

연구 계획서

지원 연구 과제 명 :

설비(로봇)의 잔여수명 예측

팀원 이름 :

변준현, 민수홍, 차승우

CONTENTS

1. 연구배경

- 예지보전 로드맵
- 잔여수명 예측 (개요, 특징)

2. 연구과제 아이디어

- 하이브리드 수명 예측 모델
- 정비 스케줄링 최적화

3. 고품질 데이터 수집

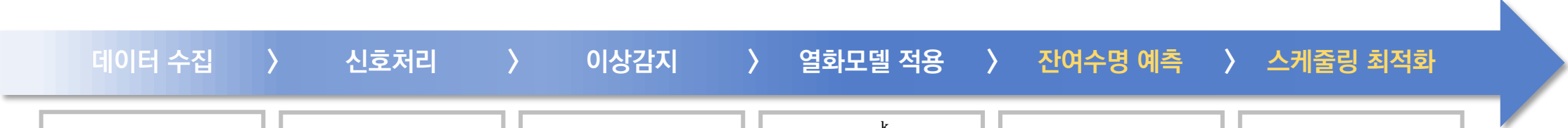
- 베어링, 컨베이어벨트 수명 실험

4. 메타트론 그랜드뷰 아키텍처 연계

5. 연구 과제 수행 및 연구비 사용 계획

1. 연구배경 : 예지보전 로드맵

예지보전 과정



Sensing Data

FFT, RMS

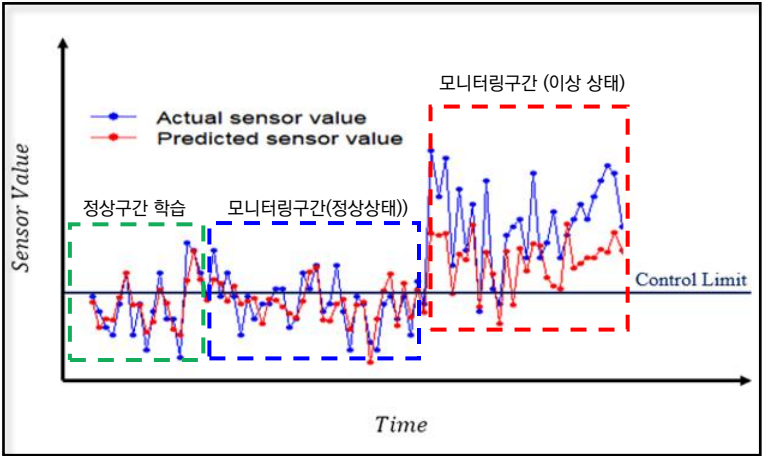
Hotelling's T^2 , MSET Regression

$De(tk) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k ||R(t_i)||$

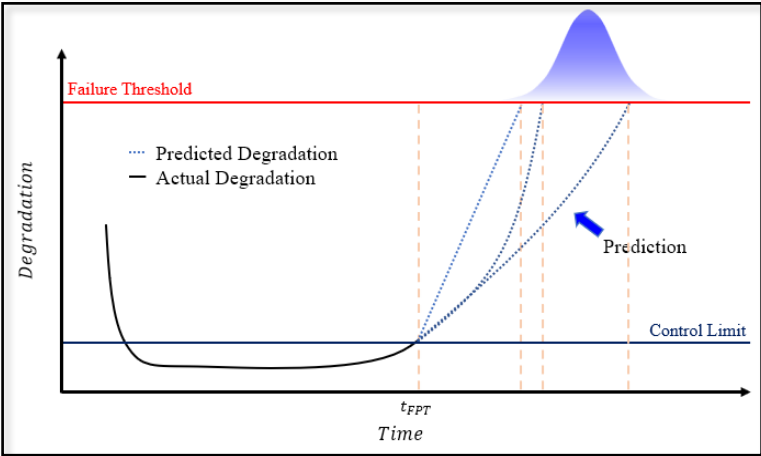
EWLR, LSTM, BMM

GA, Integer Programming

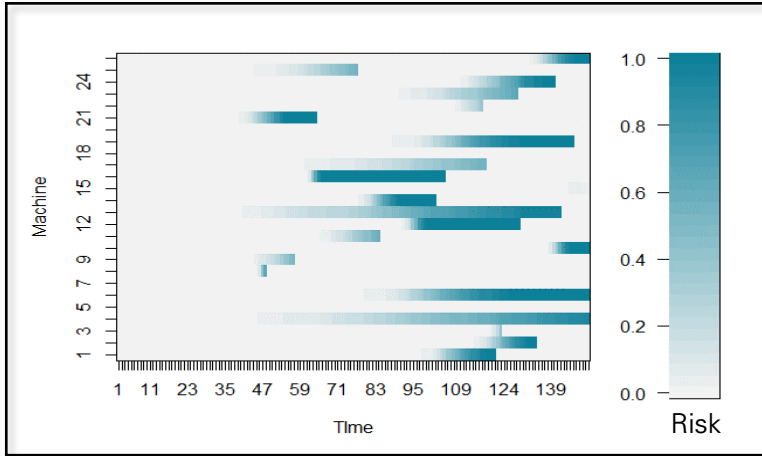
잔차 기반 이상감지 기법



PoF 기반 잔여수명 예측 방법



예지보전 스케줄링

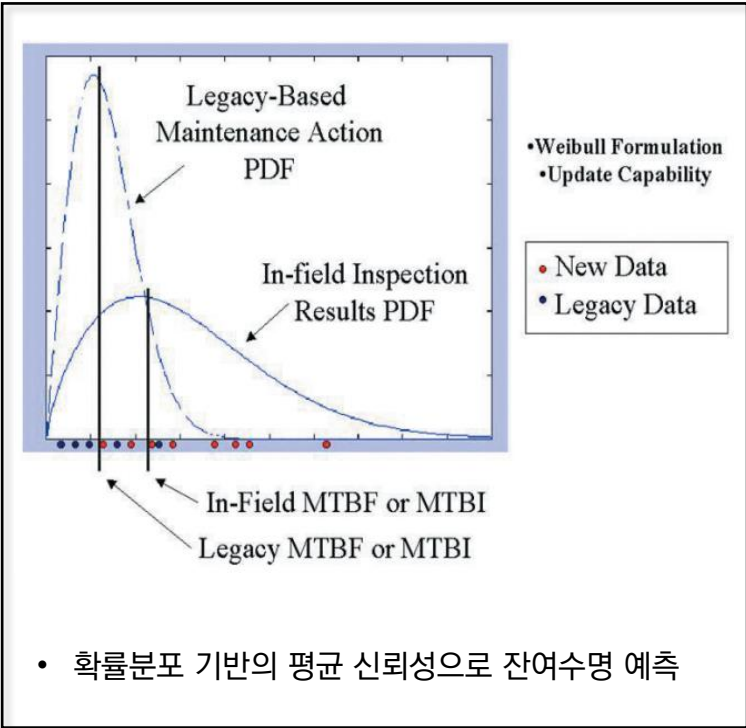


1. 연구배경 : 잔여수명 예측

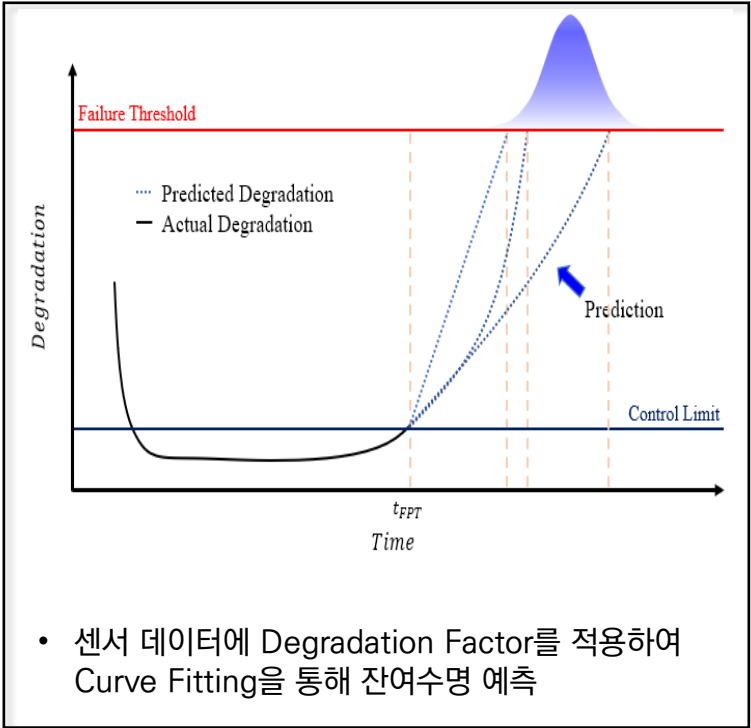
- 잔여수명 예측 방법은 크게 신뢰성, 데이터, 물리 기반으로 분류됨

잔여수명 예측

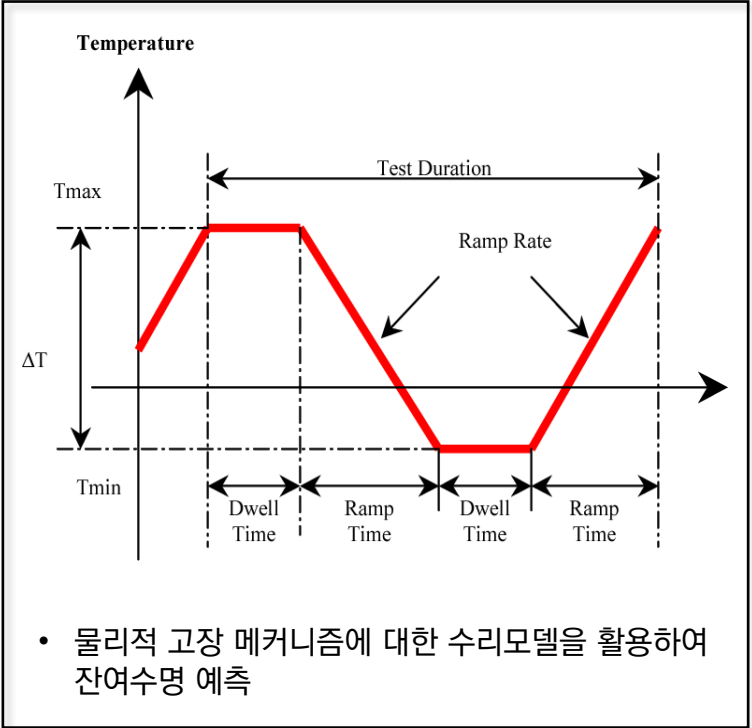
신뢰성 (Reliability-based approach)



데이터 (Data-driven approach)



물리 (Physics-based approach)



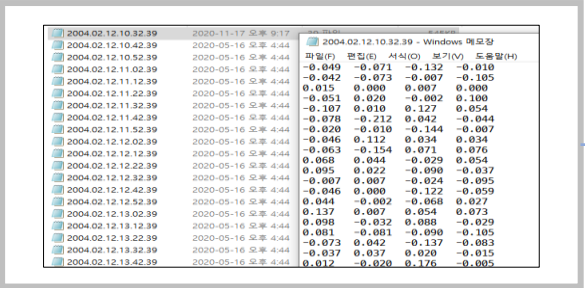
1. 연구배경 : 잔여수명 예측 특징 (신뢰성, 데이터, 물리)

잔여수명 예측		
신뢰성 (Reliability-based approach)	데이터 (Data-driven approach)	물리 (Physics-based approach)
특징		
<ul style="list-style-type: none"> • 평균 신뢰성으로 예측하기 때문에 전체적인 수명관리 지표를 삼을 수 있음 • 전통적인 수명예측 방법 • 통계적 특징에 대한 이해도가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 환경을 반영할 수 있음 • 센싱 기술의 발달로 원활한 데이터 수집이 가능해져 적용 범위가 넓음 	<ul style="list-style-type: none"> • 설비의 작동원리를 고려하여 수식화 되었기 정확한 예측 가능 • 관측이 제한적일 때, 관측된 변수들을 이용하여 시뮬레이션을 통한 새로운 정보 생성 가능
한계점		
<ul style="list-style-type: none"> • 신뢰성 기반으로 수명 관리를 하는 분야가 제한적 • 센서를 이용한 실시간 결함 모니터링이 아니기 때문에 외부 요인으로 인한 파손을 반영할 수 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • PoF 정보가 필수적으로 존재해야함 • 모델 구축을 위해 많은 데이터가 필요 • 과적합 위험이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 고장 물리모델이 많지 않아, 적용 분야가 제한적 • 복잡한 시스템에서 물리식을 적용하기 어려움

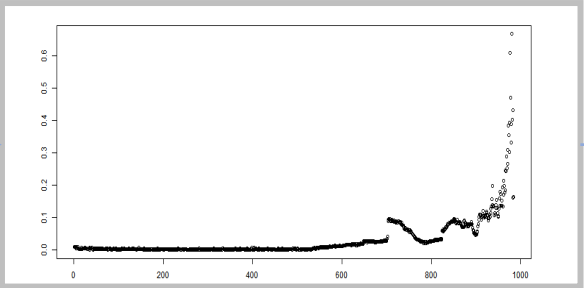
1. 연구배경 : 잔여수명 예측 개요

데이터 기반 잔여수명 예측을 위한 전처리

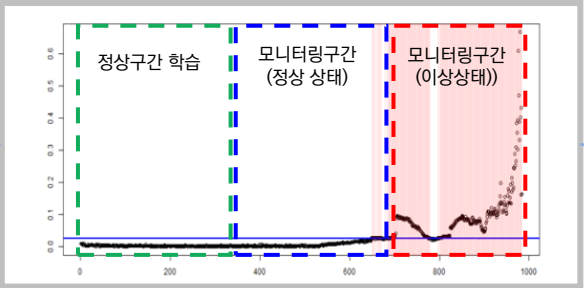
원시 데이터



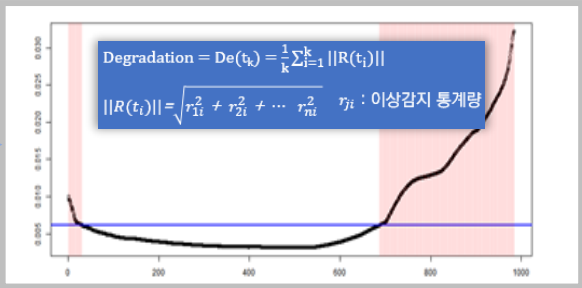
신호처리



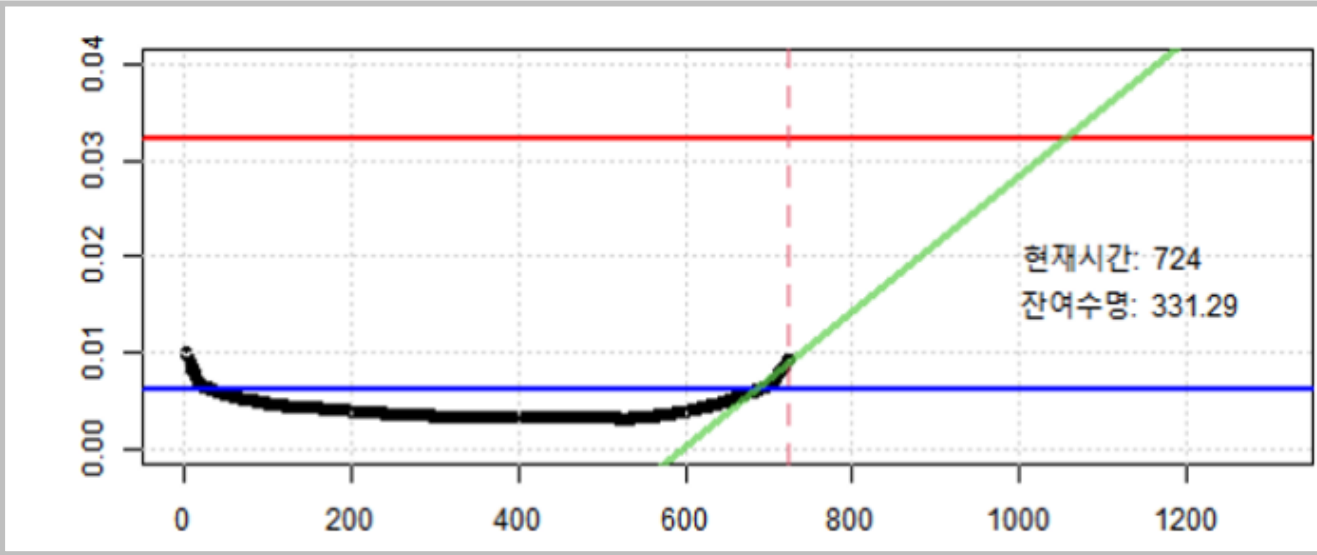
이상감지



열화 모델



데이터 기반 잔여수명 예측 (EWLR : Exponentially Weighted Linear Regression)



$$W = \alpha(1 - \alpha)^t, \alpha(1 - \alpha)^{t-1}, \dots, \alpha(1 - \alpha)^2, \alpha(1 - \alpha)$$

$$\text{s.t. } 0 < \alpha < 1$$

$$\arg \min_{\hat{\beta}} \sum W (Y - X\hat{\beta})^T (Y - X\hat{\beta})$$

$$\frac{\partial}{\partial \hat{\beta}} \sum W (Y - X\hat{\beta})^T (Y - X\hat{\beta}) = 0$$

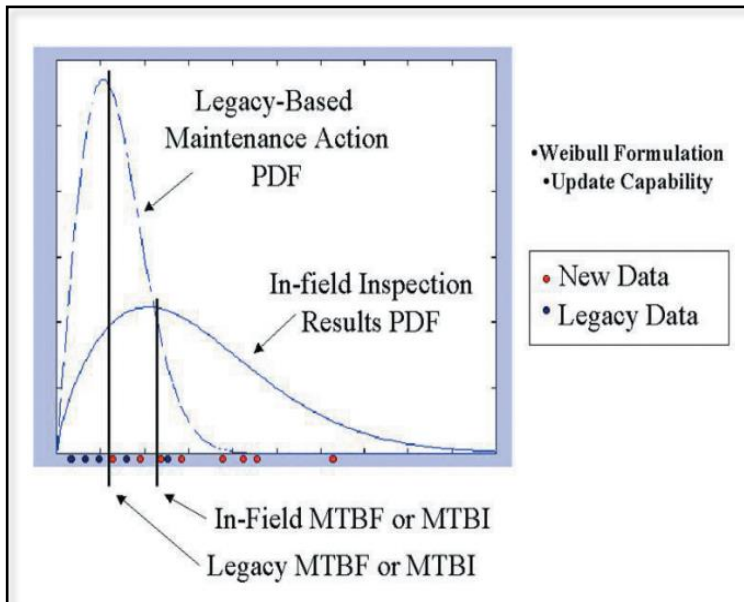
$$\hat{\beta} = X(X^T W^{-1} X)^{-1} X^T W^{-1} y$$

2. 연구과제 아이디어 : 하이브리드 수명 예측 모델 (신뢰성·데이터)

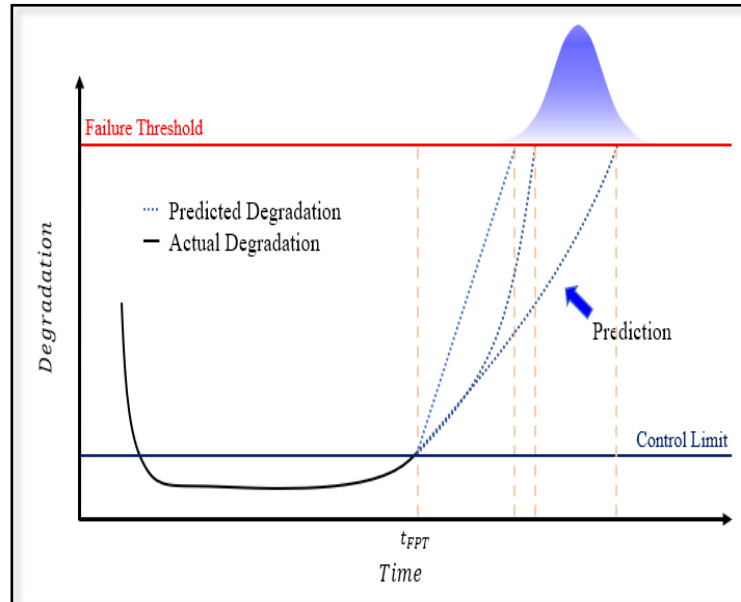
- 신뢰성 정보를 알고 있을 때, 신뢰성·데이터 하이브리드 잔여수명 예측

잔여수명 예측

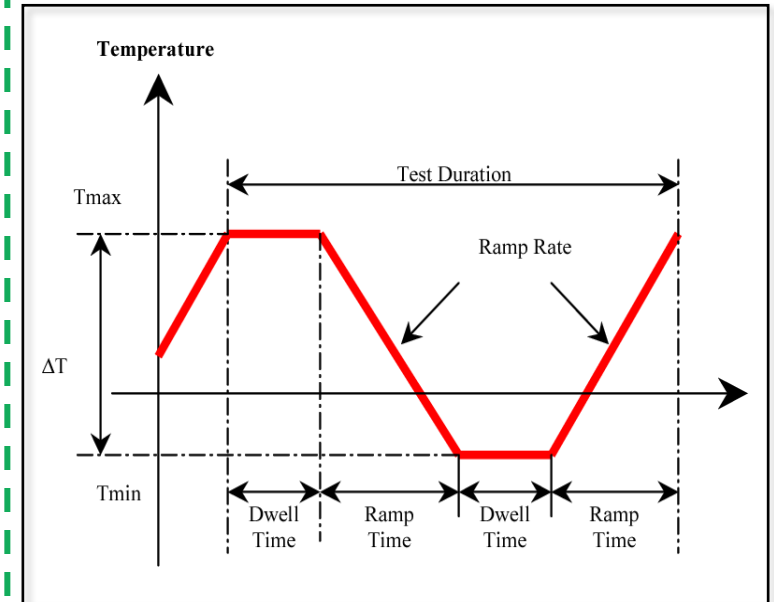
신뢰성 (Reliability-based approach)



데이터 (Data-driven approach)



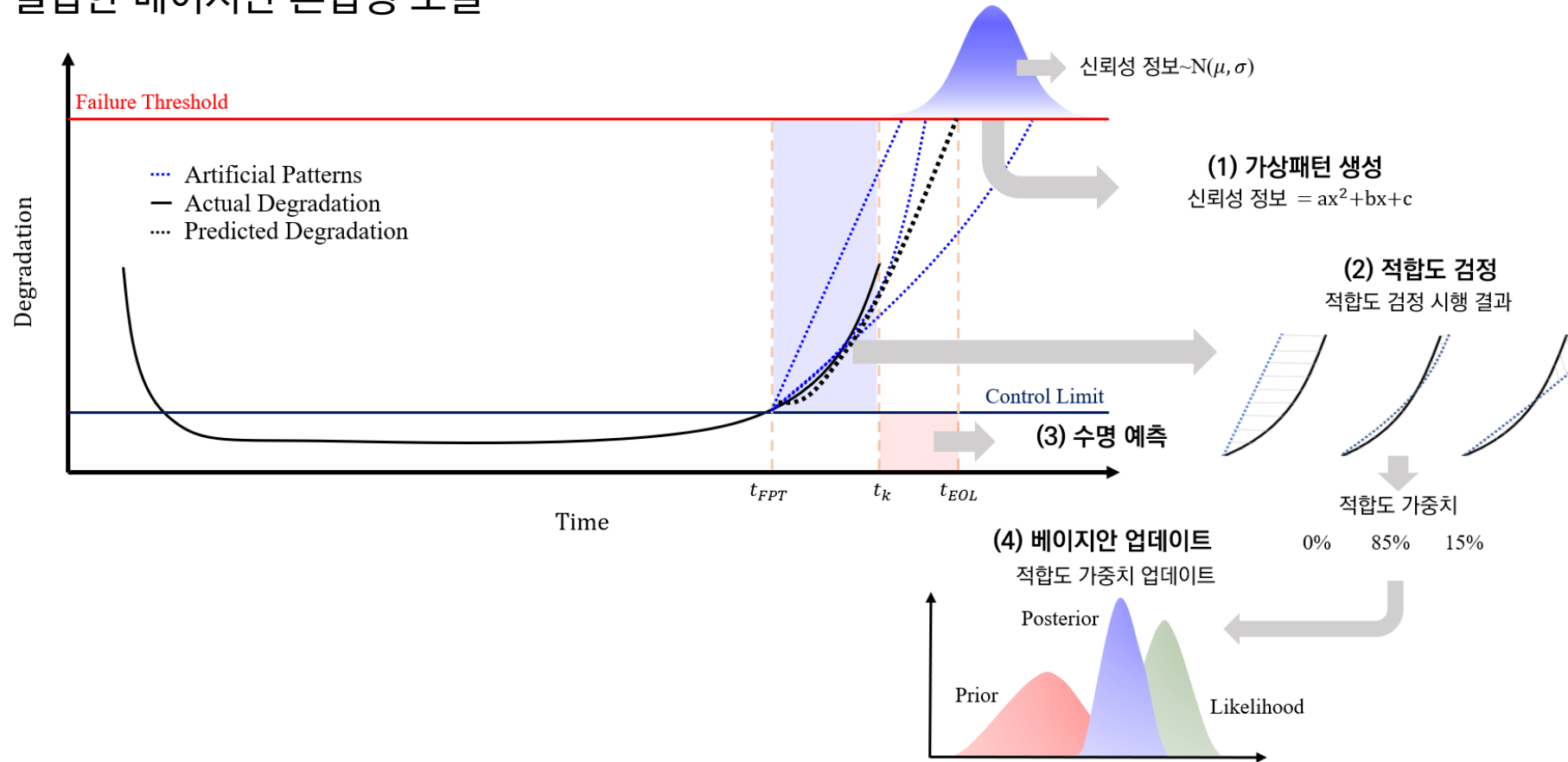
물리 (Physics-based approach)



신뢰성 정보를 알고 있을 때
하이브리드 (신뢰성 · 데이터) 수명 예측

2. 연구과제 아이디어 : 하이브리드 수명 예측 모델 (신뢰성·데이터)

- 신뢰성 정보를 결합한 베이지안 혼합형 모델



- 잔여수명 예측 방법으로 **Bayesian Mixture Model** 제안

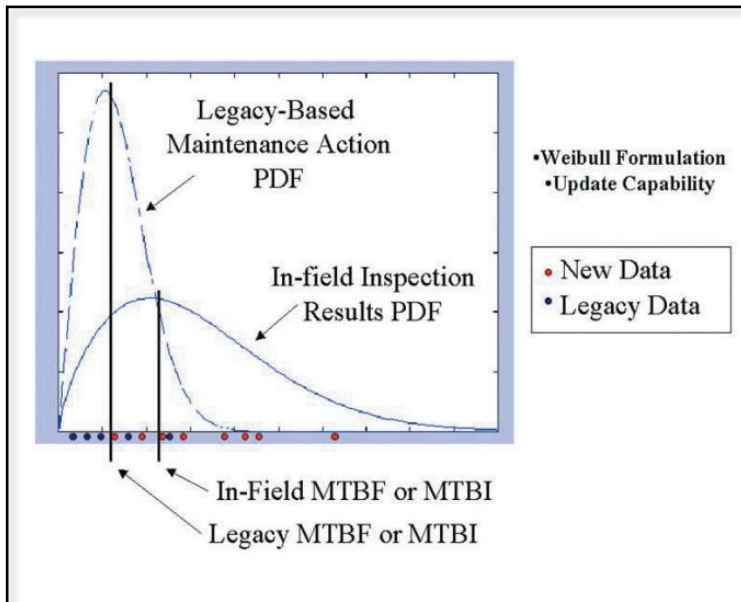
- PoF (Physics of Failure)** 기반 잔여수명 예측 방법
- 신뢰성 정보**를 기반으로 **가상패턴** 생성 후, 실제 데이터와 가상패턴 간 **적합도 가중치**를 조합하여 잔여수명 예측
- 예측불확실성을 줄이기 위해 적합도 가중치에 **베이지안 업데이트** 기법 적용

2. 연구과제 아이디어 : 하이브리드 수명 예측 모델 (물리·데이터)

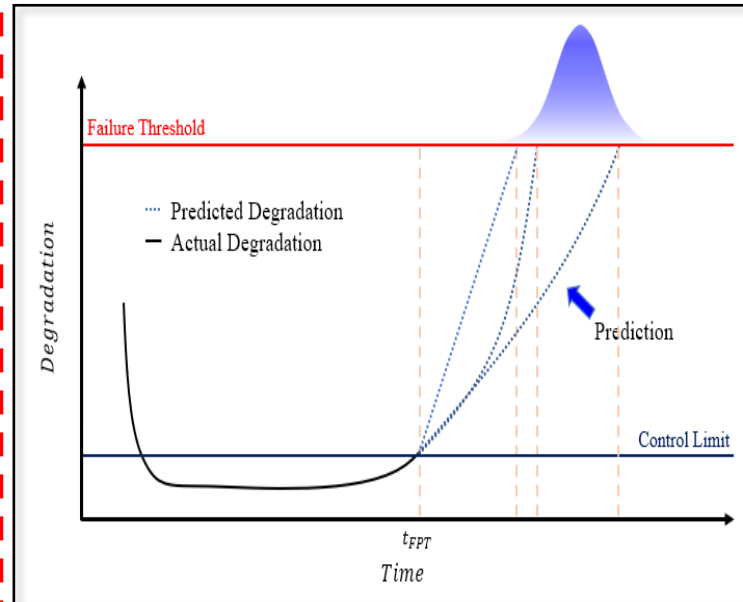
- 물리 정보를 알고 있을 때, 물리·데이터 하이브리드 잔여수명 예측

잔여수명 예측

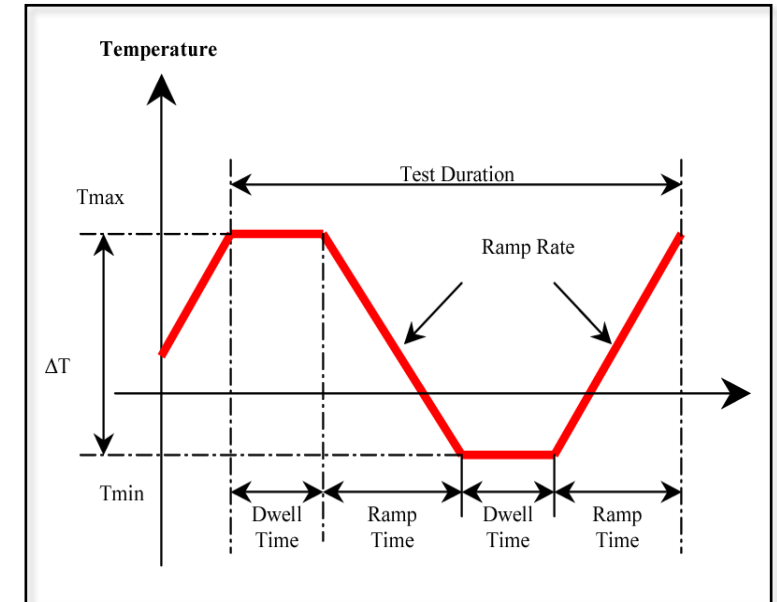
신뢰성 (Reliability-based approach)



데이터 (Data-driven approach)



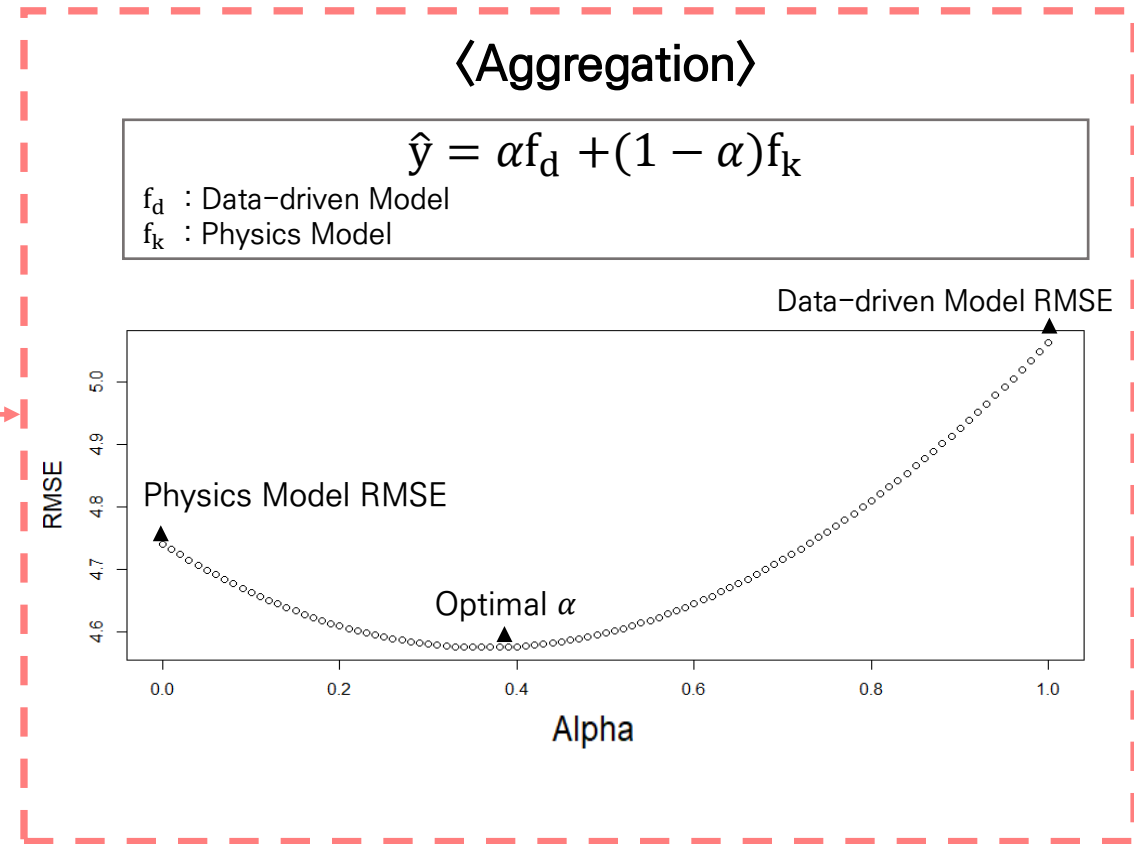
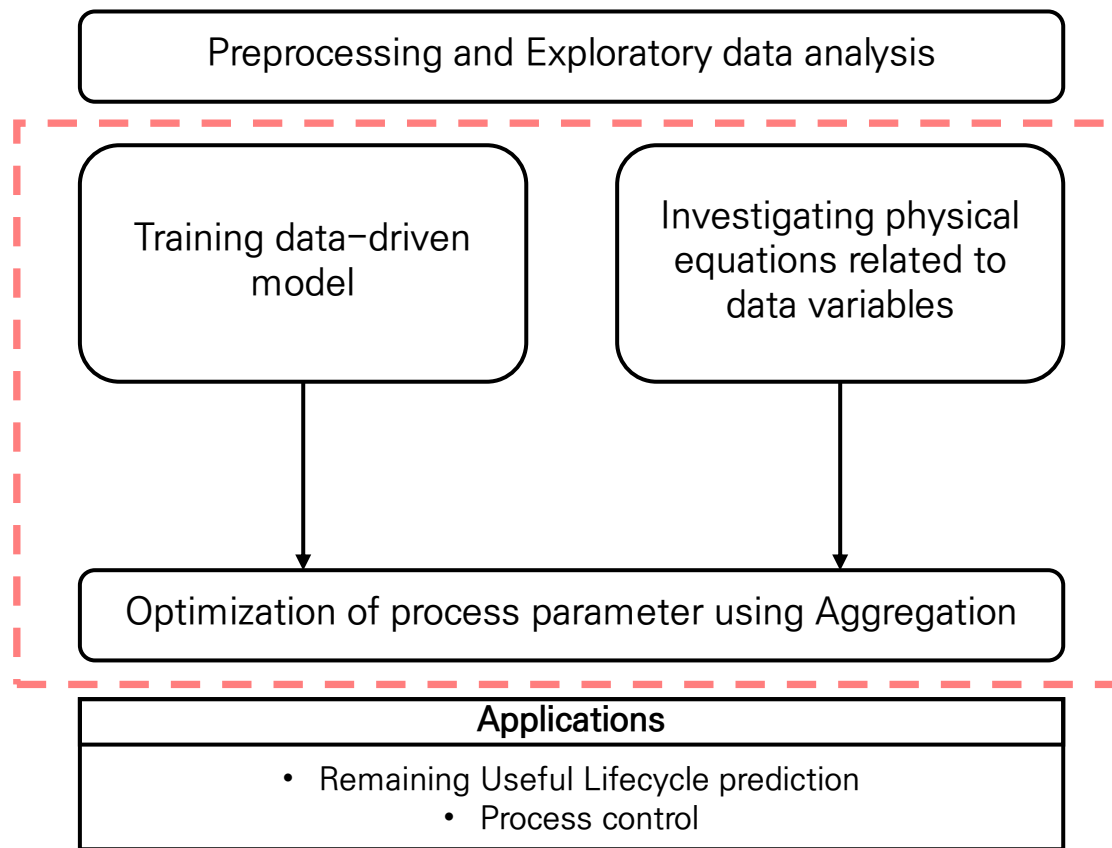
물리 (Physics-based approach)



물리 정보를 알고 있을 때
하이브리드 (물리 · 데이터) 수명 예측

2. 연구과제 아이디어 : 하이브리드 수명 예측 모델 (물리·데이터)

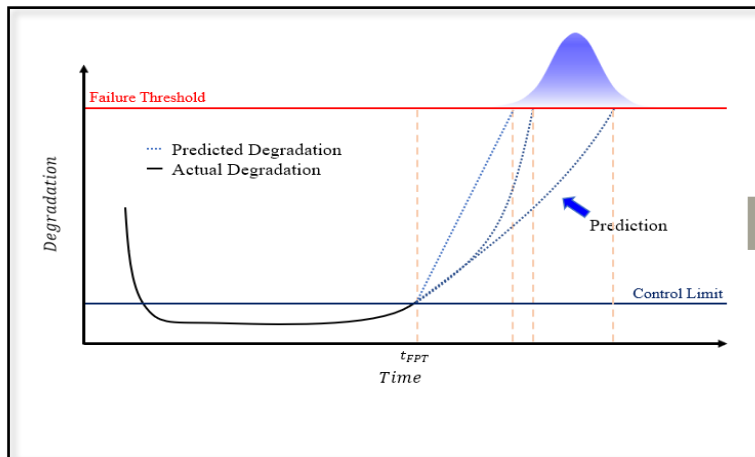
- 데이터 기반 모델과 물리 모델을 결합한 수명 예측 방법



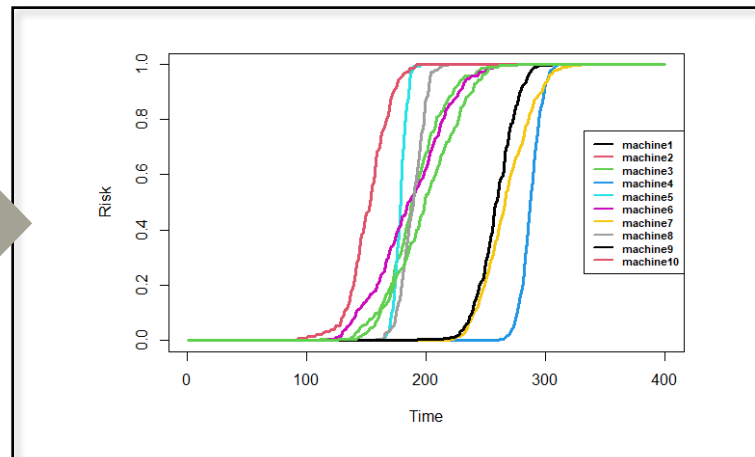
2. 연구과제 아이디어 : 스케줄링 최적화

잔여수명 기반 정비 스케줄링 최적화

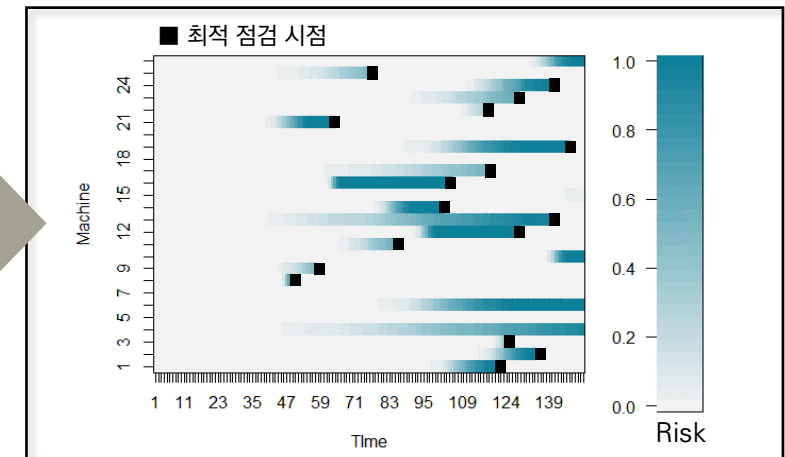
잔여수명 예측



잔여수명 기반 Risk 정보 변환



최적 정비 스케줄링



• 잔여수명 기반 정비 스케줄링 최적화

- 예측 잔여수명 기반으로 예측 수명 분포 추정 → Risk 정보로 변환
- 각 시점 별 위험도, 중요도, 정비 비용 등을 반영한 최적 정비 스케줄링 목적 함수 정의
- 정수 계획법(Formulation) 및 메타휴리스틱 기법 (Solver)을 활용한 최적 정비 스케줄링 수행

2. 연구과제 아이디어 : 스케줄링 최적화

정비 스케줄링 목적함수

$$\max_{x_{tc}} \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C w_{tc} * x_{tc} - \lambda_1(R_{tc} * x_{tc} - r_1) + \lambda_2(R_{tc} * x_{tc} - r_2)$$

Prevention efficiency Repair efficiency

$$\text{subject to } \sum_{c=1}^C x_{tc} \leq H(\text{maximum number of maintenance})$$

$$x_{tc} = \{0, 1\}$$

T : end of cycletime

C : idnex of machine

x_{tc} : t 시점에서 특정 설비의 점검 여부

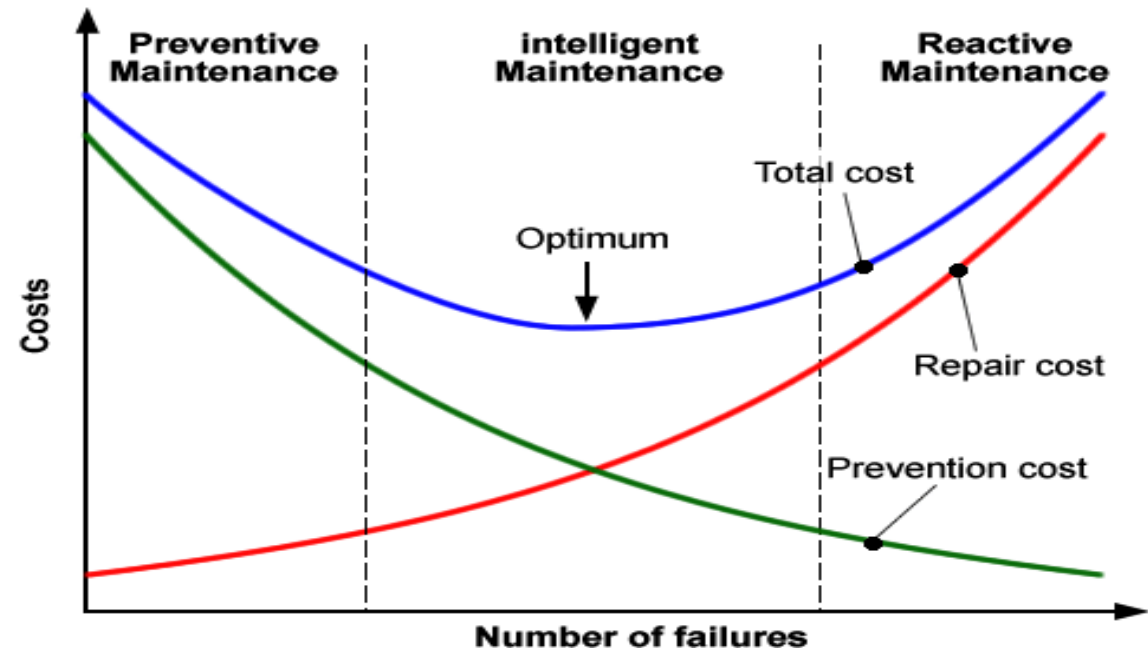
w_{tc} : t 시점에서 특정 설비의 중요도

R_{tc} : t 시점에서 설비의 risk

r_1 : 최소 정비 수준

r_2 : 최대 정비 수준

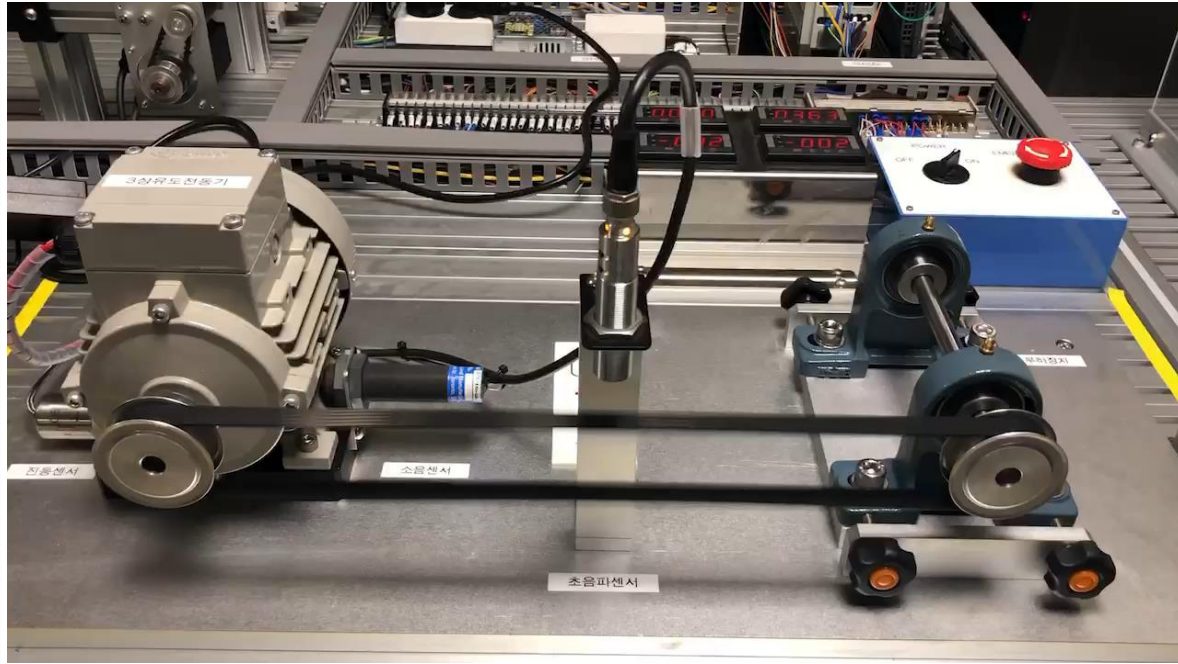
최적 정비 시점



- 해당 시점의 설비의 중요도와 risk를 고려하여 최적의 정비 시점 결정
- 최소, 최대 정비 수준(r_1 , r_2)를 설정을 통해 과도한 정비 비용과 고장 비용을 최소화 하고자 함
- 향후 r_1 , r_2 을 결정하는 후속 연구 진행 예정

3. 고품질 데이터 수집 : 베어링, 컨베이어벨트 수명 실험

테스트베드

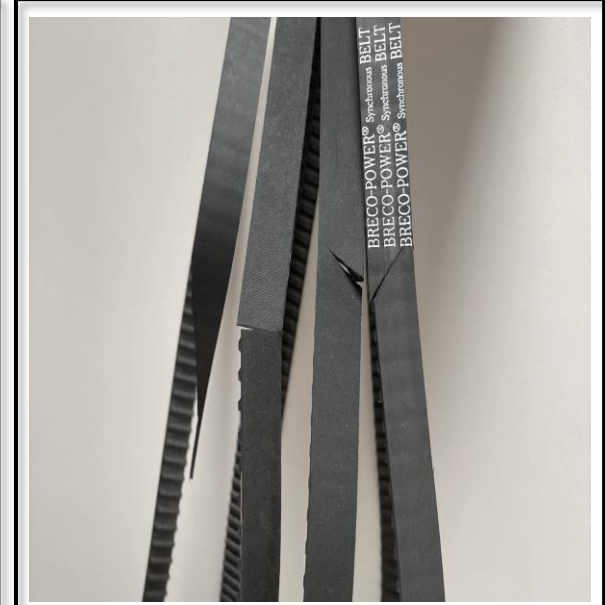


수명 실험 대상

베어링

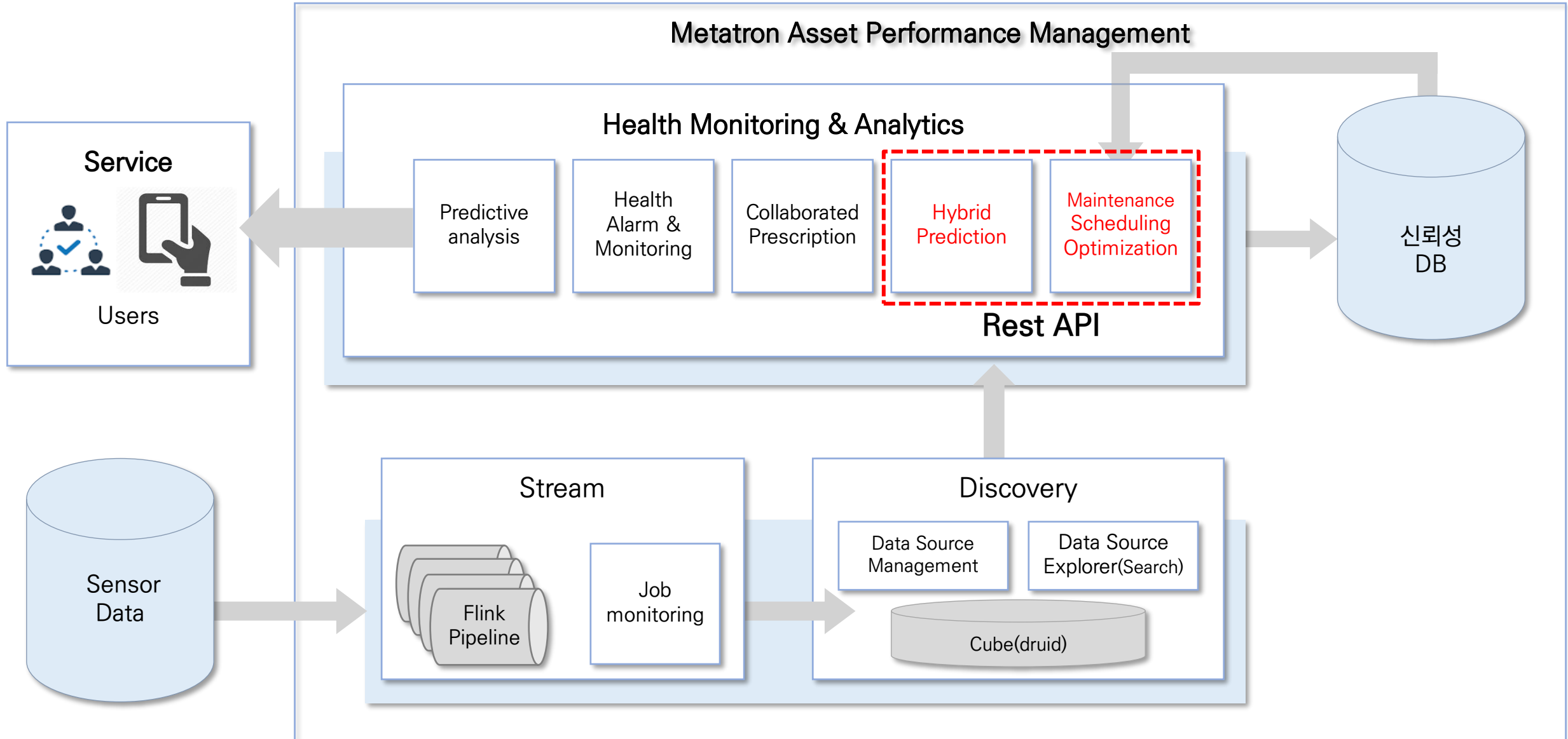


컨베이어 벨트



- 실험계획법을 활용하여 고장 유형을 설계
- 테스트베드를 활용하여 다양한 고장 유형 데이터 (고품질 데이터) 수집
- 실험 데이터를 활용하여, 수명 예측모델 검증 예정

4. 메타트론 그랜드뷰 아키텍처 연계



5. 연구 과제 수행 및 연구비 사용 계획

• 연구 과제 수행 계획

※ 과제기간 : '22년 6월 ~ 10월 (5개월)

주요 활동		6	7	8	9	10	산출물
주제 발굴	기술 현황 분석						• EDA 및 주제 도출
	데이터 EDA 및 전처리 수행						
	도메인 조사						
잔여수명 예측	데이터 기반 잔여수명 예측 수행						• 잔여수명 예측 함수 개발 • 중간 보고 (8월)
	신뢰성 기반 잔여수명 예측 수행						
	물리 기반 잔여수명 예측 수행						
	데이터, 신뢰성, 물리 하이브리드 기반 잔여수명 예측 수행						
정비 스케줄링	정비 최적화 목적함수 고도화						• 최적 정비 스케줄링 함수 개발
	정비 최적화 수행						
최종 보고 및 보완							• 종료 보고(10월)

 변준현
  민수홍
  차승우

5. 연구 과제 수행 및 연구비 사용 계획

• 연구비 사용 계획

※ 과제기간 : '22년 6월 ~ 10월 (5개월)

(단위 : 원)

항목	세부 항목	금액 (단위 : 원)
학회 (SKT 공동 발표)	PHM 학회 (2022-06-29~2022-07-01)	3,000,000 (3명 × 2학회 × 500,000 = 3,000,000)
	한국신뢰성학회 (11월 말 예정)	
연구재료	컨베이어벨트	1,000,000
	베어링	
연구장비	센서	1,000,000
식대	회의비	1,000,000
	야근식대	
총합		6,000,000