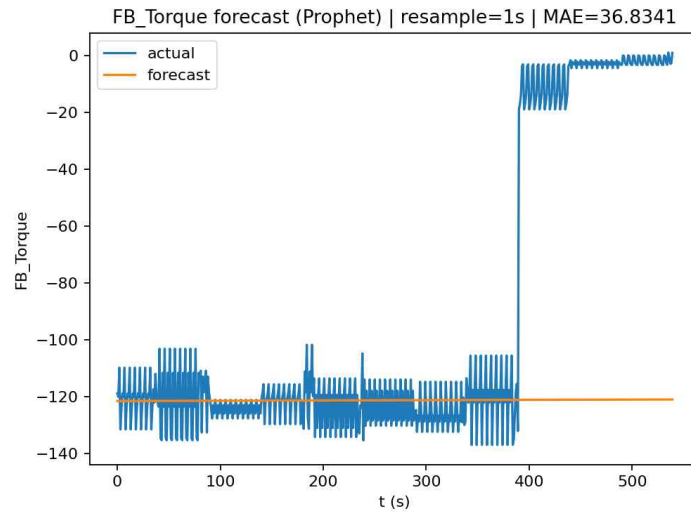
FB_Torque-Temp_mean : +0.02 (거의 무상관)

그 외(Press_mean, Vib_rms) : ~0.00 (무상관에 가까움)

IV. 예측 결과 비교 (Day3~Day4)

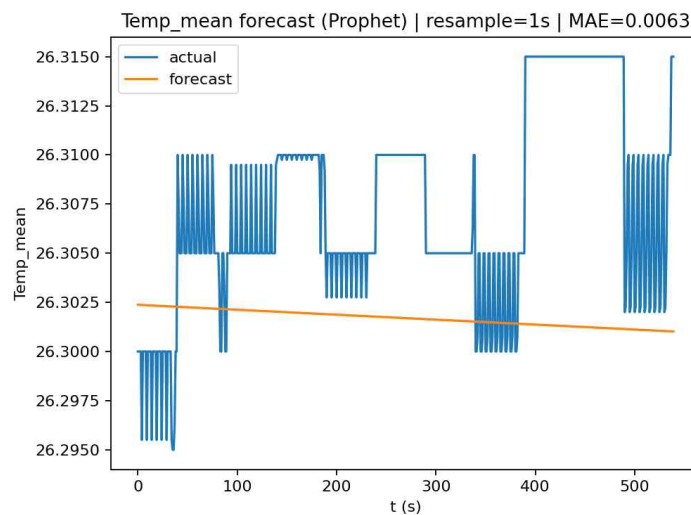
1) 단변량 예측 결과

Prophet 단변량으로 FB_Torque, Temp_mean을 1초 리샘플 기준으로 예측했다.



토크: 예측선이 -120 부근의 일정한 값으로 유지되는 반면, 실제 값은 후반에 토크 레짐이 급격히 변하며 예측이 이를 따라가지 못한다.

즉, 단변량 Prophet은 학습 구간에서 관측한 대표 레벨로 회귀하는 경향이 있어, 레짐 전환(가동/정지 변환)이 큰 경우 오차가 크게 증가했다.

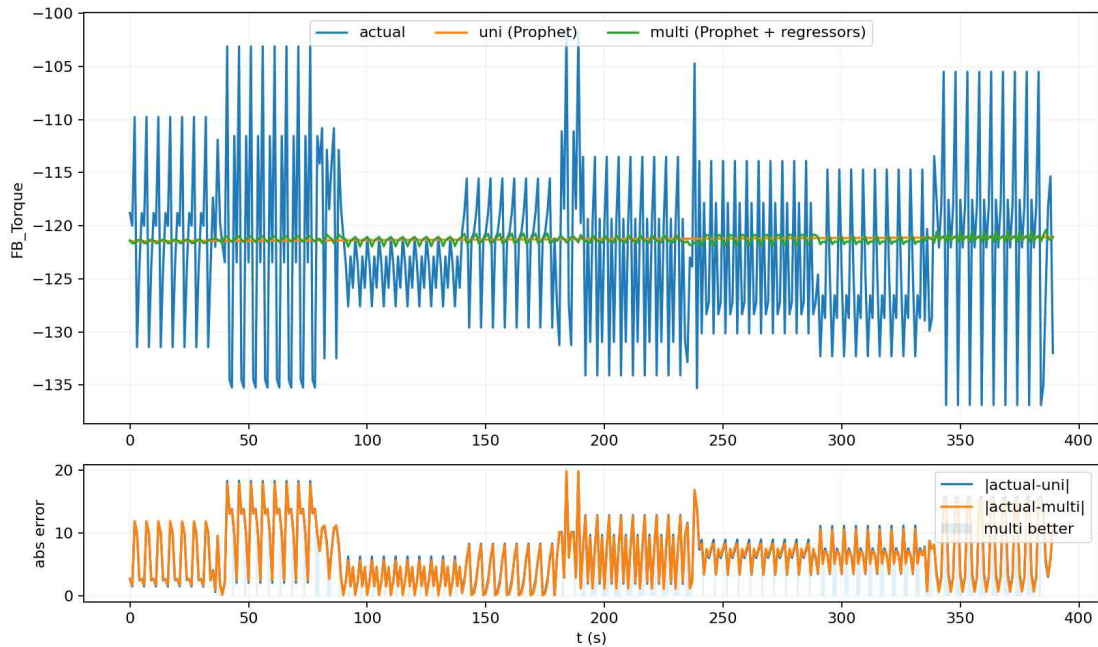


온도: 원본 데이터의 변화폭이 작아 예측 오차 역시 작게 나왔다.

2) 다변량 예측 및 단변량 대비 비교

센서 관계 분석에서 토크 ↔ RPM 관계가 비교적 뚜렷하게 나타난 점을 근거로 회귀변수(RPM, Press_mean)를 추가하고, 평가 구간을 가동 구간 중심(RPM>0 & Torque<-50) 으로 제한해 단변량과 비교했다.

FB_Torque | MAE uni=6.5190 vs multi=6.4180 | eval: RPM>0.0, Torque<-50.0 | regs=FB_Rpm,Press_mean



- 상단 비교 그래프에서 단변량/다변량 모두 예측선이 -121 근처의 평균 레벨을 중심으로 움직이며, 실제 토크의 빠른 진동 까지는 따라가지 못한다.
- 하단 절대오차 그래프에서 다변량(주황색)이 일부 구간에서 오차가 소폭 더 낮게 나타나며, 결과적으로 MAE/RMSE가 작게나마 개선된다.
- 결론적으로, 회귀변수 추가는 가동 레짐 내에서의 레벨 보정에는 도움이 되었지만, 고주기 변동(진동형 패턴) 자체를 재현하기엔 Prophet 구조상 한계가 남았다.

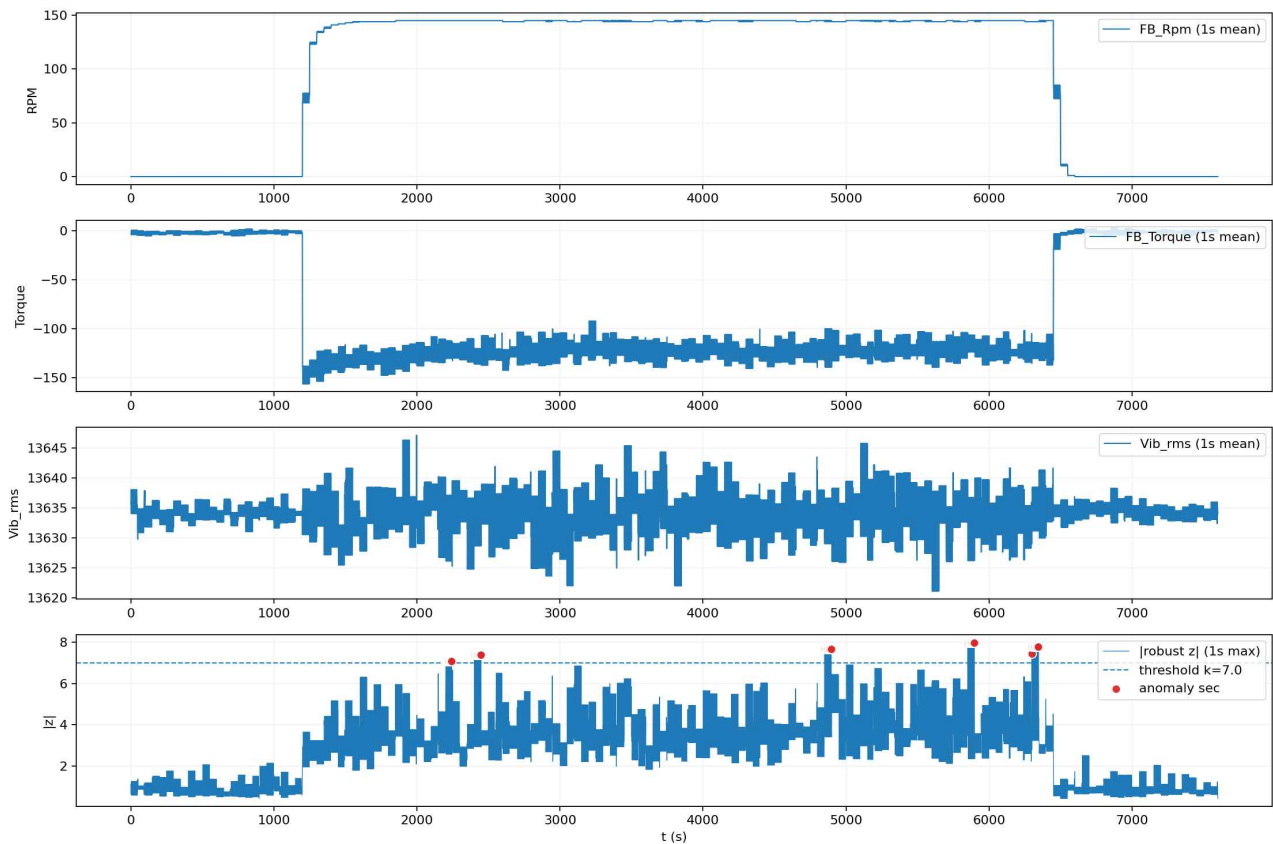
V. 이상치 검출 및 이벤트 사례 (Day5)

1) 진동(Vib_rms) 기반 이상치 검출

진동을 기반으로 이상치 검출 후, 그 이상치 포인트에서 ± 8 초에 대해 토크/RPM/온도/압력 그래프를 함께 확인하여 정상 전이인지 여부를 교차검증하는 구조로 설계했다.

이상치 검출 신호를 진동(Vib_rms)으로 선택한 이유는, 이번 데이터에서 의심되는 이상이 충격·공진·결합 문제 등과 같은 장비의 동역학적 상태 변화로 나타날 가능성이 크고, 이때 가장 먼저 반응하는 센서가 진동이기 때문이다.

Day5 Multi-sensor Overview (RPM/Torque/Vib + |z|) $k=7.0$

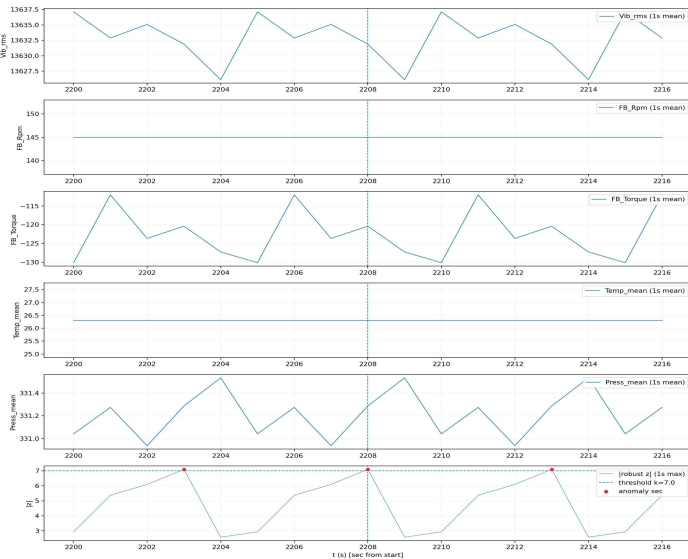


상단 3개의 그래프는 RPM, Torque, Vib_rms를 같은 시간축에서 보여주고, 하단 그래프는 Vib_rms가 평소 대비 얼마나 비정상적으로 큰지($|z|$)를 점수로 나타낸 것이다. 임계값 $k=7.0$ 을 넘는 시점(빨간 점)을 이상치로 표시했다. 약 $t \approx 1200s$ 에서 운전이 시작되며(RPM 상승) 토크가 큰 음수로 전환되고, $t \approx 6500s$ 부근에서 운전이 종료되며 다시 0 근처로 돌아간다. 운전 구간에서 Vib_rms 변동이 커지고, 그중 일부 순간 스파이크가 임계값을 넘어 이상치로 검출된 것을 확인할 수 있다.

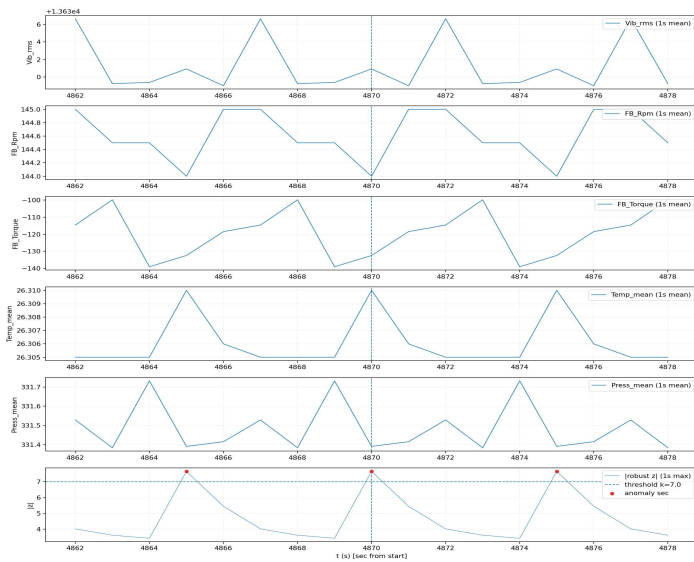
2) 대표 이상치 포인트 그래프 해석

이상치를 해석하기 위해, 인접한 이상치를 묶어 이벤트(event)로 정리하고 전후 맥락을 함께 시각화했다.

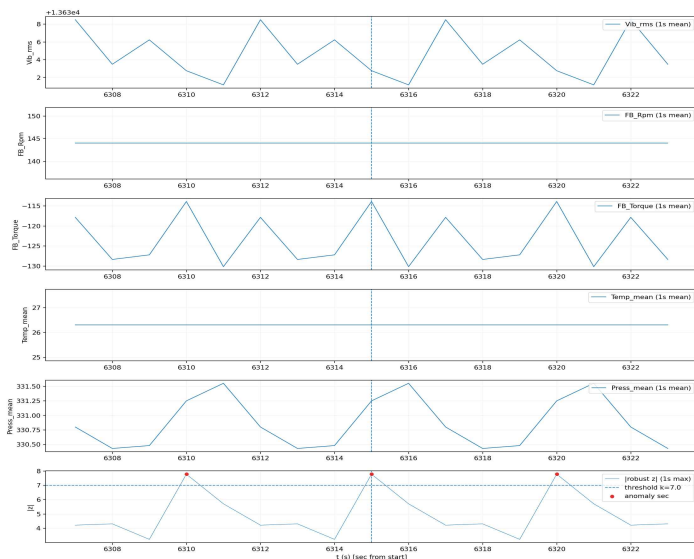
Event 05 | peak_sec=2208 | peak |z|=7.09 | window=±8s



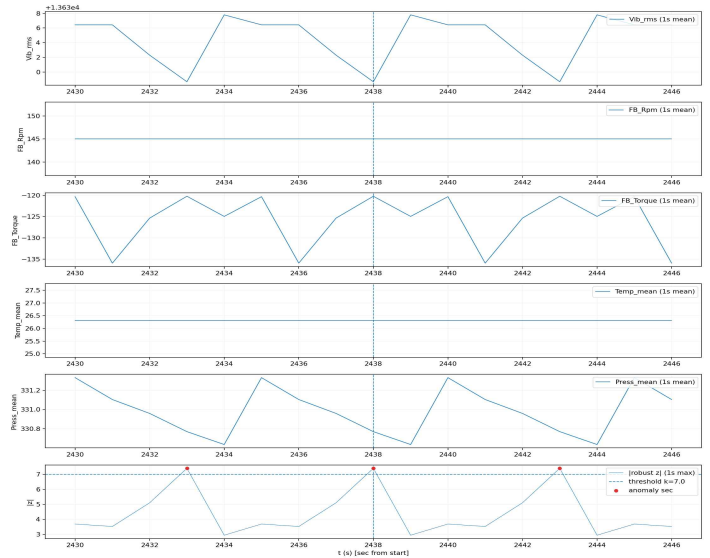
Event 03 | peak_sec=4870 | peak |z|=7.67 | window=±8s



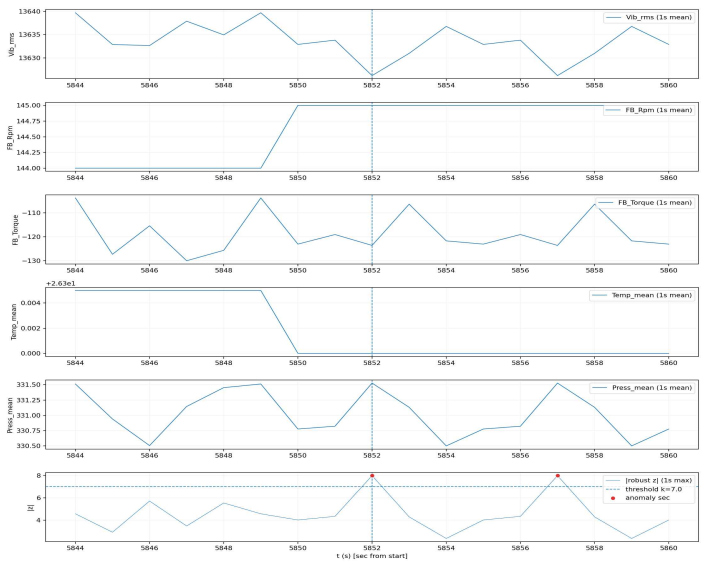
Event 02 | peak_sec=6315 | peak |z|=7.78 | window=±8s



Event 04 | peak_sec=2438 | peak |z|=7.40 | window=±8s



Event 01 | peak_sec=5852 | peak |z|=8.00 | window=±8s



5개의 이상치 포인트 모두 운전 조건은 거의 일정한 상태에서(RPM/Temp 고정), Vib_rms가 몇 초 간격으로 반복적으로 튀면서 이상치로 잡힌 것이 공통적으로 보인다. 따라서 장비 레짐 전환 이상보다는 진동 스파이크 (충격/공진/계측 잡음) 중심 이상치 가능성이 크다.