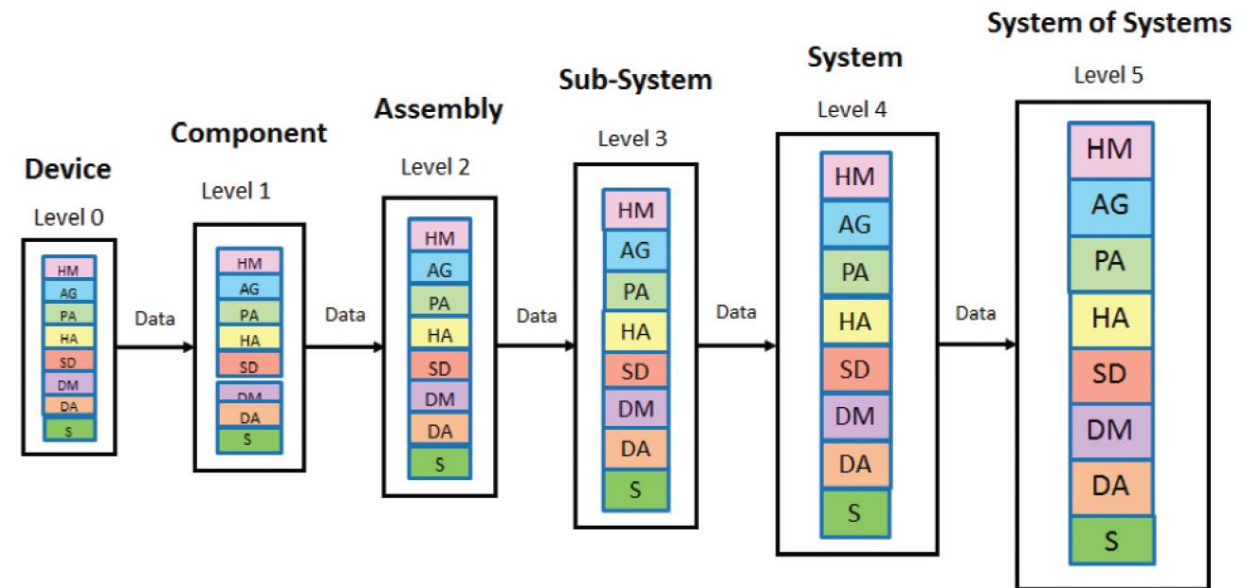




IEEE 1856-2017™ 표준 기반 PHM 엔진 ARULE

(Adaptive Remaining Useful Life Estimator)



출처: IEEE 1856-2017™

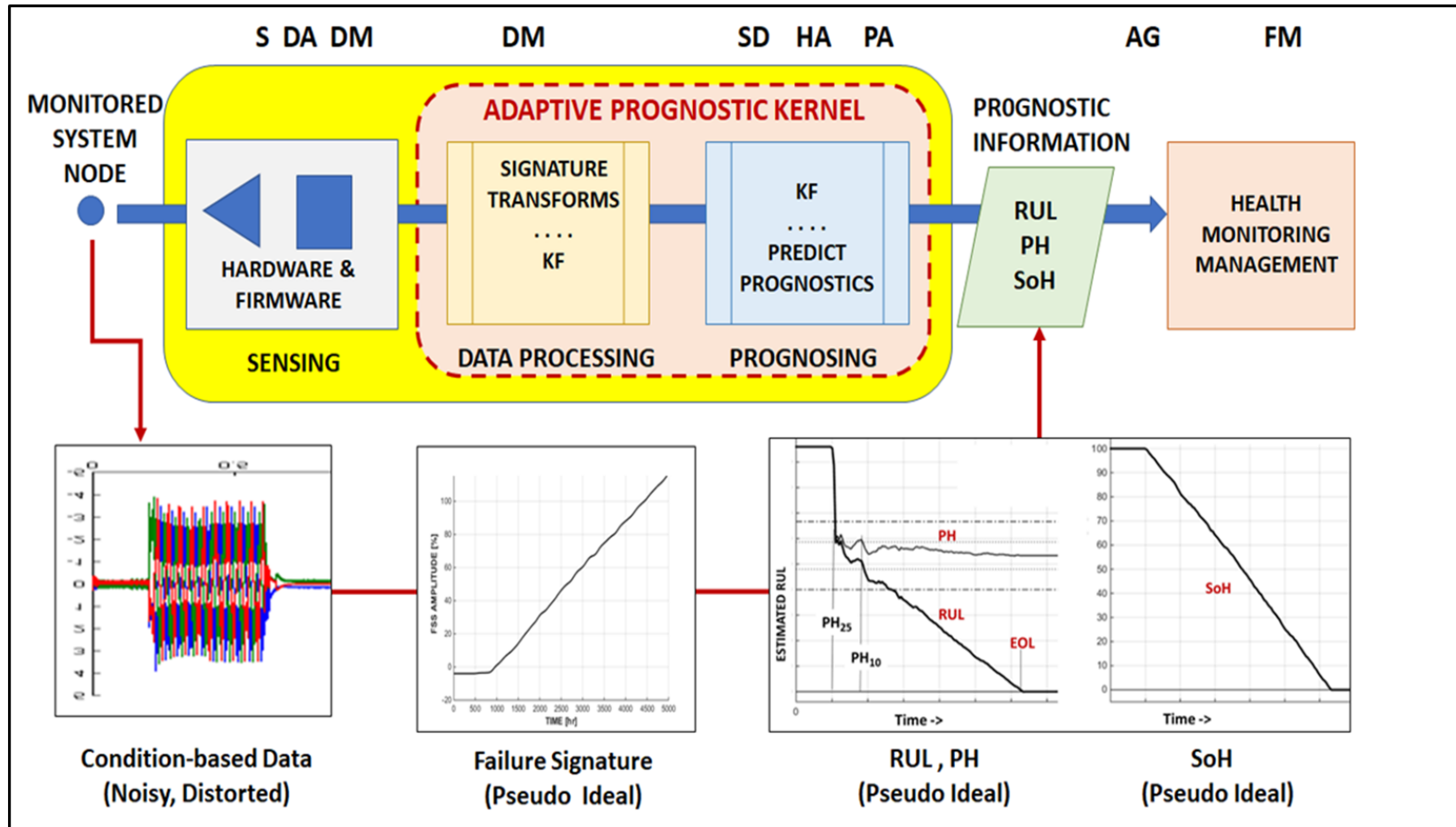
S – Sensors, DA – Data Acquisition, DM – Data Manipulation, SD – State Detection, HA – Health Assessment, PA – Prognostics Assessment, AG – Advisory Generation, HM – Health Management

Agenda

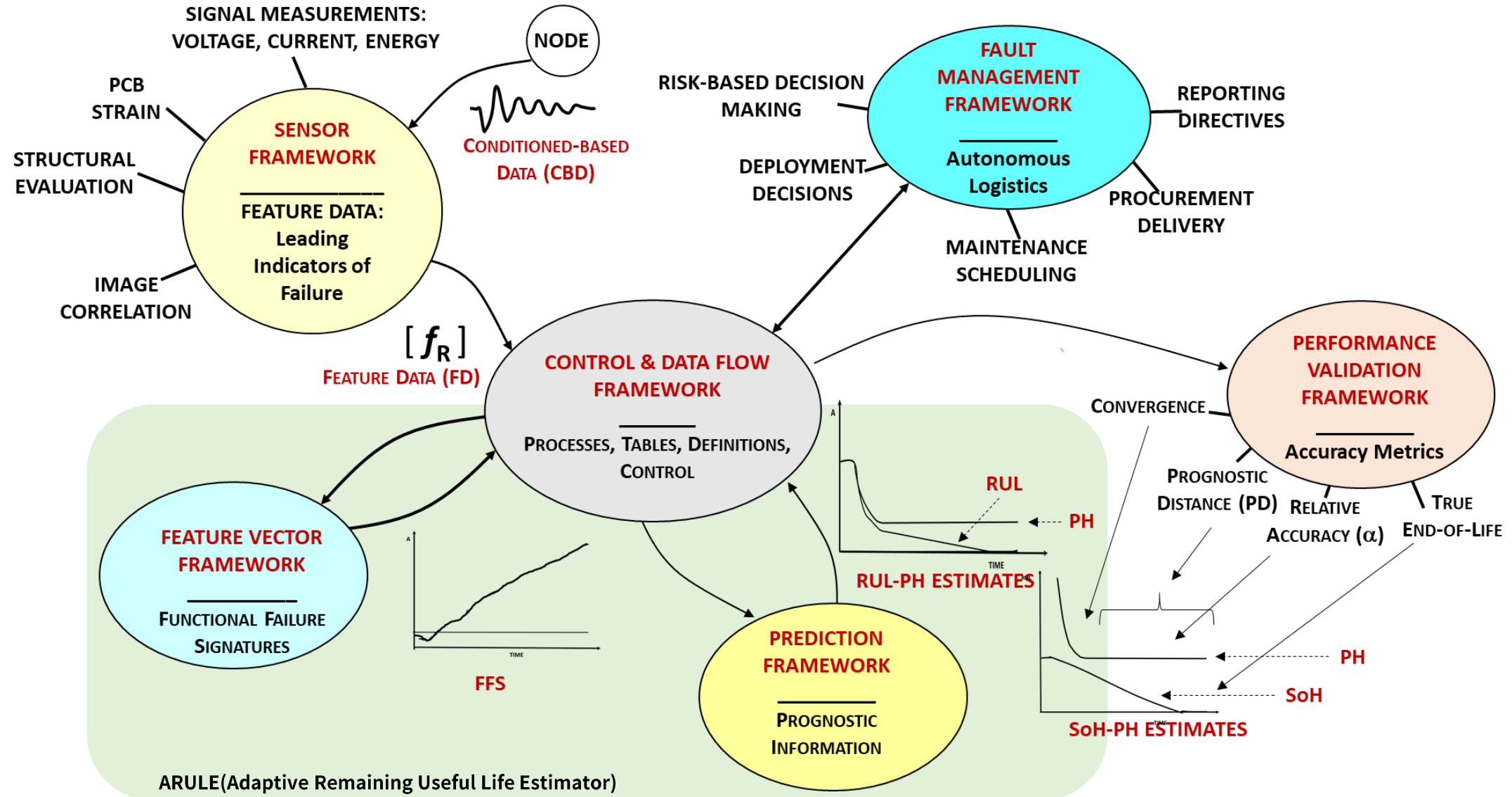
- I. ARULE 소개
- II. 사례 1 : 헬리콥터 기어박스(Motion)
- III. 사례 2 : SMPS 전력공급장치(Power Electronics)
- IV. 사례 3 : 배터리(저항과 정전용량 손실)
- V. 사례 4 : EMA(다수의 고장 모드)
- VI. 정확성

ARULE 과 IEEE 1856-2017™ 관계

- ARULE의 예지 엔진은 IEEE 1857-2017™에 따라 특성데이터를 변환하고 잔존수명을 예측하는 엔진역할을 수행하며, 다양한 종류의 열화 데이터로부터 잔존수명을 예측함.

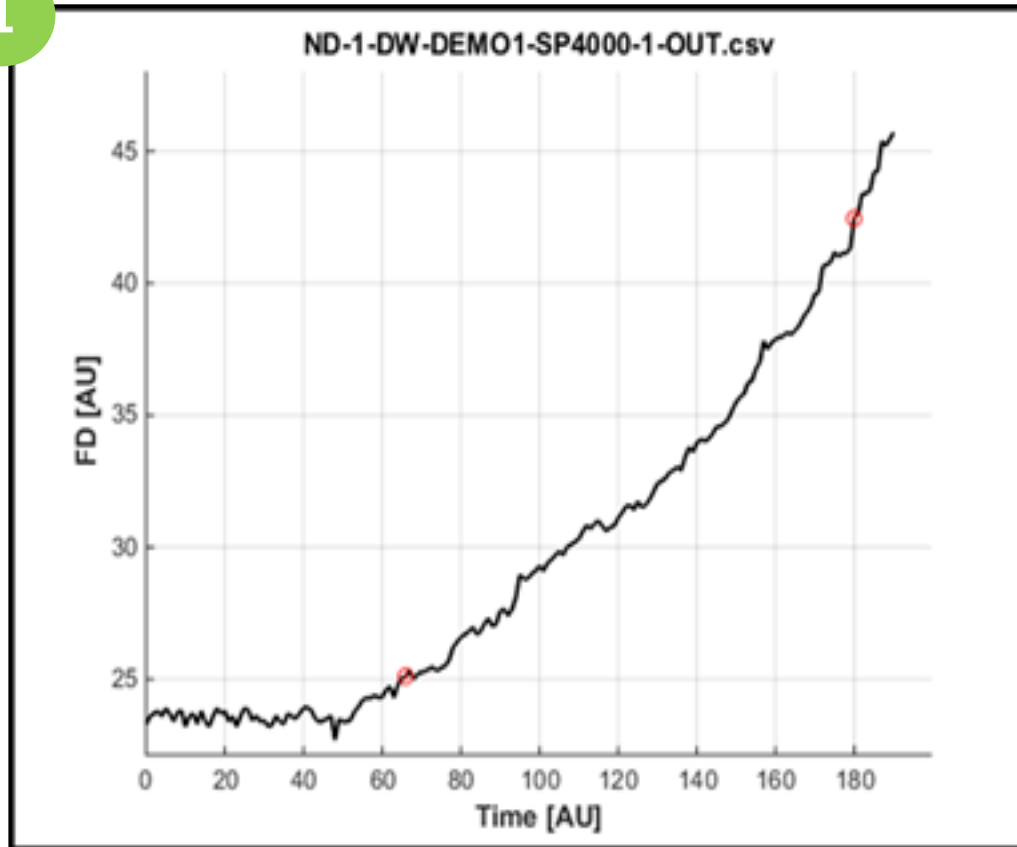


ARULE 과 IEEE 1856-2017™ 관계



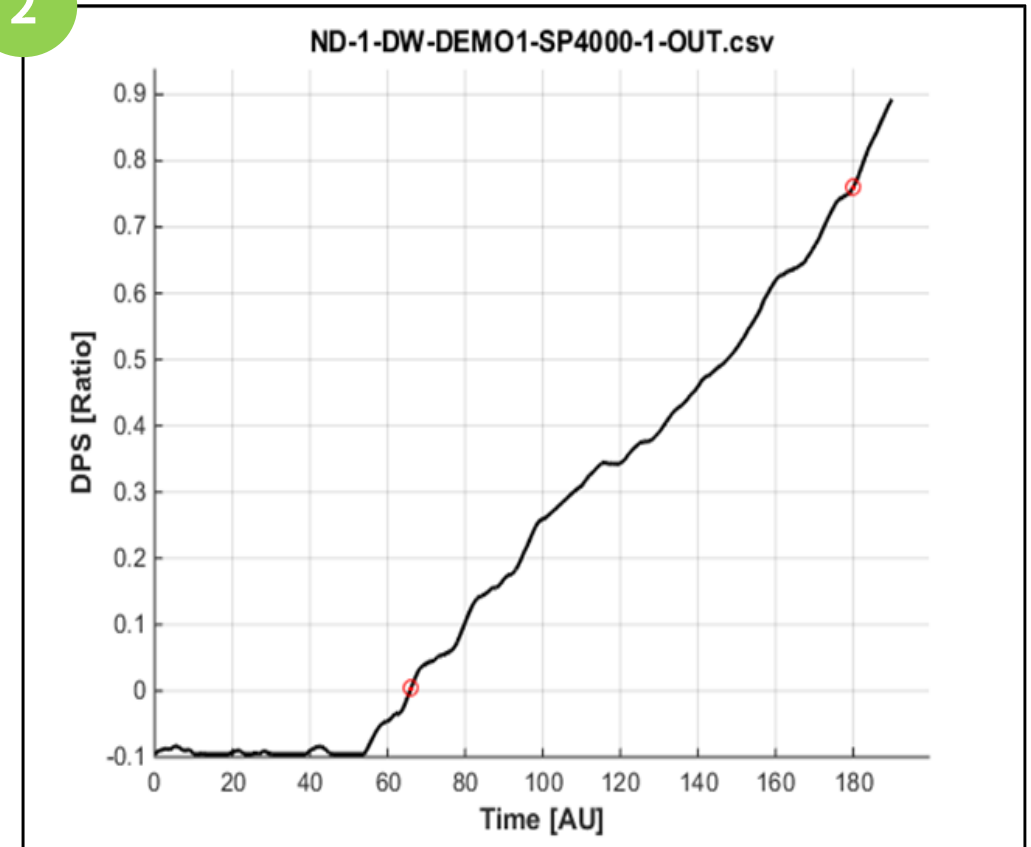
Signature 모델링

1



특징 데이터

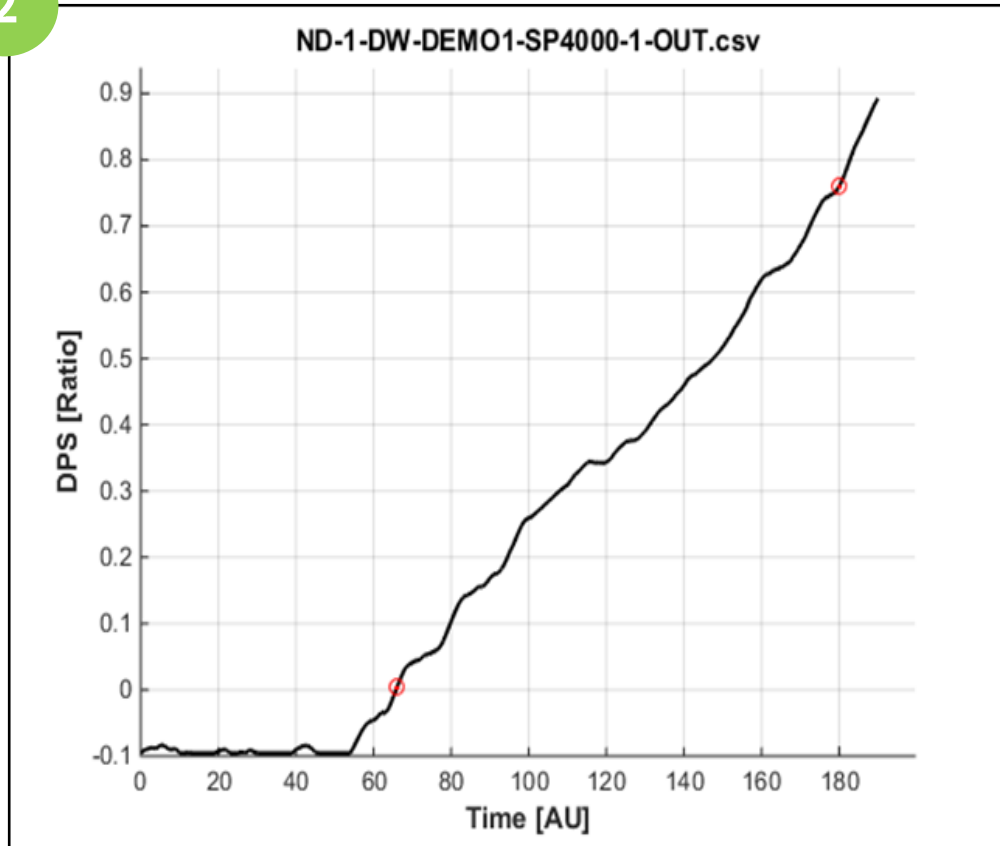
2



DPS(Degradation Progression Signature, 선형화)

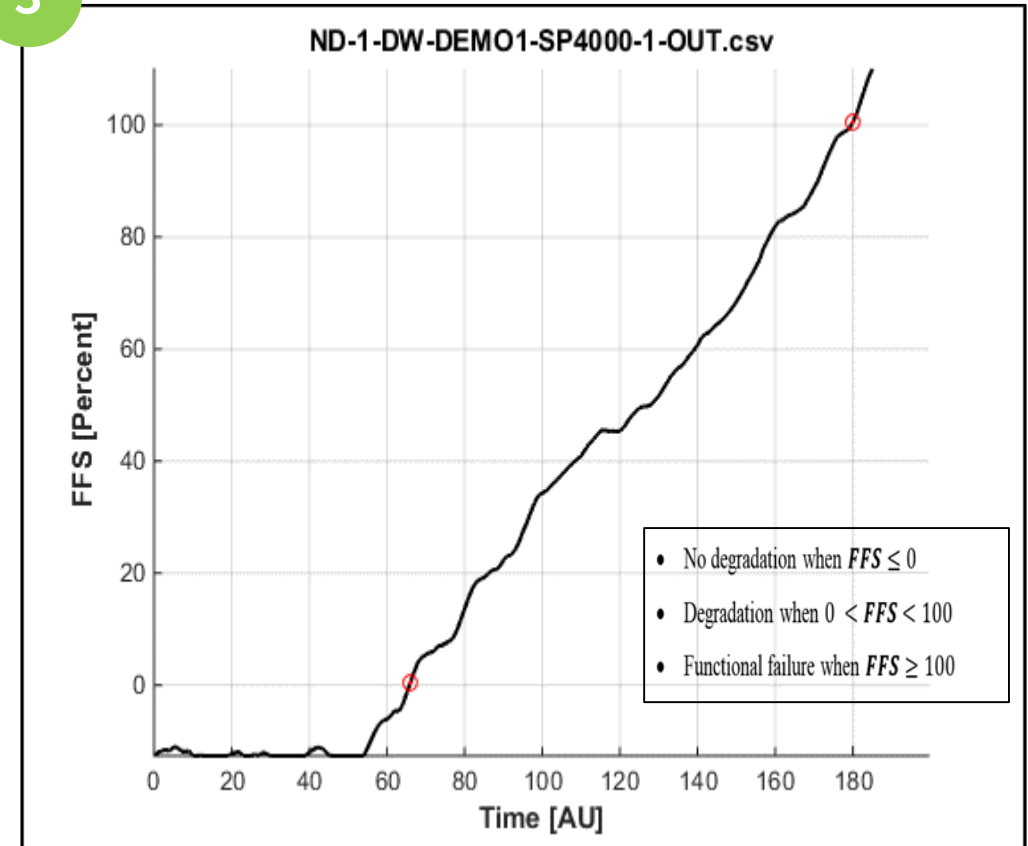
Signature 모델링

2



DPS(Degradation Progression Signature, 선형화)

3

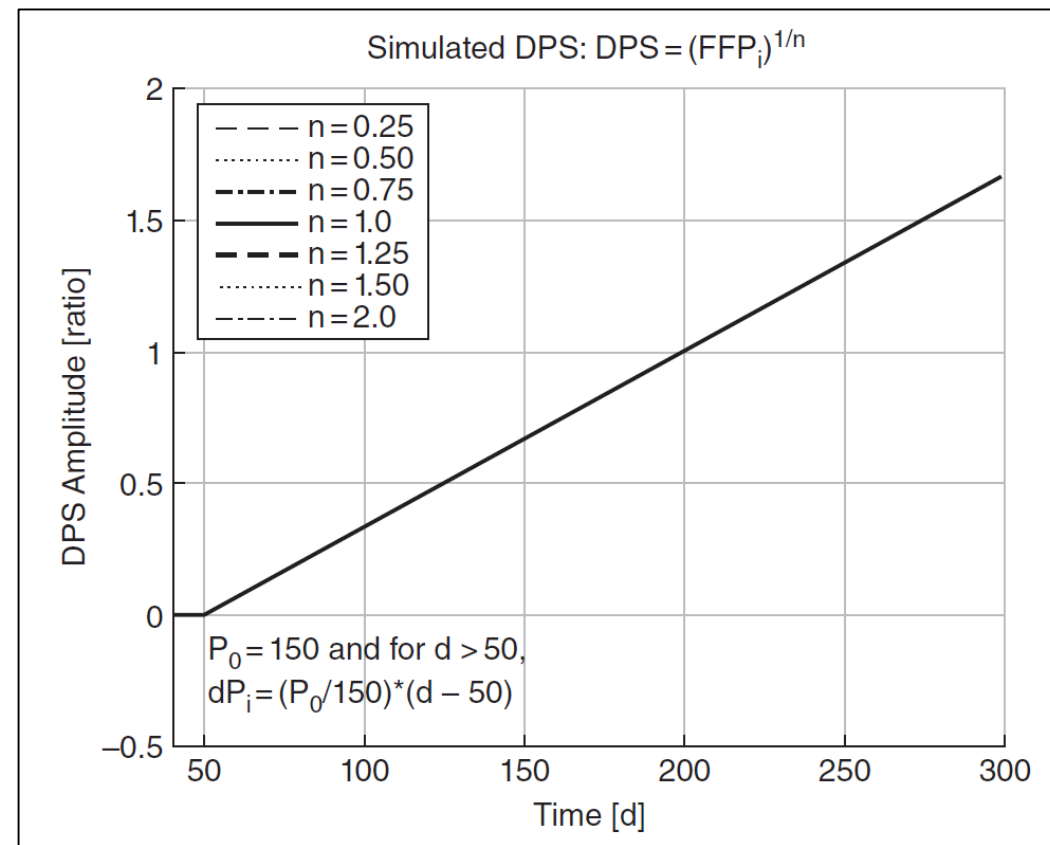
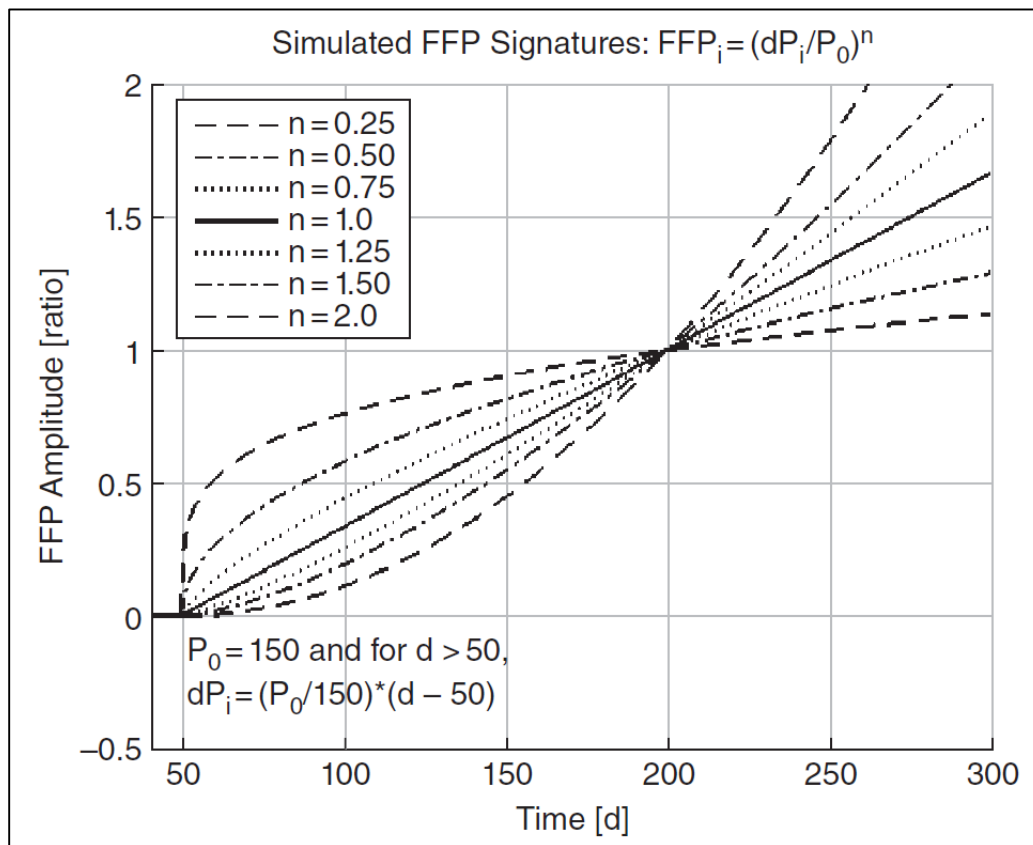


FFS(Functional Failure Signature, %로 정규화)

DPS 적용 모델

(기존 7개 유형중 1개로 단순화)

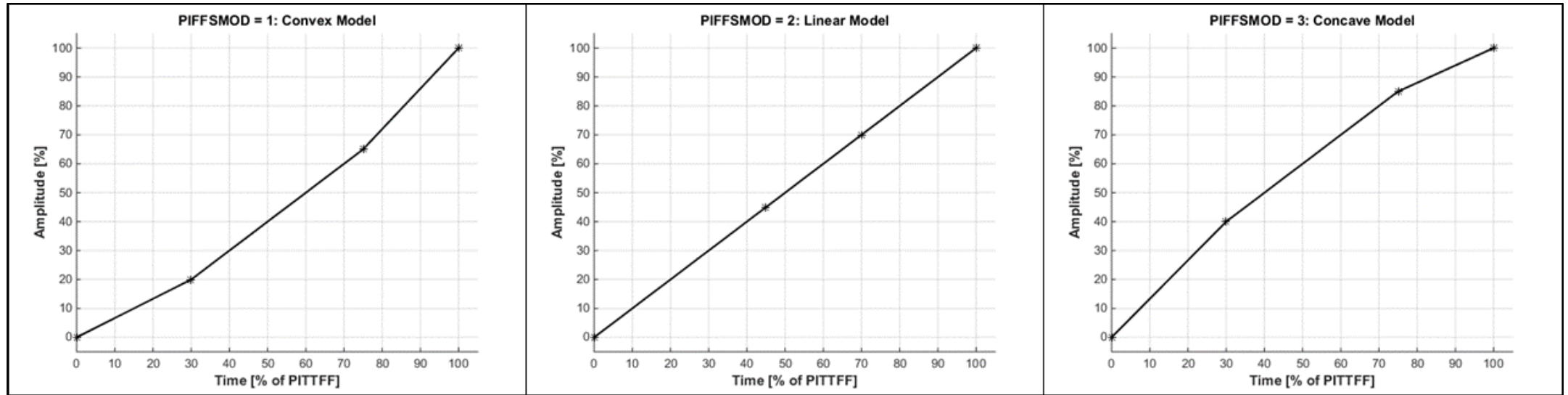
- $f(dP_i, P_0) = (dP_i / P_0)^n$ 대한 FFP 와 DPS 도식



잔존 수명 예지

(2 단계 Extended Kalman Filter Processing)

- 1단계 : FFS 데이터를 다음 6개 EKF Signature 모델중의 하나에 적용



볼록 Signature 모델

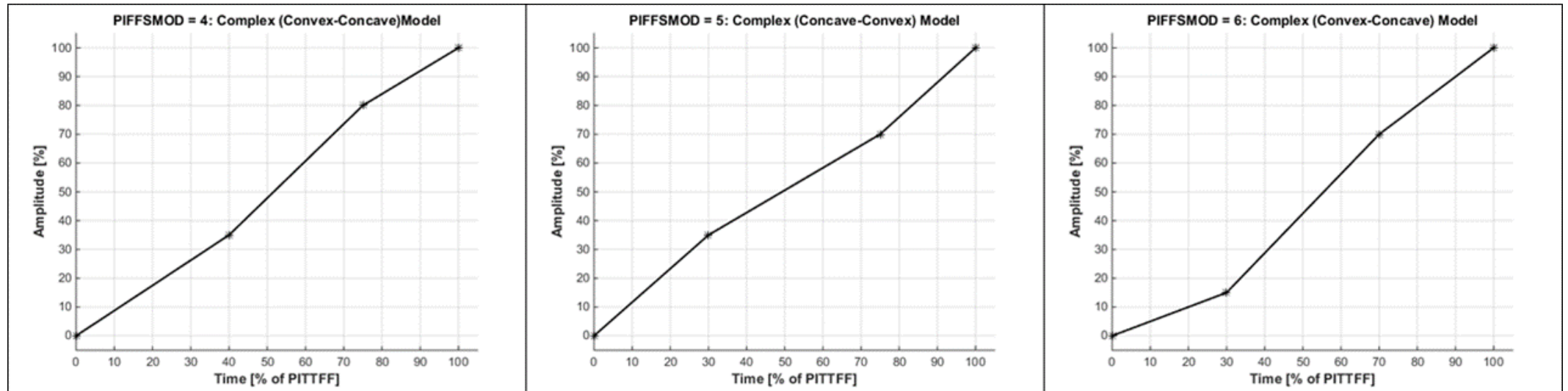
선형 Signature 모델

오목 Signature 모델

잔존 수명 예지

(2 단계 Extended Kalman Processing)

- 1단계 : 계속



블록후 오목 Signature 모델 I

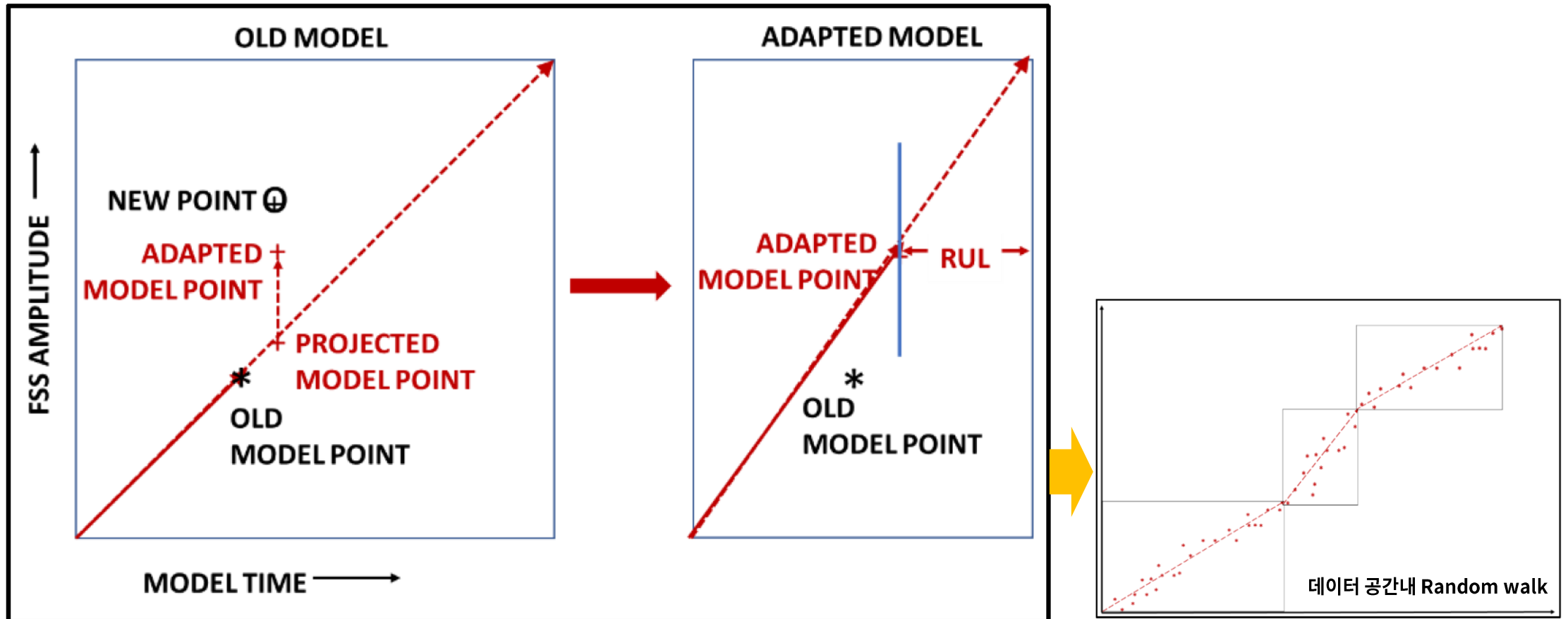
오목후 블록 Signature 모델

블록후 오목 Signature 모델 II

잔존 수명 예지

(2 단계 Extended Kalman Processing)

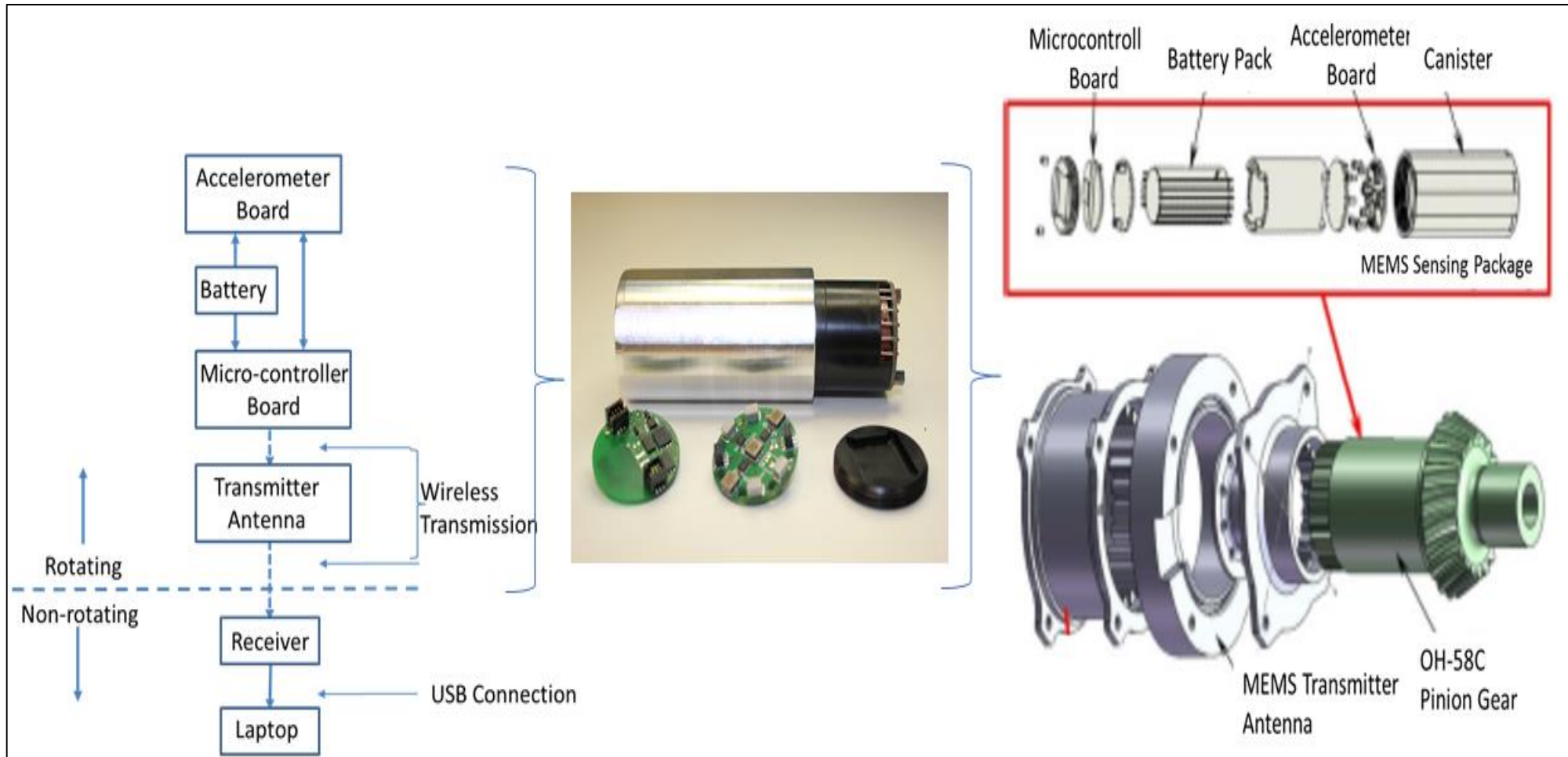
- 2단계 : 새로 입력된 데이터에 따라 모델을 수정하고, 수정된 모델에 기반하여 RUL 수정



사례 1

(헬리콥터 기어박스 : NASA)

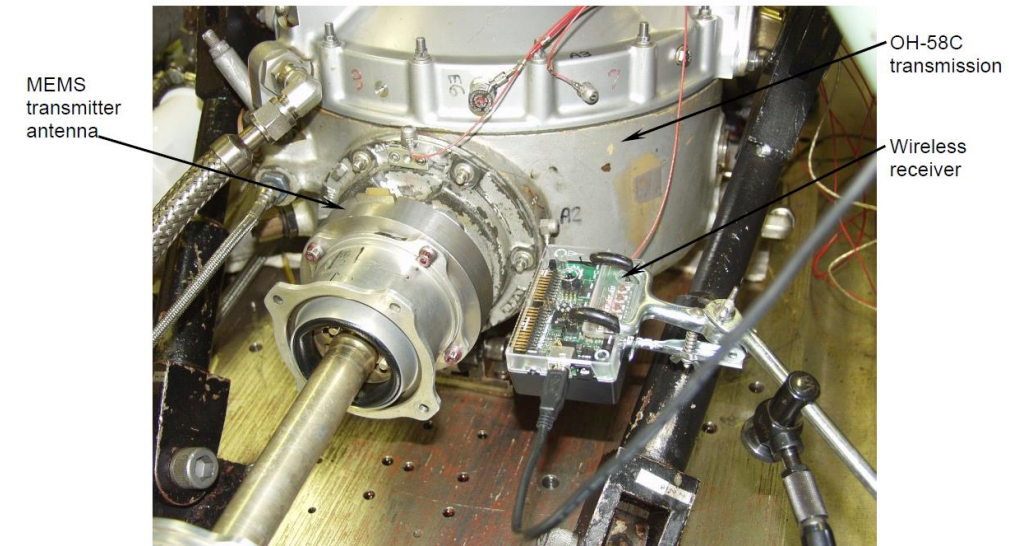
- OH-58C 헬리콥터 기어박스내 Pinion Gear 톱니 손상에 대한 고장 예지



사례 1

(헬리콥터 기어박스 : NASA)

- 취득한 상태기반 데이터 입력



출처 : NASA/TM-2015-218722

사례 1

(헬리콥터 기어박스 : NASA)

- 취득한 센서 노드중의 하나에 대한 NDEF(Node Definition File 정의)

Node Definition

NDEF NAME: XFD2_ROTGB1 Specifies Node Definition, If definition already exists it will be over written

INPUT FILE: ROTGB1.csv IMPORT DATA FILE Data file must have a txt or csv extension.

FDC: 5.2000 Specifies a FD nominal DC value to use in the absence of degradation/damage (Any positive value)

FDZ: 0.0000 Specifies a nominal AC value to use when transforming FD into FFP signature data. (Any positive value)

FDNM: 5.0000 Specifies noise margin as a percent of the nominal value of FDC to mitigate noise. (0.0 to 25.0)

FDNV: 0.9250 Specifies the n or lambda value for transforming FFP signature data to DPS signature data. (Any non-zero positive value)

FDCPTS: 0 Specifies the number of points to calculate FDC (Integers between 0 and 25)

FDPTS: 5 Specifies number of data points to average for FD (Integers between 0 and 5)

FFPFAIL: 40.0000 Specifies a percentage of FFP to use as a threshold value for functional failure (Any non-zero)

PITTF: 100.0000 Specifies an initial value to use for time-to-functional failure (TTFF) (Any non-zero positive value)

PIFFSMOD: Convex-Concave Specifies the expected shape of an FFS curve for EKF modeling

OUTTYPYE: .csv Desired file extension and format for output.

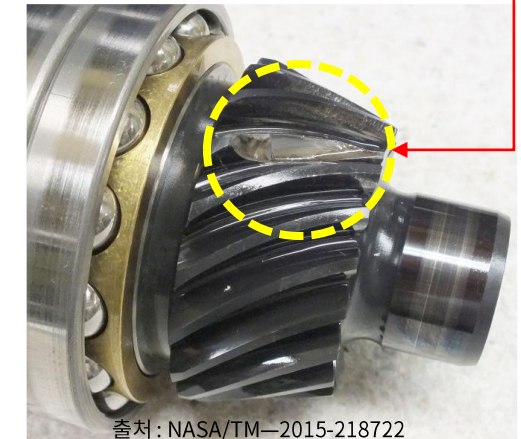
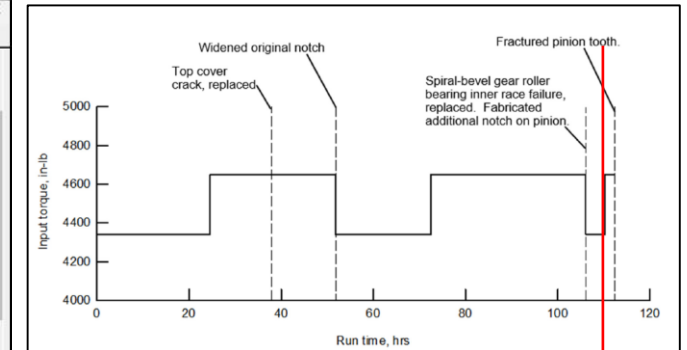
SAVE **CLOSE**

ID 이름	내용	값	
		범위	디폴트
FDNM	잡음여유치(Noise Margin) 지정. 잡음을 완화하기 위해 사용되는 FDC 정격값의 %	0.0 to 25.0	5
FDC	열화 또는 손상이 없을 때 사용하기 위한 특징 정격 DC 값 지정	0.0 부터 양수 값	1
FDCPTS	FDC 를 계산하기 위한 점의 수	0 to 25	5
FDZ	FD 를 FFP 시그니처 데이터로 변환할 때 사용하는 정격 AC 값 지정: $FFP = [FD - FDC * (1 + FDNM/100)] / FDZ$	0 는 FDC 사용을 의미. 양수	
FFPFAIL	기능적 고장에 대한 임계값으로 사용하기 위한 FFP % 지정 = $FFP / (FFPFAIL/100)$	0이 아닌 양수	70
FDNV	FFP 시그니처 데이터를 DPS 시그니처 데이터로 변환하기 위한 n 또는 Lamda 값 지정	영이 아닌 양수	1
PITTF	기능적 고장까지 시간(TTFF)로 사용하기 위한 초기 값: 열화가 없을 때 RUL	영이 아닌 양수	200
PIFFSMOD	ELK 모델링을 위한 FFS 곡선의 기대 모양 지정: 1: concave, 2: linear, 3: convex, 4: convex-concave, 5: concave-convex; 6: convex-concave	1 to 6	2
PLSTAT	ARULE 커널이 사용하는 Set, Reset		

사례 1

(헬리콥터 기어박스 : NASA)

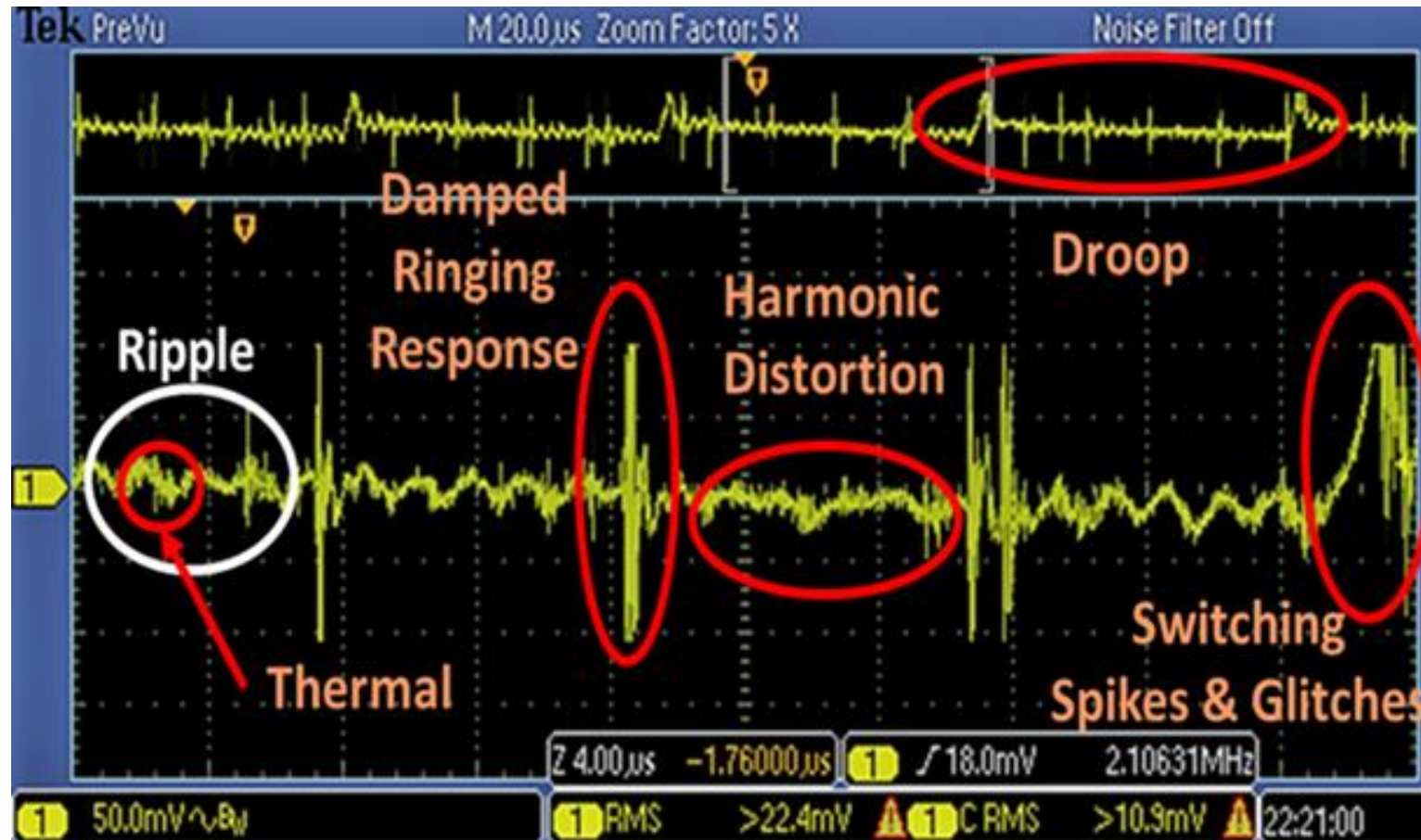
- SOH, RUL, PH 예측 결과



사례 2

(Power Supply : 전력 공급 장치)

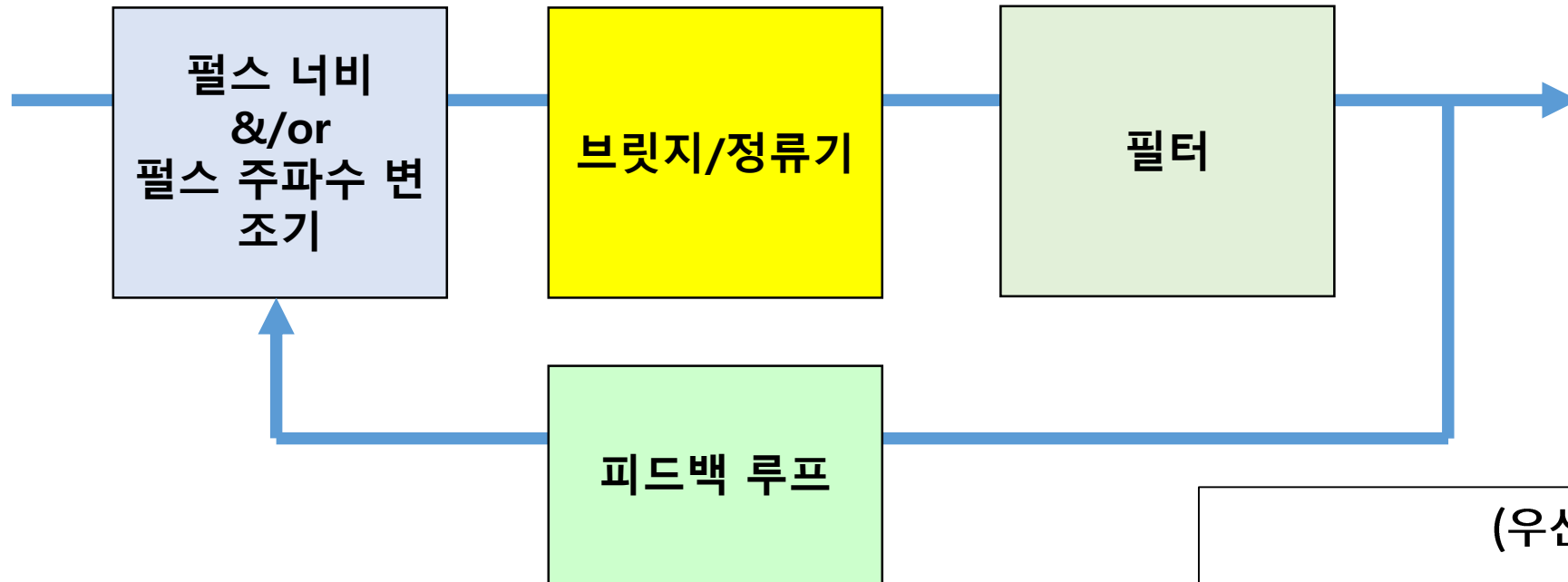
- 중요한 파워공급장치의 여러 고장모드를 모니터링 할 수 있음. 이 들로는 공진 주파수와 ESR(Equivalent Series Resistance) 변화, MOSFET 스위치 열화, Ripple 전압 변화등이 있음.



사례 2

(Power Supply : 전력 공급 장치)

- 전력공급장치의 상태를 모니터링하기 위한 단순화된 모델 및 분석 방법



(우선 순위)

필터: 캐패시터, 인덕터

브릿지 : 전력 스위칭 트랜지스터

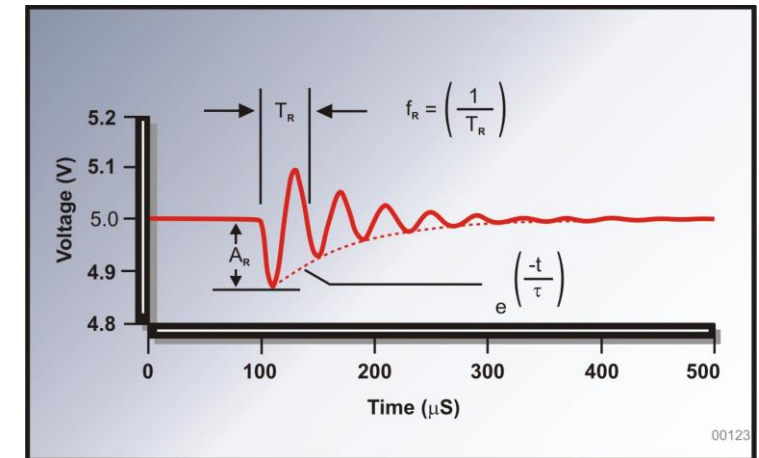
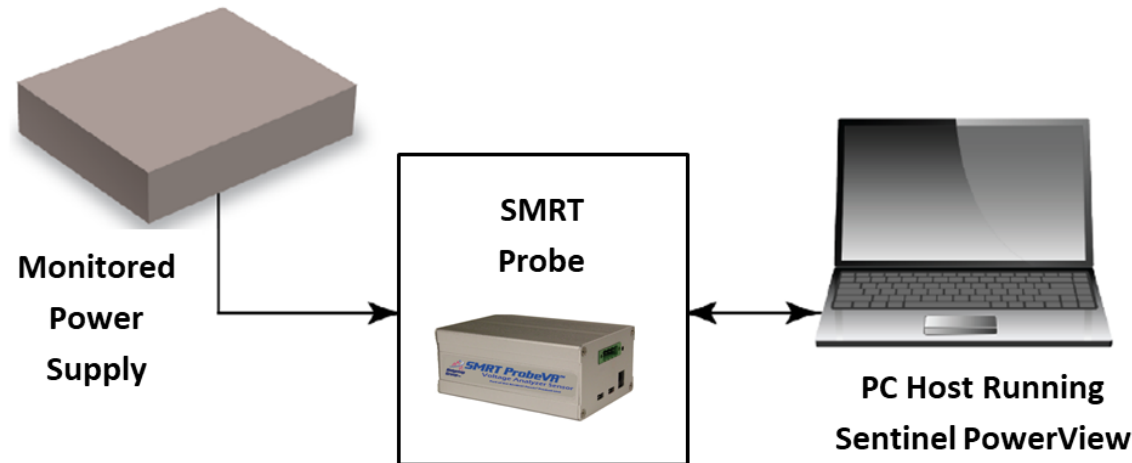
PWM.PFM: 게이트 드라이버, 증폭기

피드백 : 증폭기 이득(A)

사례 2

(Power Supply : 전력 공급 장치)

- 이러한 전력공급장치 상태를 모니터링 하기 위한 별도의 센서 HW 및 전력장치 맞춤형 PowerView SW 가 별도로 있음.

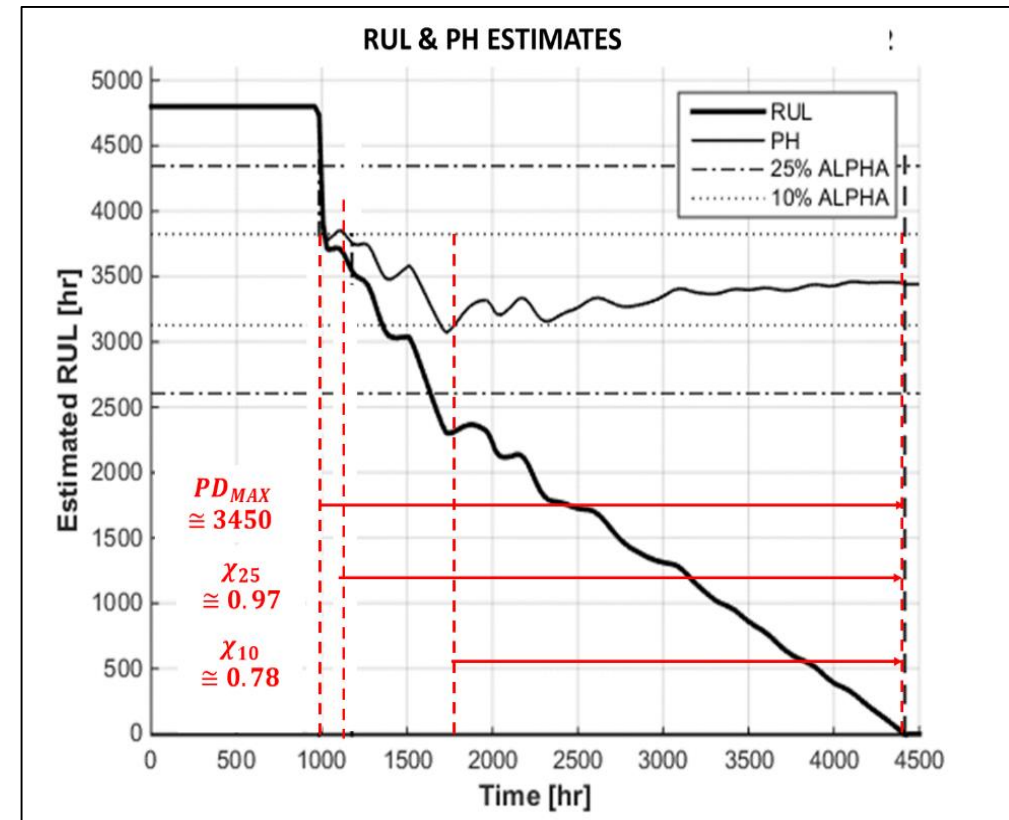
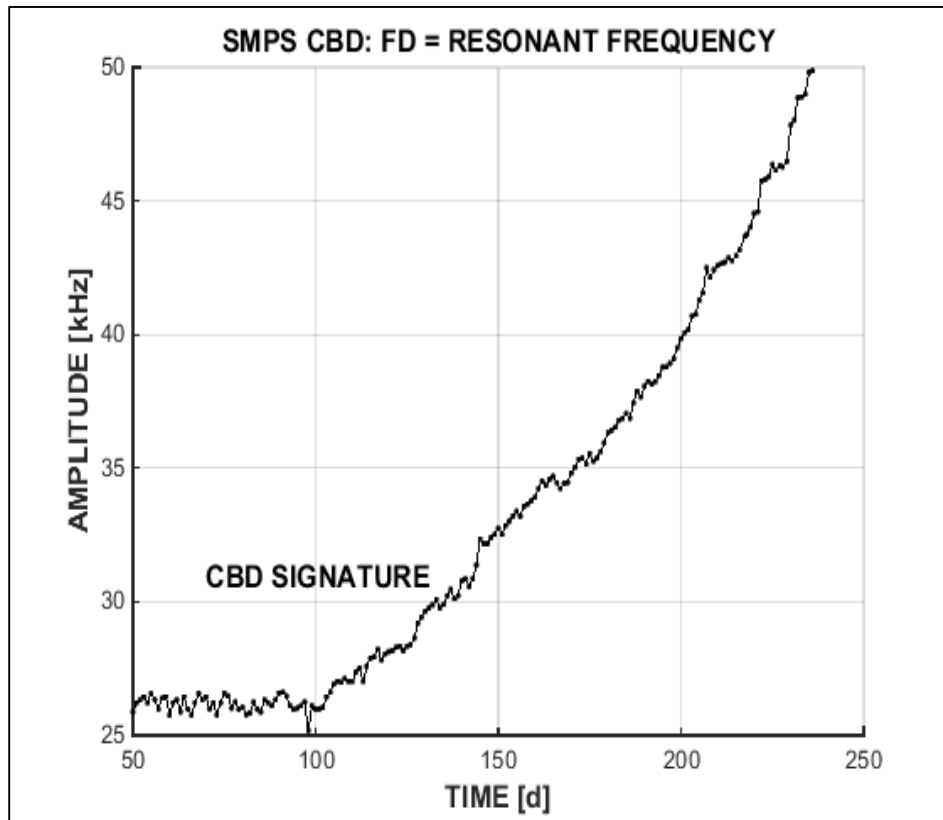
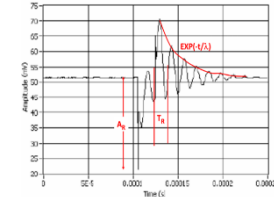


- SMRT Probe 4000: 공진주파수 센서로 특허된 RingDown 기술에 기초
- SMRT Probe Voltage Analyzer (VA): 매우 높은 Ripple 주파수를 가진 전력공급시스템의 전압 수준, 전압 잡음, 그리고 AC 성분을 모니터링하고 분석하는 1(SMRT 프로브 VA 1000) 또는 2 채널(SMRT 프로브 VA 2000) 센싱 장비

사례 2

(Power Supply : 전력 공급 장치)

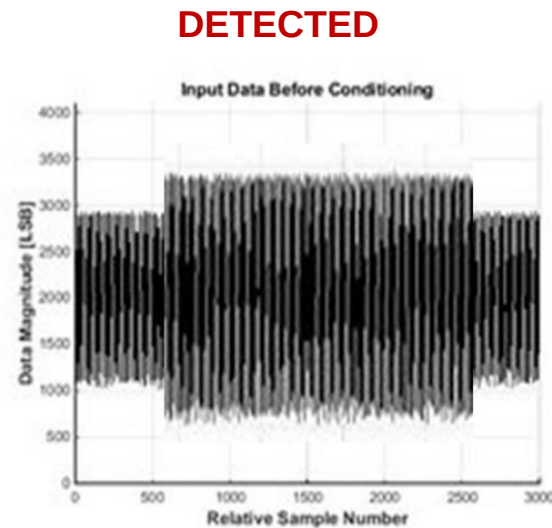
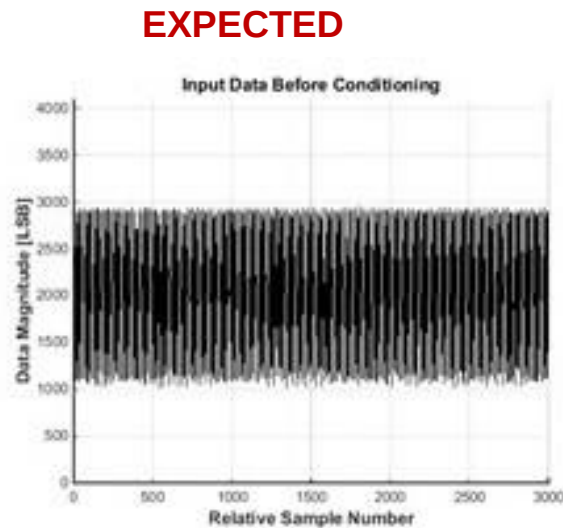
- SMART 프로브 4000 은 공진주파수에 기반한 정전용량 손실을 탐지.



사례 2

(Power Supply : 전력 공급 장치)

- SMRT Probe VA 1000과 VA 2000은 신호의 왜곡과 불안전성에 기반하여 고장 판정

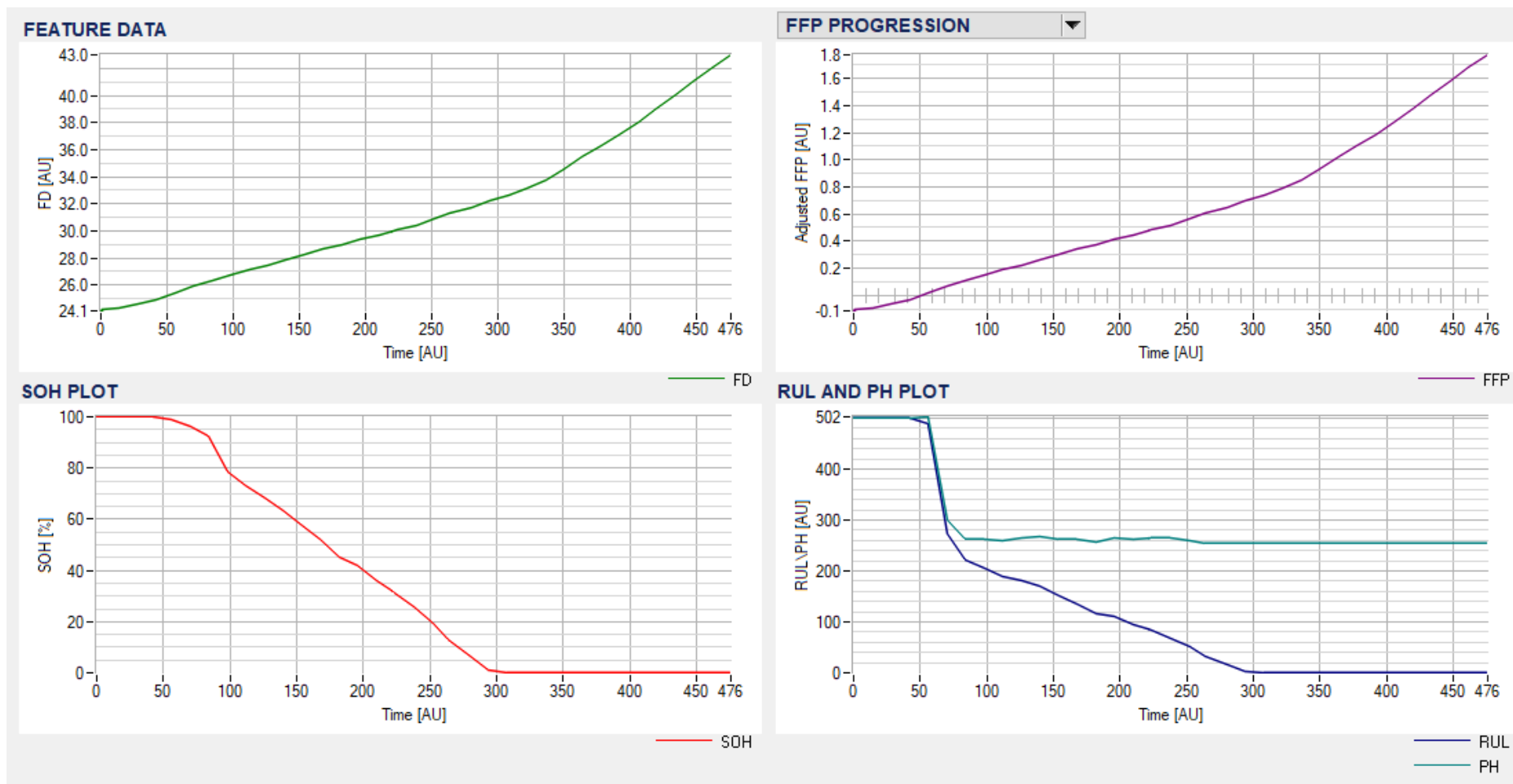


- 계산된 Figure of Merit(감도지수) < -1.5 또는 $FOM > 1.5$ 이면 허용범위를 벗어난 비정상적인 변이가 탐지.
- 계산된 $-1.5 < FOM < 1.5$ 이면 기대치보다 높은 변화 및 변이가 발생한 것으로 결정.

사례 3

(배터리)

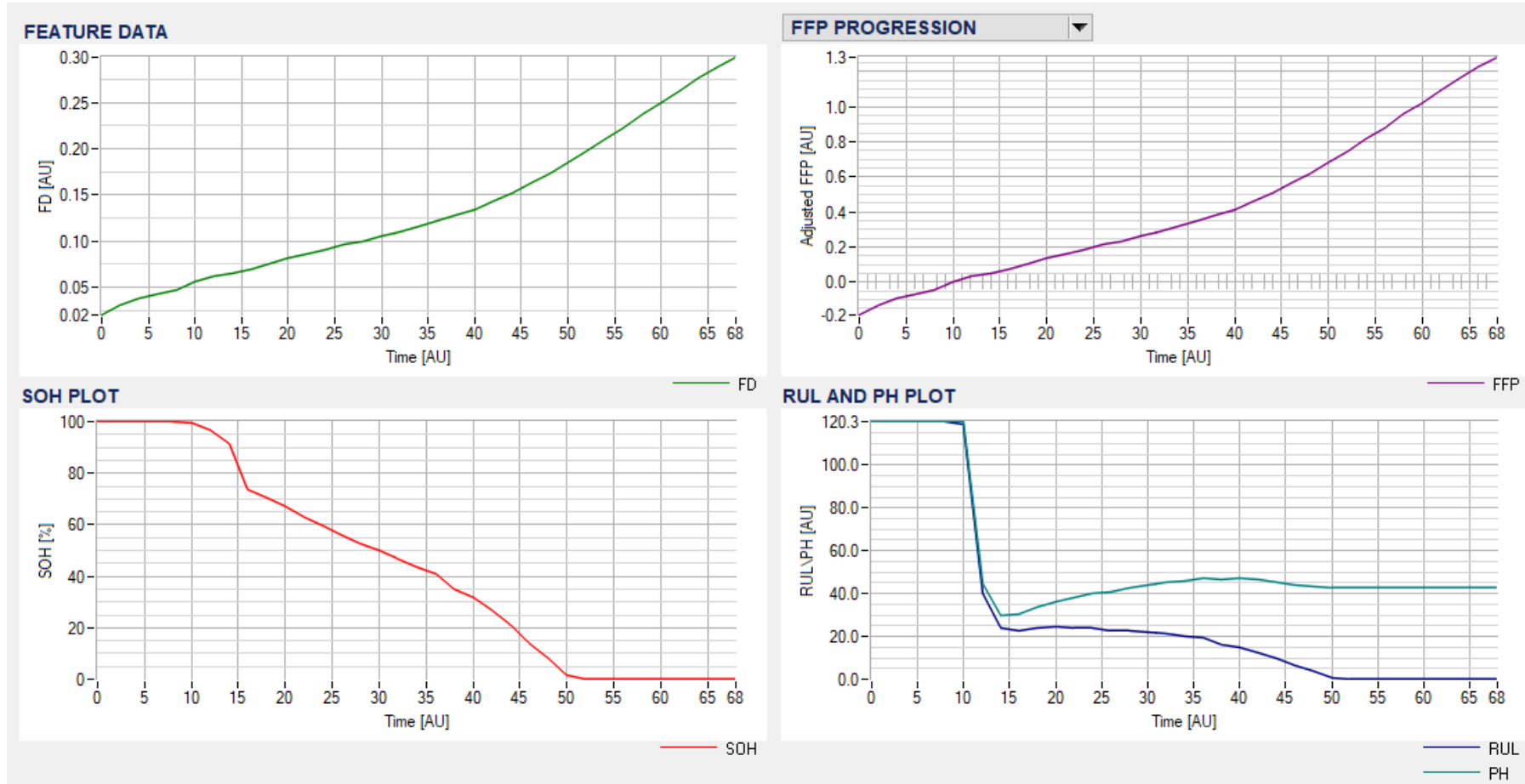
- 배터리 내부 저항(IR/ICR) 에 기초한 잔존 수명예측(입력된 FD, 출력 FFS 진전, SOH, RUL, PH)



사례 3

(배터리)

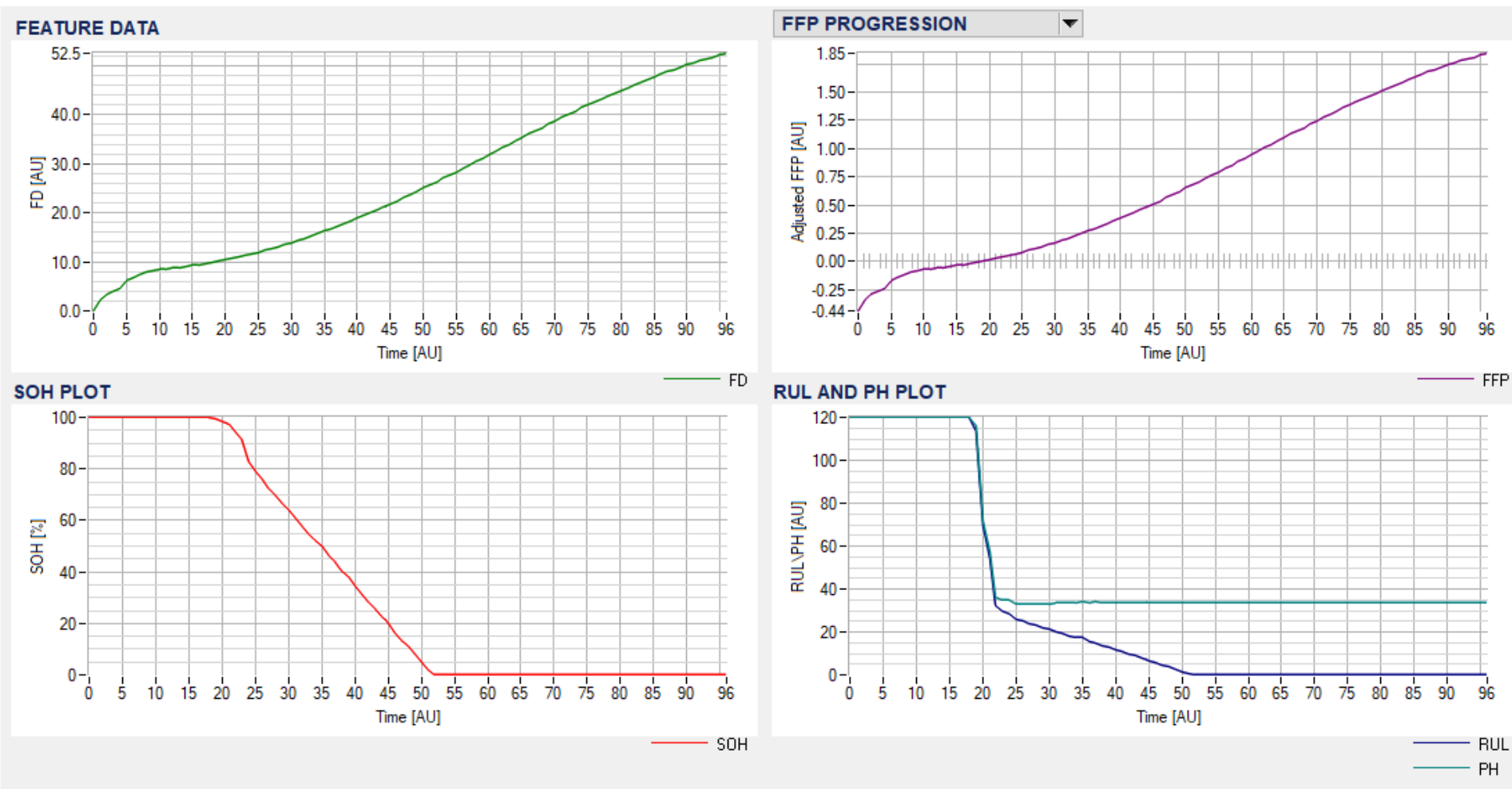
- 용량 손실 데이터에 기초한 잔존 수명예측(노드 1 입력 데이터 기준 출력 FFP, SOH, RUL, PH)



사례 3

(배터리)

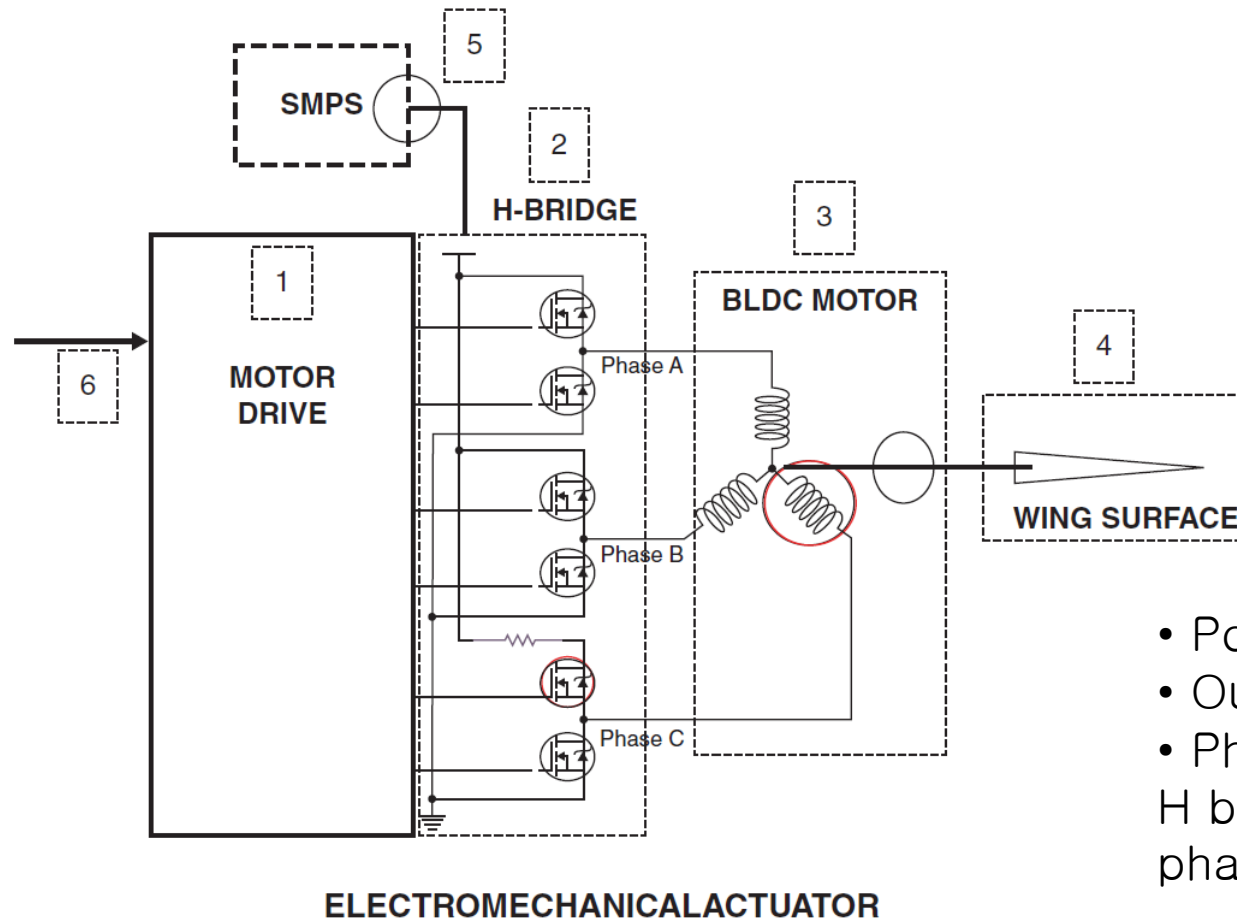
- 용량 손실 데이터에 기초한 잔존 수명예측(노드 2 입력 데이터 기준 출력 FFP, SOH, RUL, PH)



사례 4

(EMA : 다수 고장모드)

- 전기기계적 작동장치는 아래 6개의 주요 기능요소로 구성된 장치이고, 다양한 고장진단 및 예지가 필요함.



고장 진단 및 예지(예)

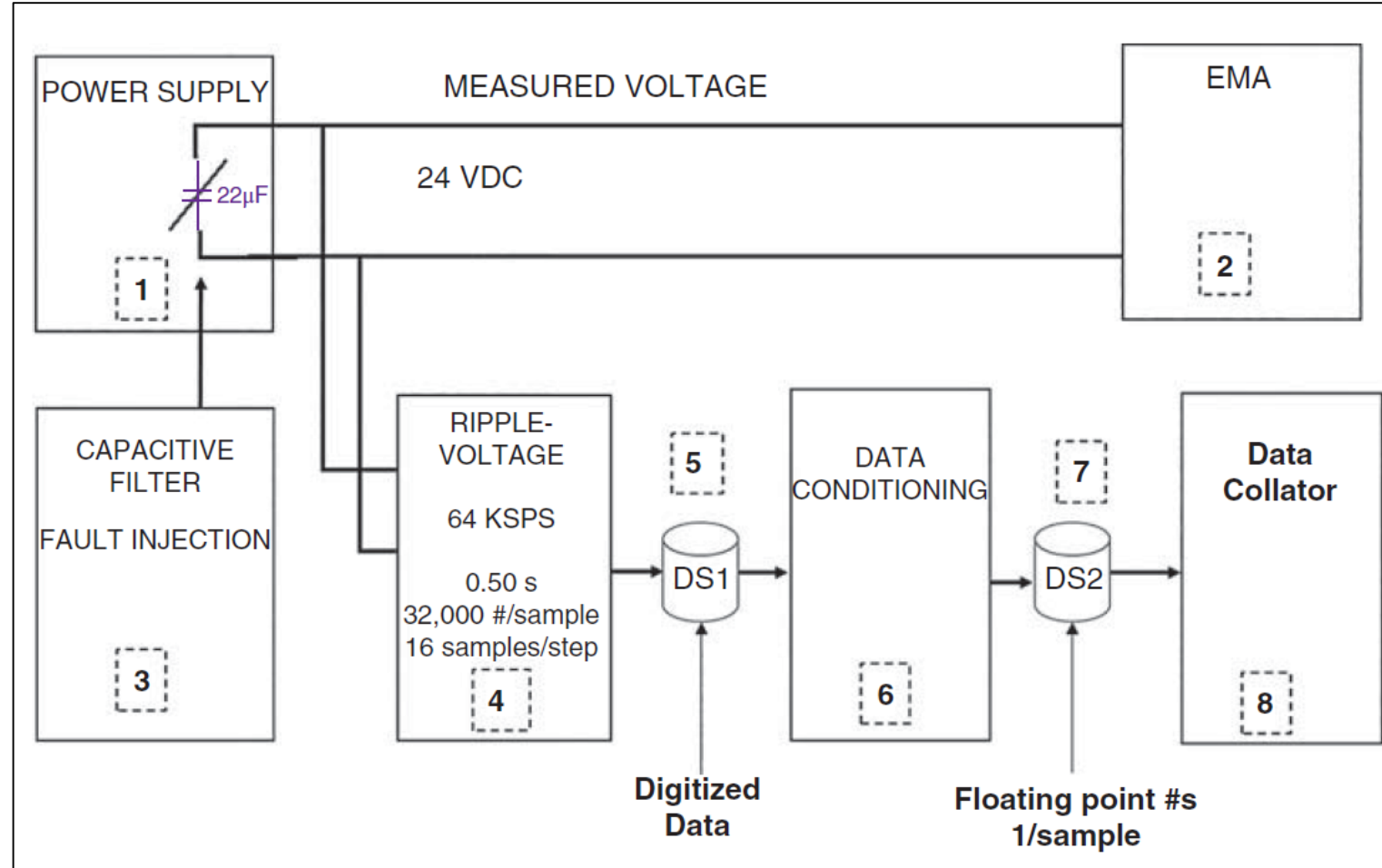
- SMPS 출력필터에 있는 탠탈산화 캐패시터의 단락 및 개방
- H-Bridge 에 있는 전력스위칭소자 MOSFET 의 손상과 고저항
- EMA 모터의 코일권선이 손상되어 모터 파워 손실
- EMA 모터 샤프트의 부하 증가

- Positioning commands (6).
- Output voltage of the SMPS (5).
- Phase-current measurements from the H bridge (2): phase A, phase B, and phase C.

사례 4

(EMA : 다수 고장모드)

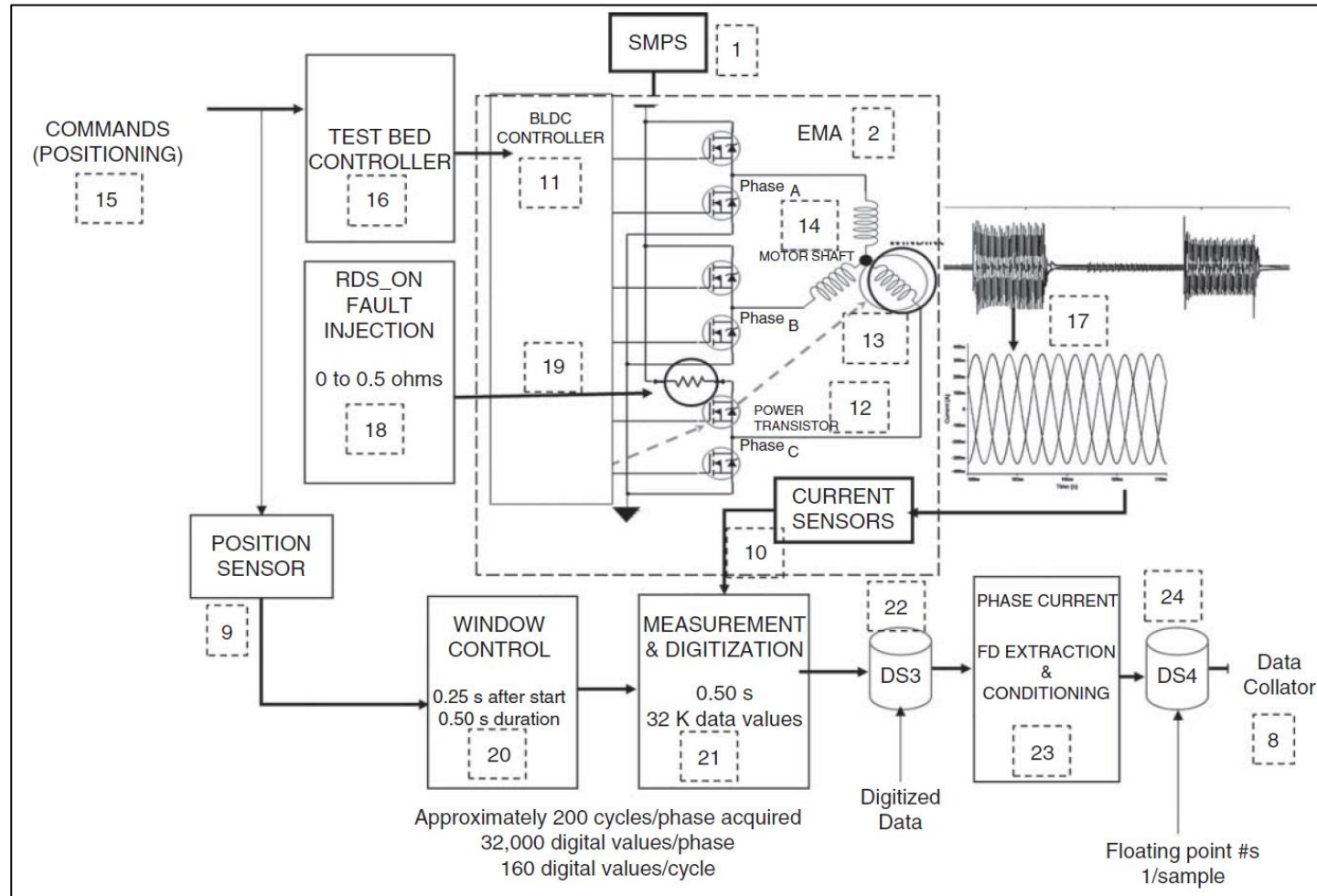
- Power 공급장치에 Fault 를 Inject 하기 위한 Testbed



사례 4

(EMA : 다수 고장모드)

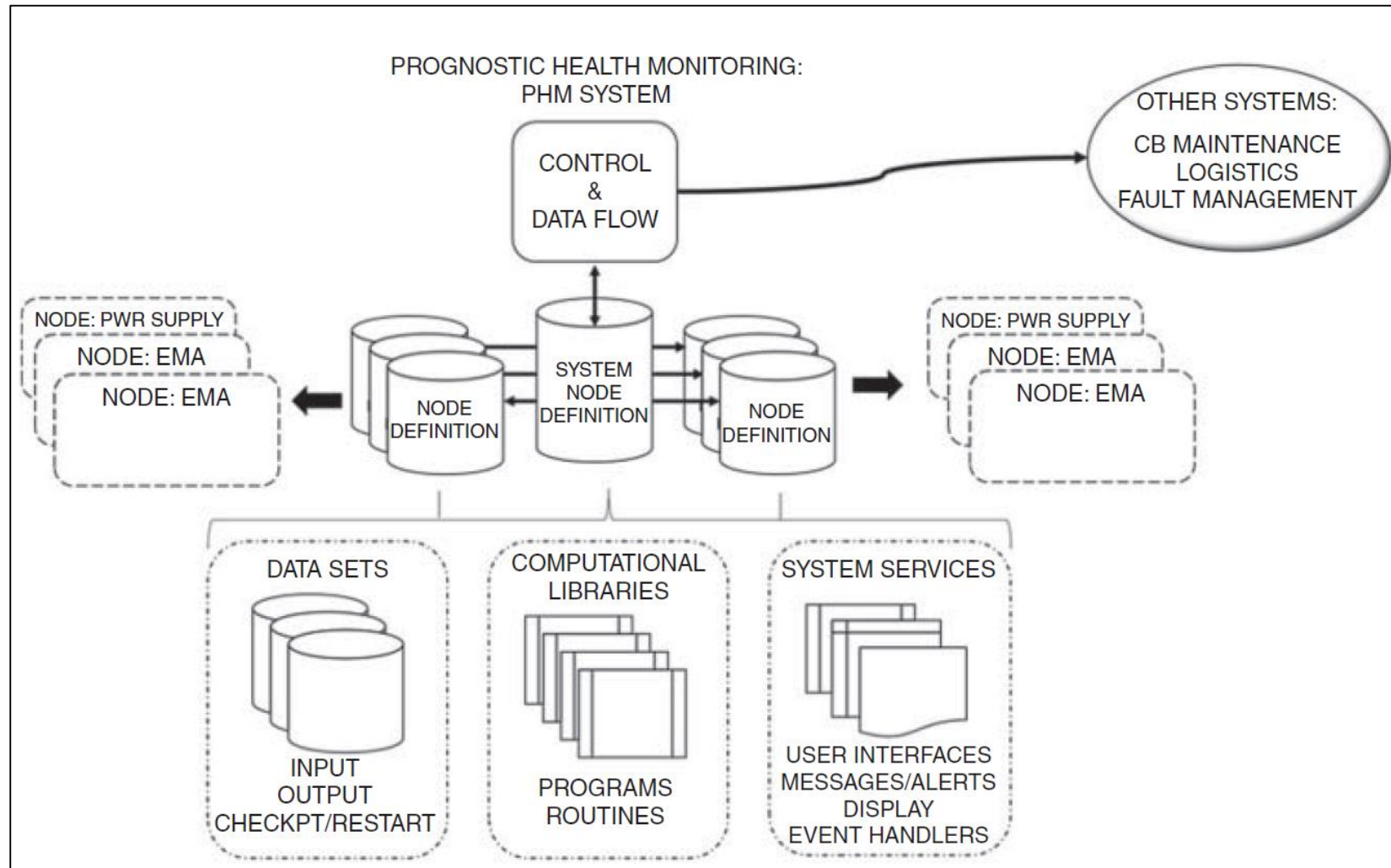
- 전력공급장치로 운영되는 EMA 에 Fault를 Inject 하기 위한 Testbed



사례 4

(EMA : 다수 고장모드)

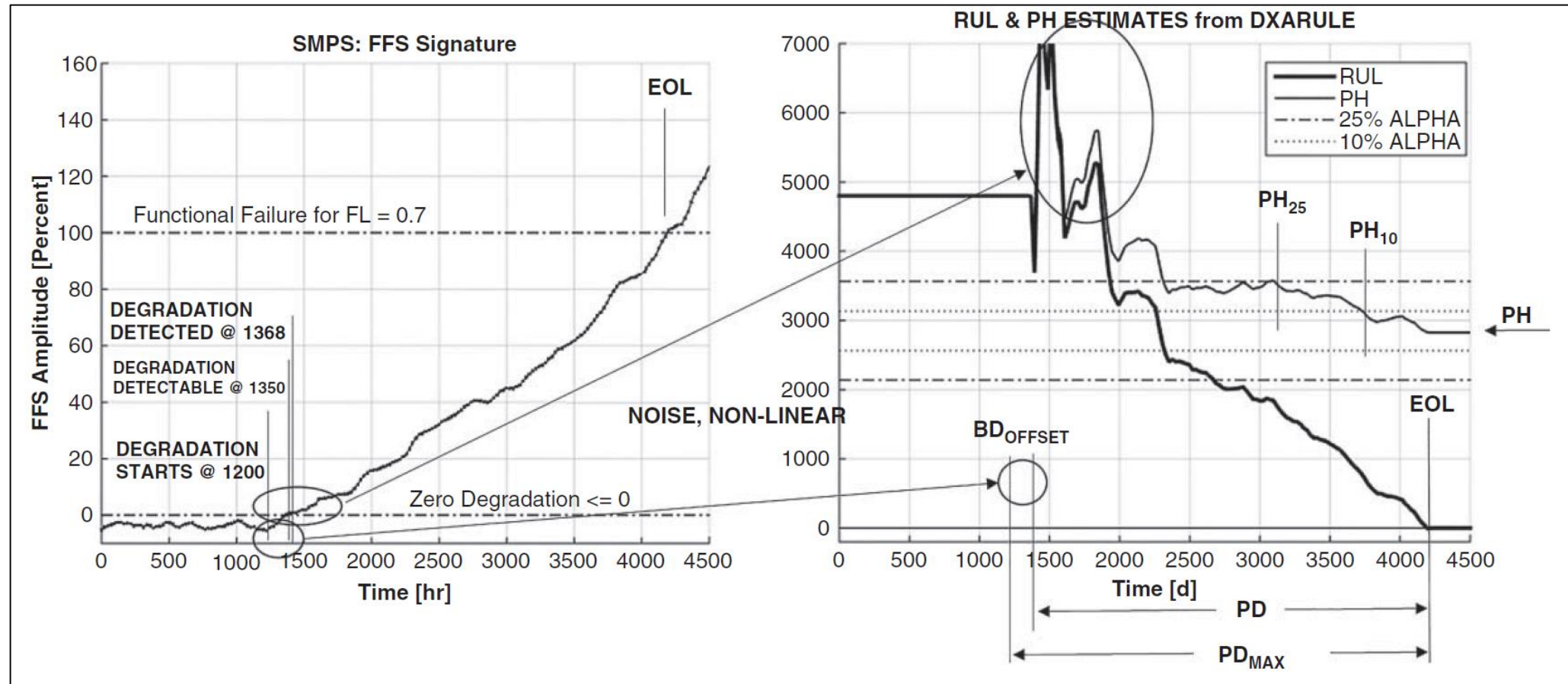
- PHM 시스템(예시)



사례 4

(EMA : 다수 고장모드)

- FFS 로 부터 RUL, PH 예측 비교



정확성

- 여러 종류의 데이터를 검증을 통해 25% PH 에서는 평균 91.8% SOH(표준편차 7.4), 10% PH 에서는 평균 75.2%(표준편차 14.0)

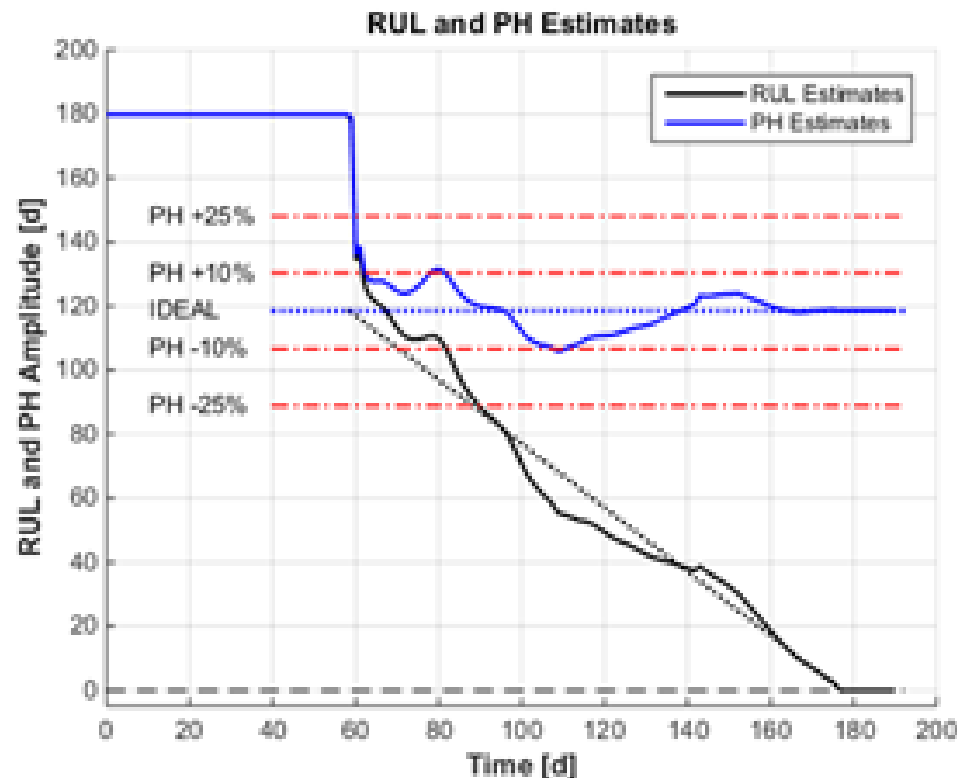


TABLE I. ACCURACY RESULTS: 25% AND 10% MARGINS OF PH ACCURACY RELATIVE TO SoH

Input File * Variation	PH (maximum)	SoH when PH estimates within accuracy percent	
		25%	10%
SP-4000-1	114.4	96.2	62.2
SP-4000-1 *	109.8	94.2	62.6
SP-4000-2 *	117.6	96.2	60.5
BATTIR	245.9	97.2	93.7
BHCHG	41.9	95.2	80.3
CS-CHGWC	32.9	93.1	93.1
CS-CHGBC	47.9	95.5	93.9
VR2400	127.2	88.2	59.1
VR2400 *	123.0	88.0	65.2
EMARSPHT	14.4	96.7	96.7
EMASTPHA	16.0	96.4	69.0
Failures	16.6	96.2	75.1
ROTOGB2	53.4	75.0	58.3
VRPCAP	33,324.0	83.7	68.4
BPS03	15.5	97.8	87.6
CLEAK	22,124.0	93.5	78.3
CLEAK *	20,727.0	96.0	93.0
SUBRFA	12.5	91.5	59.4
SUBRFA *	13.0	71.9	71.9
TPWR	28.3	93.8	76.2