

# Rare event simulation by combining trend and probability: An application to Naval ship critical failures

1. 서론

2. 연구방법

3. 연구결과

4. 향후 연구방향 및 결론

국방대학교 박사과정 최진우

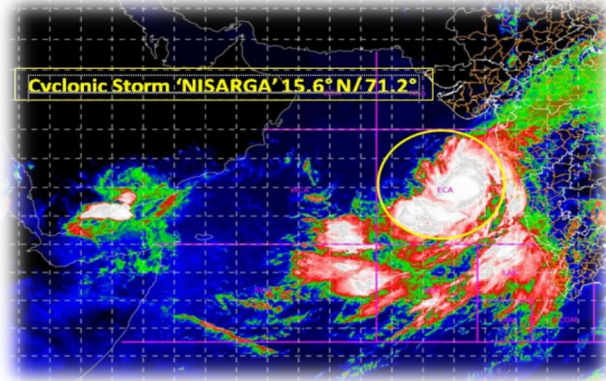
국방대학교 석사과정 박정서

국방대학교 교수 문성암



# 01 서론 : Rare event 란, 발생빈도가 상대적으로 매우 낮은 사건을 지칭

Weather phenomenon



Security



Human casualty



Rare  
Event

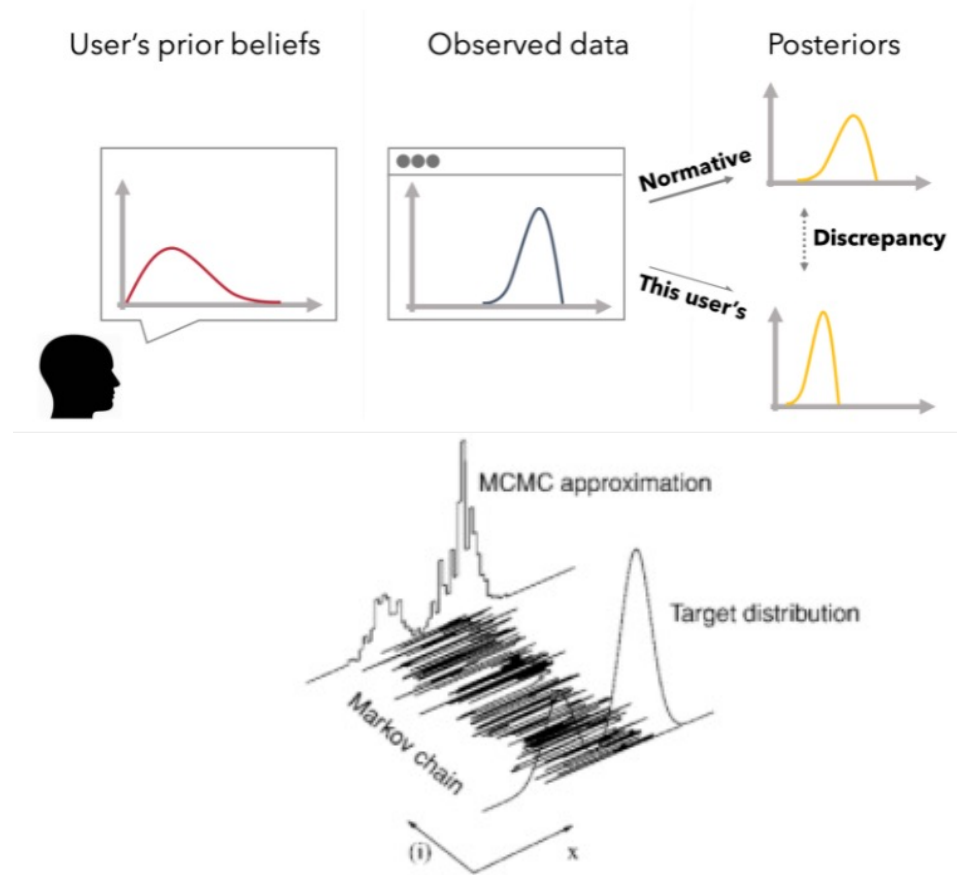
Equipment failures



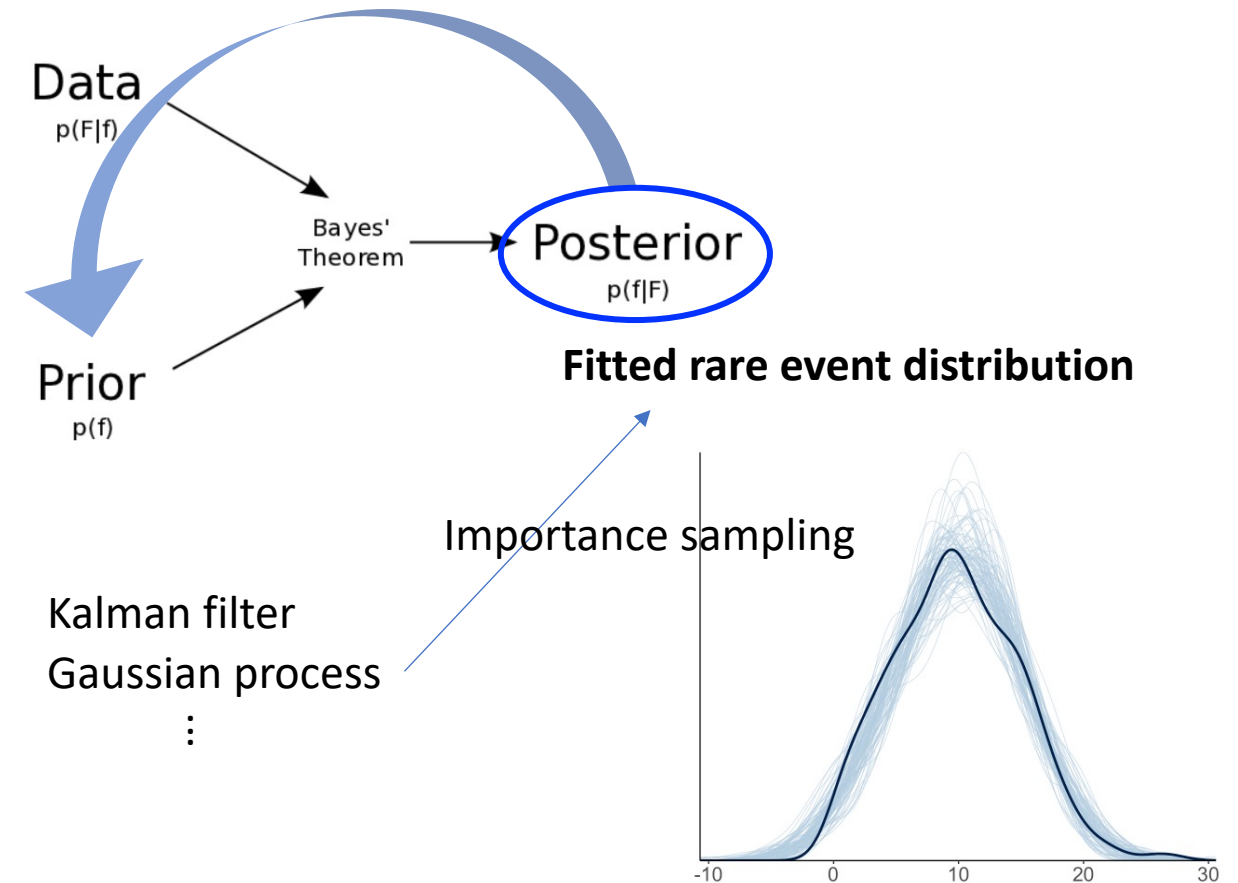
- 확률이 매우 낮음에도 불구하고 적용되는 분야가 굉장히 다양함
- 치명적인 영향을 미치므로 무시할 수 없음
- Rare event로 구분하는 기준 확률은 없으며 domain knowledge로 판단해야 함

# 01 서론 : 과거 연구들에서 Rare event는 상당한 수준의 수학적 지식과 많은 계산을 요구

## Data sufficient : Bayesian inference



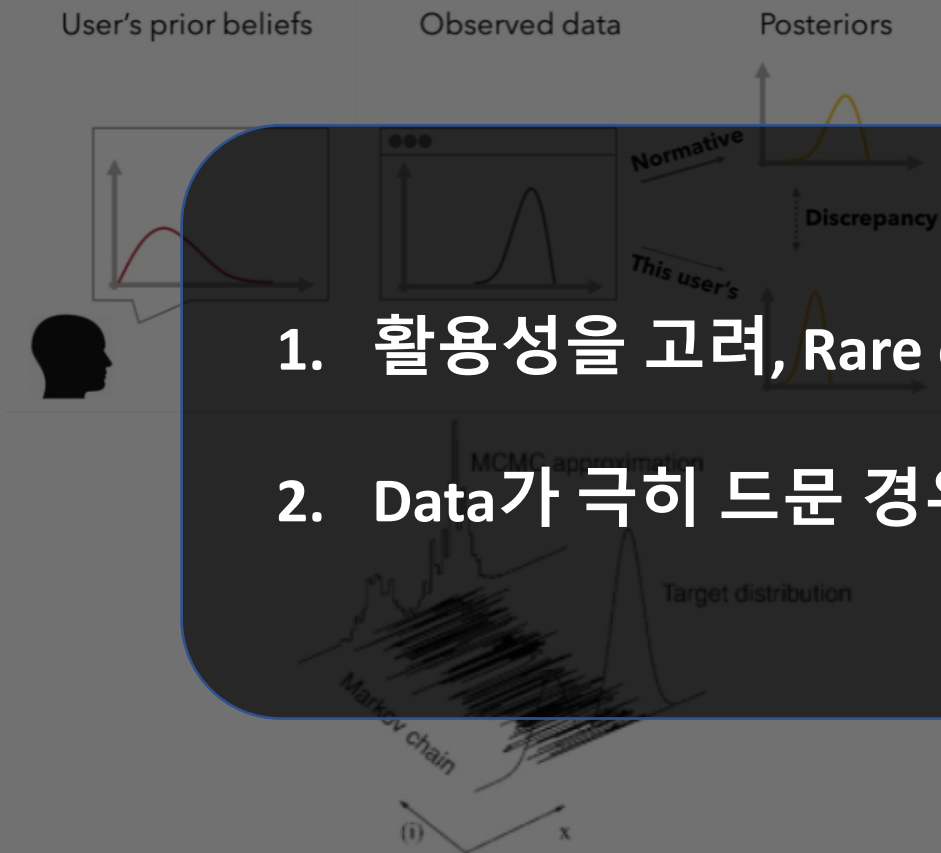
## Data insufficient : Bayesian inverse problem



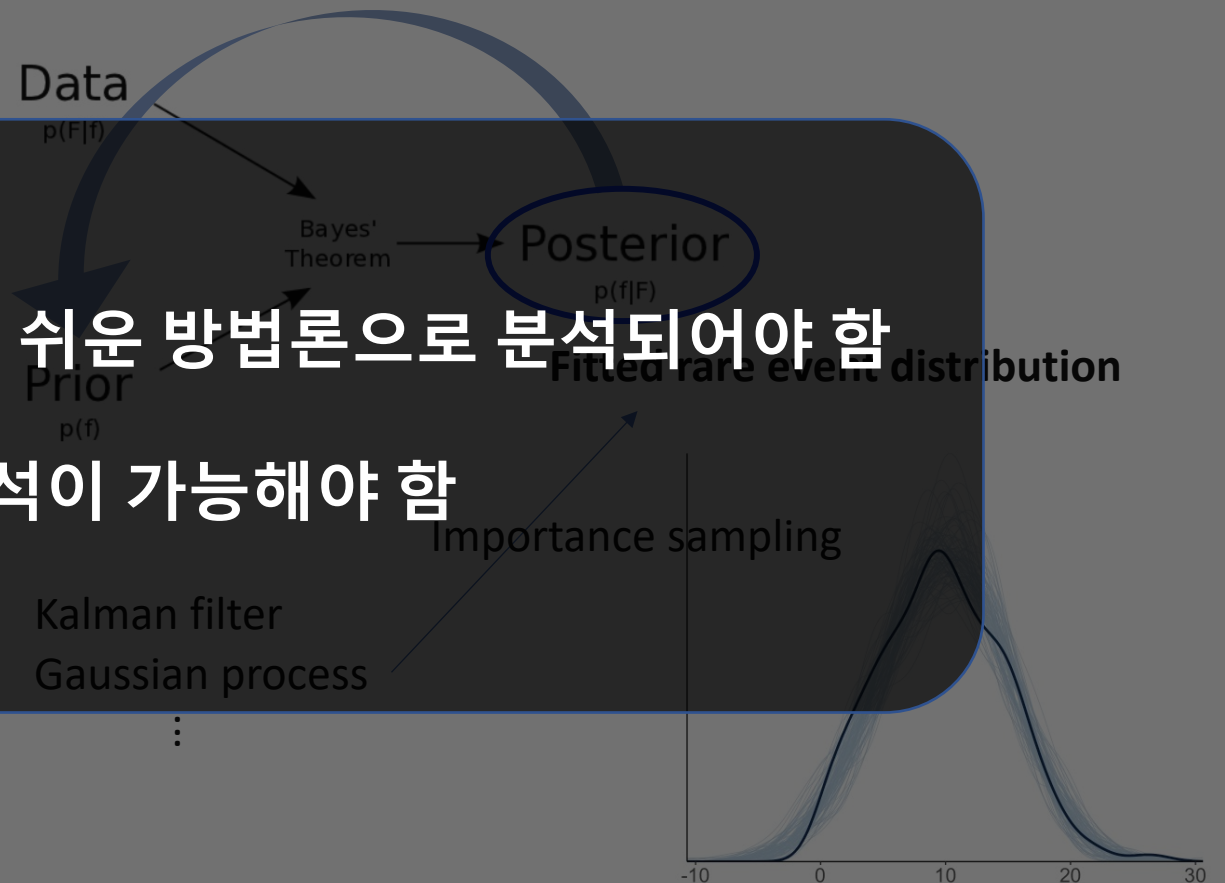
- Rare event는 주변에서 많이 발생하는 치명적인 현상임에도 불구하고 분석방법이 어렵다는 문제 상존
- 또한, 현실의 rare event는 Bayesian 의 posterior를 fitting할만큼 데이터가 없는 경우가 많음

# 01 서론 : 과거 연구들에서 Rare event는 상당한 수준의 수학적 지식과 많은 계산을 요구

## Data sufficient : Bayesian inference



## Data insufficient : Bayesian inverse problem

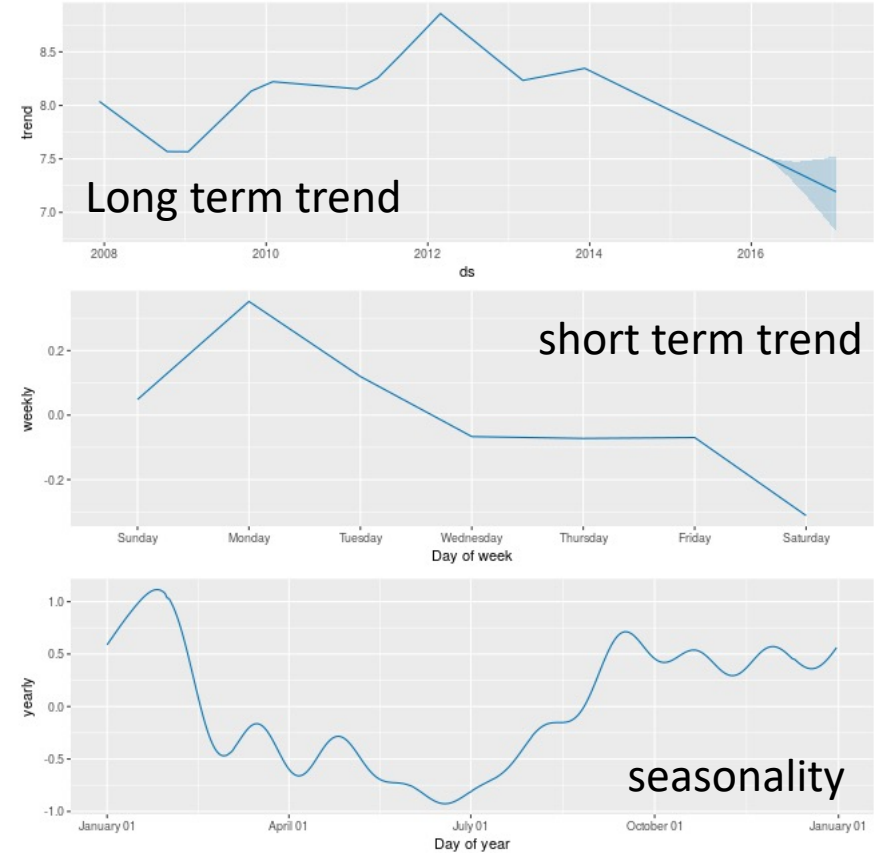
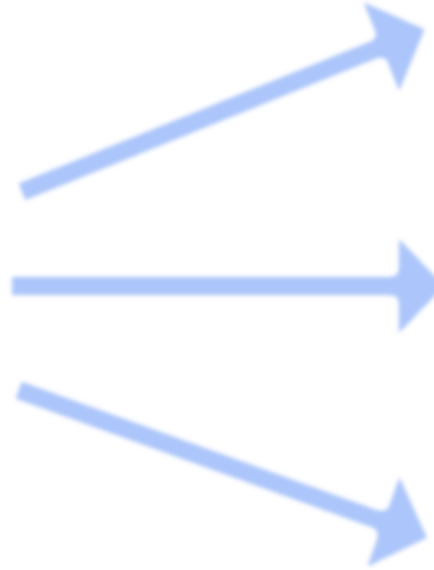
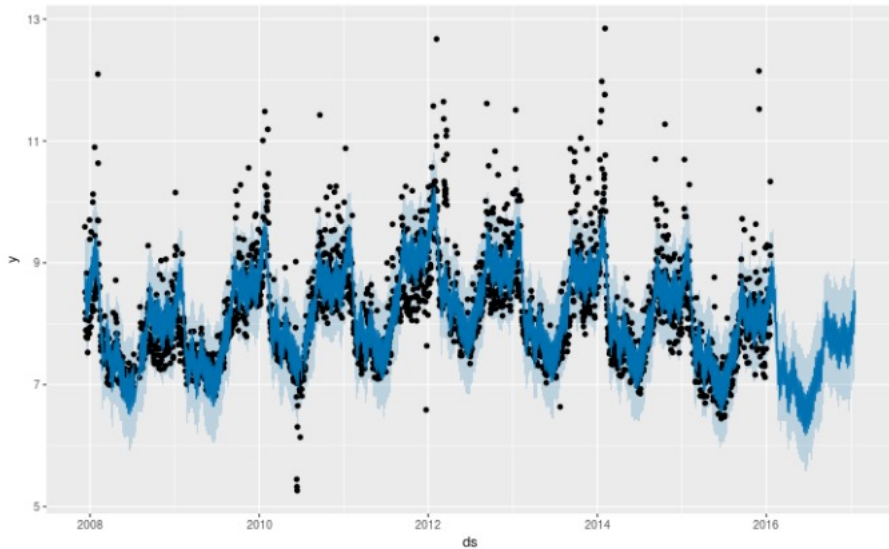


1. 활용성을 고려, Rare event는 쉬운 방법론으로 분석되어야 함
2. Data가 극히 드문 경우의 분석이 가능해야 함

- Rare event는 주변에서 많이 발생하는 치명적인 현상임에도 불구하고 분석방법이 어렵다는 문제 상존
- 또한, 현실의 rare event는 Bayesian 의 posterior를 fitting할만큼 데이터가 없는 경우가 많음

# 02 연구방법 : Fourier decomposition의 시계열 데이터 분할 & 병합의 방법을 차용

## Prophet by Facebook



## 연구방법 : 긴급고장은 총수명 추세와 6개월 단위의 고장 확률 조합으로 발생한다고 가정

Total lifecycle of ROK Naval ship

Long term failure trend



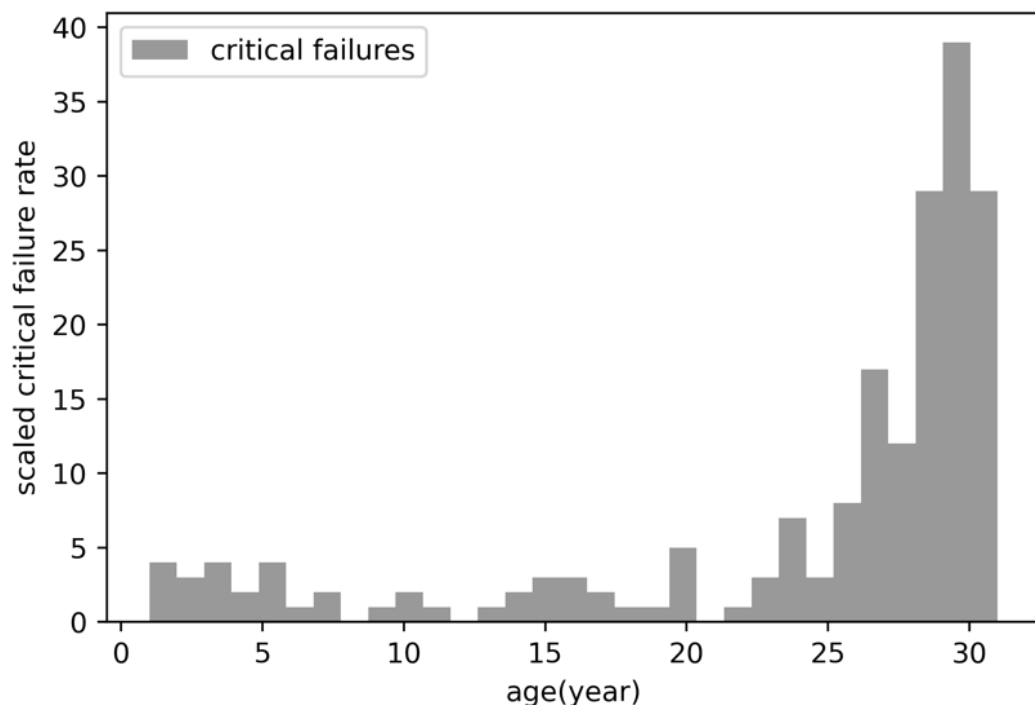
Short term failure probability

X 2 = failure probability for one year

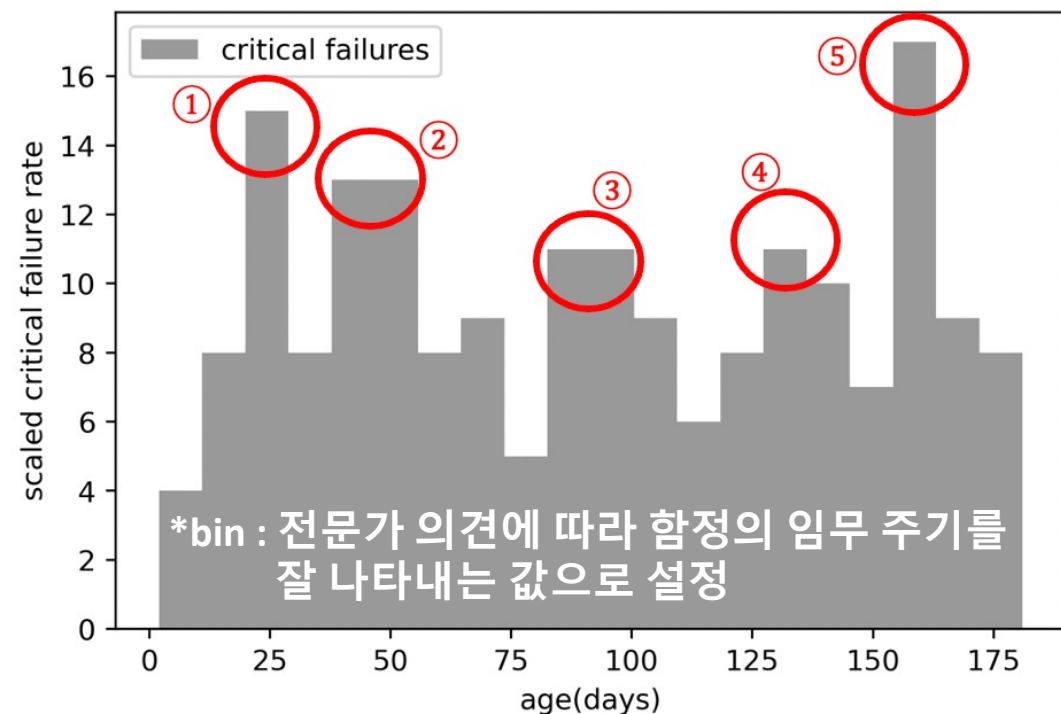
# 연구방법 : 데이터의 연단위, 일단위 정렬 후 4가지 방법으로 적합

Data : 2012~2019년에 발생한 66척의 긴급고장 190 건, 고장 일자, 고장 함정 수명, 마지막 정비 후 기간

Critical failure occurring over the total lifecycle



Critical failure occurring between preventive maintenance



Fitting method :

1. Average probability of failure ( $1/\text{MTBF}$ )
2. Linear & Polynomial regression
3. B-spline curve fitting
4. Phase-type distribution

\* MTBF (고장간 평균시간)  
: Mean Time Between failure

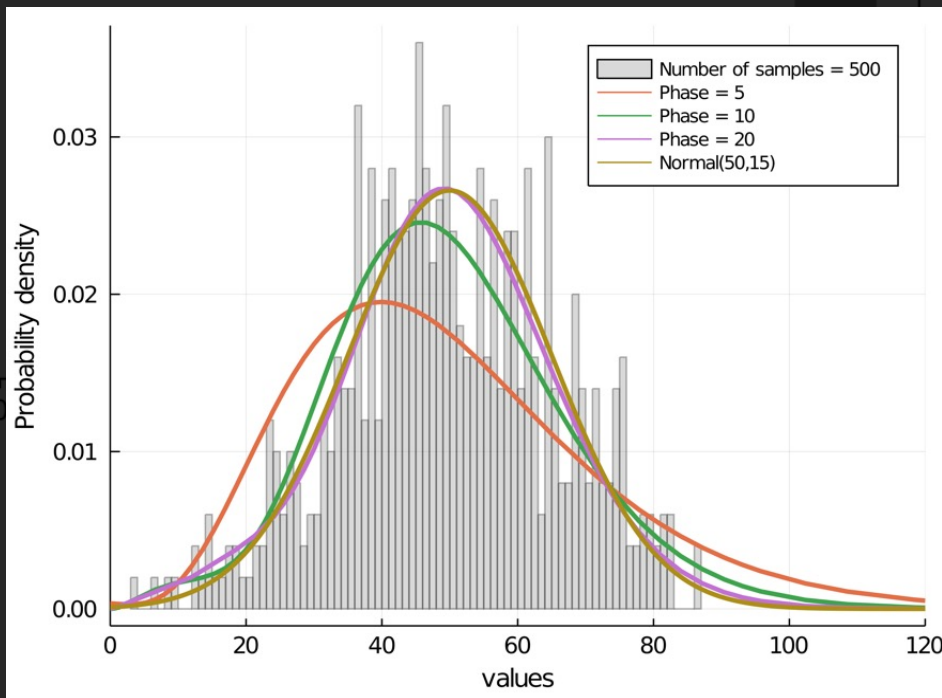


# 연구방법 : 데이터의 연단위, 일단위 정렬 후 4가지 방법으로 적합

Data : 2012~2019년에 발생한 66척의 긴급고장 190 건, 고장 일자, 고장 합정 수명, 마지막 정비 후 기간

## Phase-type distribution (단계형 분포)

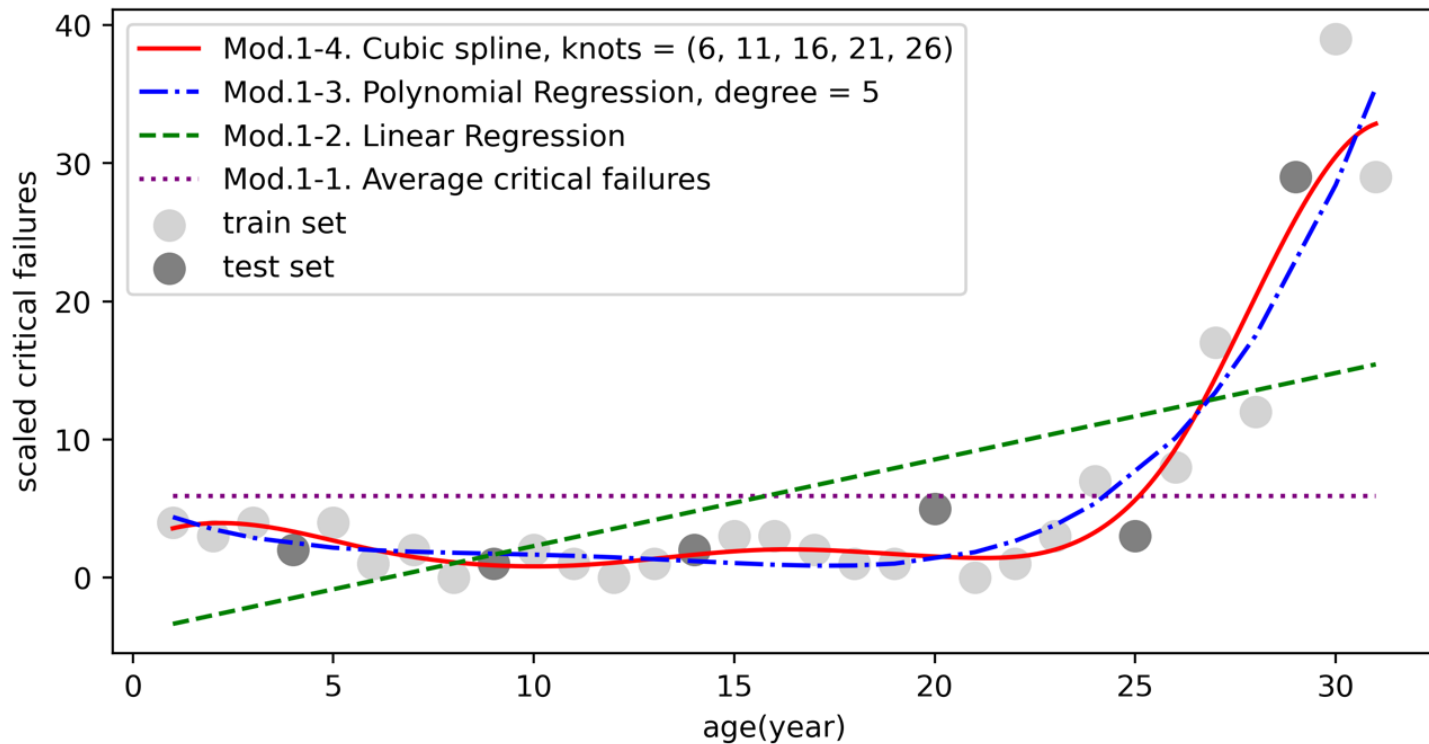
1. 유한 연속시간 흡수 마코프체인의 확률 분포, Erlang distribution의 개선형태(Neuts, 1981; Bhat, 1990)
2. 수학적으로 복잡한 방법론에 속하나, computational approach에서는 단 하나의 모수(phase)만으로 원하는 형태의 분포를 적합할 수 있음 (Asmussen et al., 1996).



## 4. Phase-type distribution



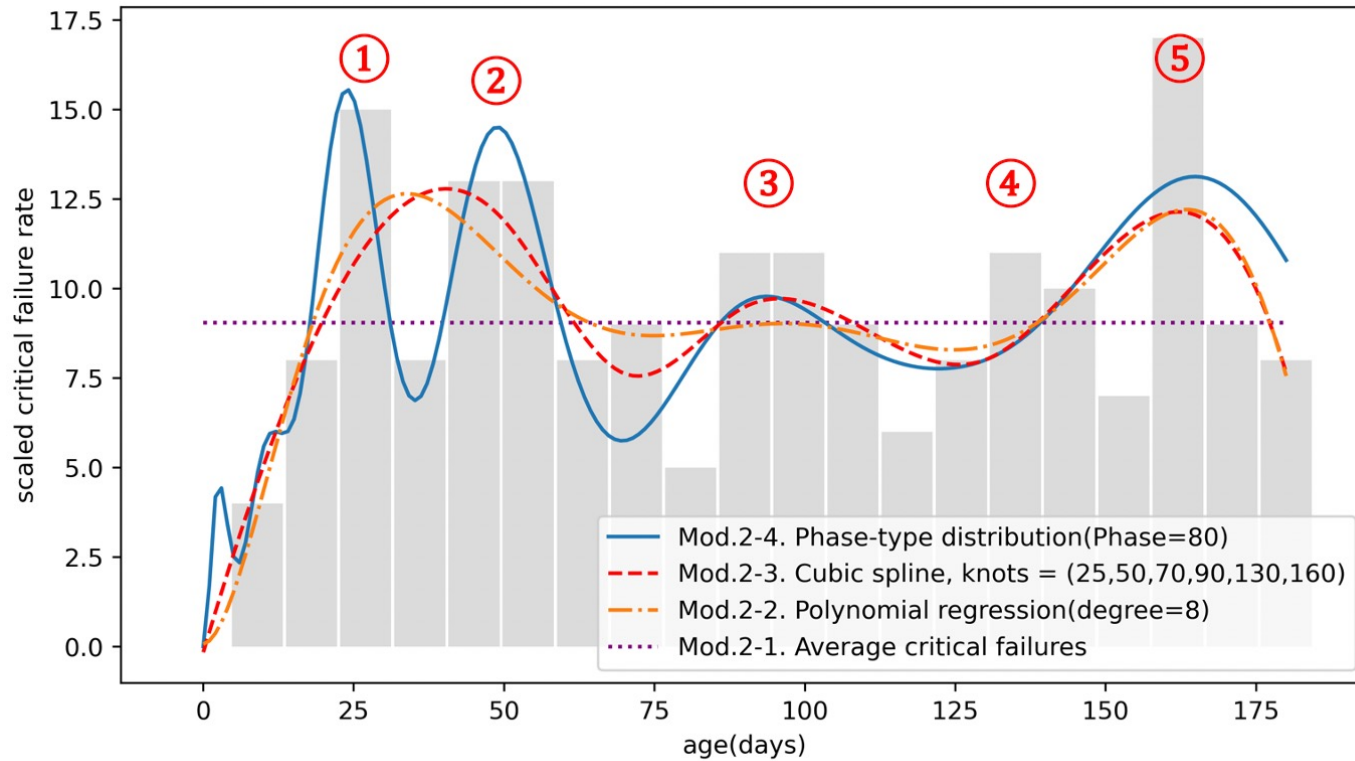
## 연구결과 : 총수명 연단위 추세는 B-spline 적합의 성능이 우수



Model	RMSE
Mod.1-4 : B-spline (knot-6, 11, 16, 21, 26)	2.25
Mod.1-3 : Polynomial reg.(deg.=5)	3.59
Mod.1-2 : Linear reg.(-3.98, 0.62)	7.39
Mod.1-1 : Average critical failures	9.97

- Curve fitting 결과로 도출된 연도별 값을 해당 연도의 추정된 이산형 고장량으로 지정
  - \* 긴급고장은 일일단위의 분석이 필요함
  - \* Interpolate된 연단위 추세선으로 일일단위의 고장량을 추정하는건 부적절

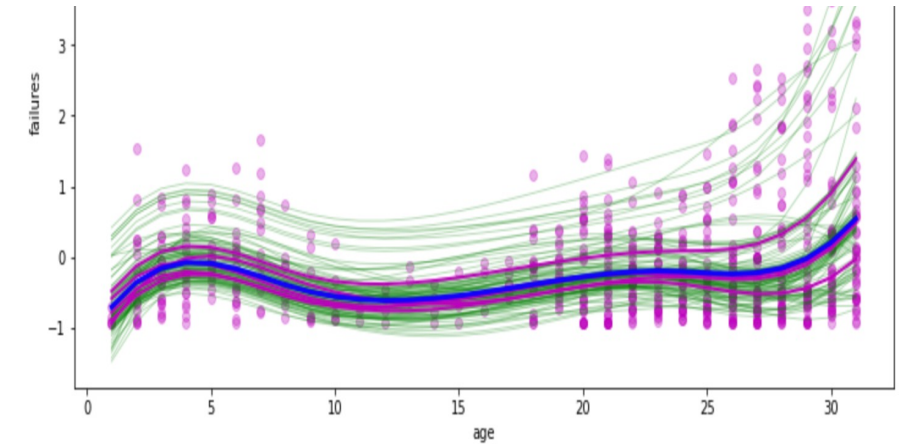
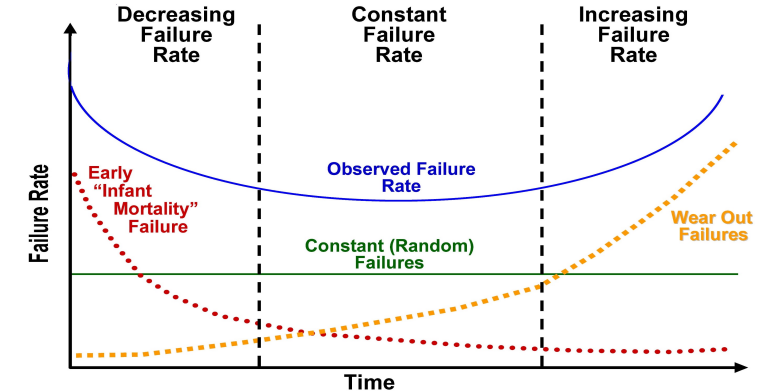
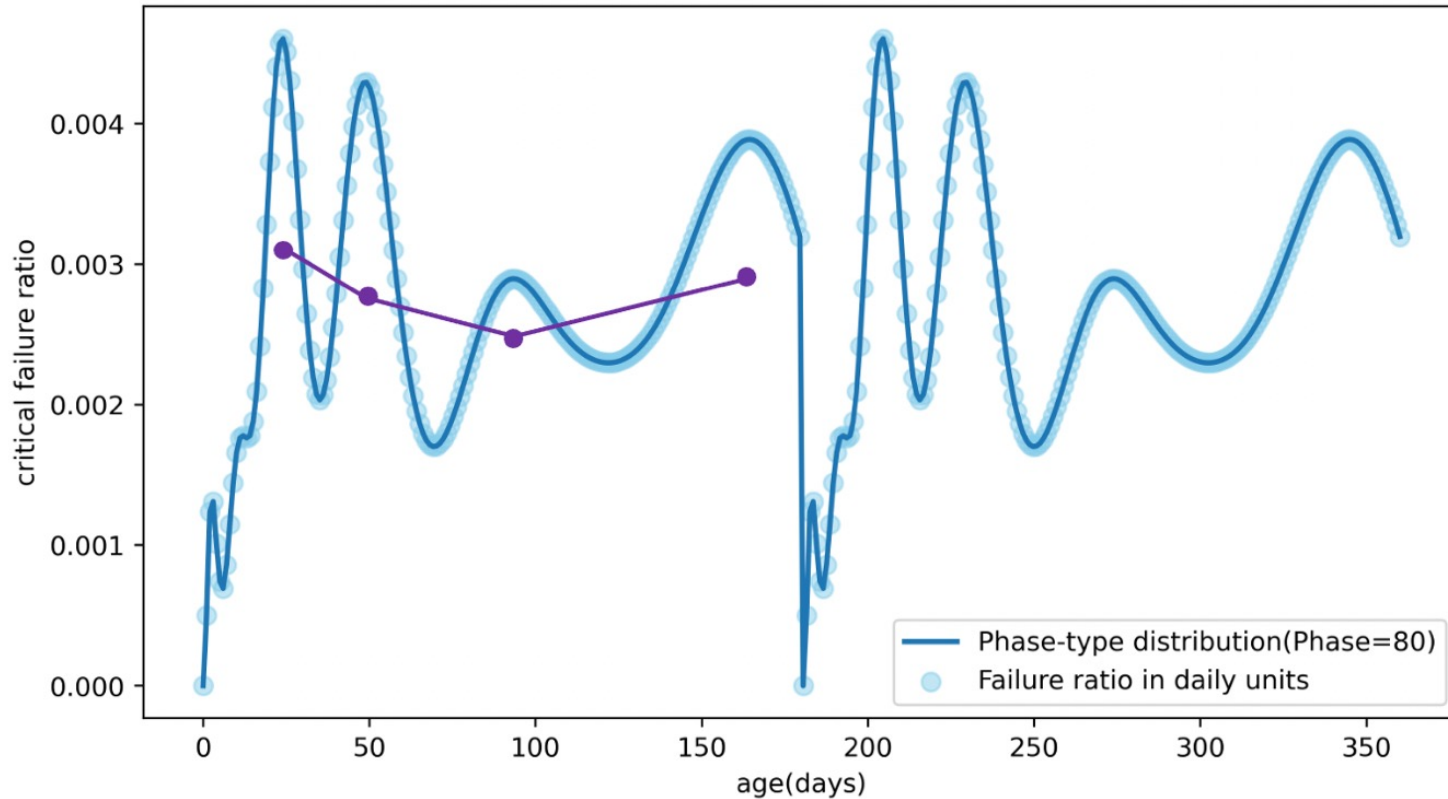
# 03 연구결과 : 반년 단위 고장량 추정은 Phase-type distribution의 성능이 우수



Model	RMSE
Mod.2-4 : Phase-type dist.(p=80)	2.12
Mod.2-3 : B-spline (knot-6, 11, 16, 21, 26)	2.36
Mod.2-2 : Polynomial reg.(d=8)	2.42
Mod.2-1 : Average critical failures	3.68

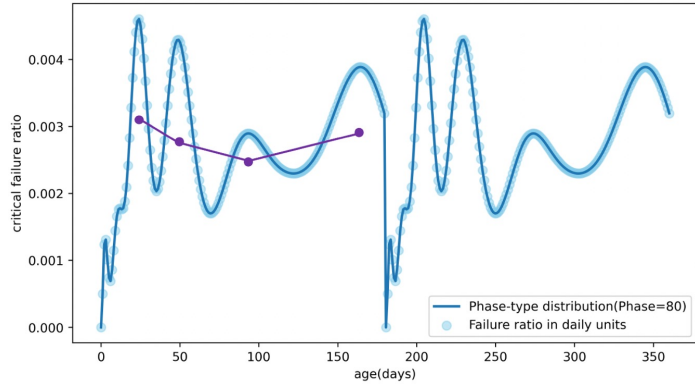
- 함정의 운영주기인 반년 단위의 고장량은 scale 조절을 통해 연속 확률로 변환

# 03 연구결과 : 반년 단위의 고장확률을 붙여 1년간의 일일 단위 고장확률을 도출

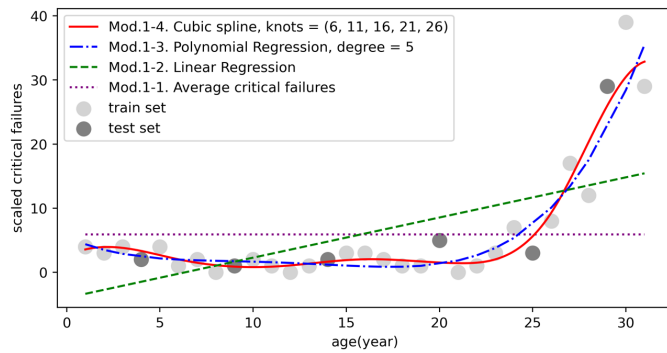
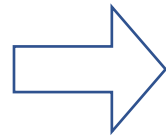


- 반년 단위의 고장 확률을 연속으로 붙여 연 단위 일일 고장 확률을 도출
- 0일째, 180일째는 예방정비가 끝난 시기에 해당하며 이날 발생하는 고장은 하자 정비로 수리되므로 긴급고장에 포함되지 않음. 즉, 0, 180일째의 고장확률은 0이라고 봐도 무방함
- 단, 하자가 아닌 경우의 확률을 알기 위해 추가 연구 필요

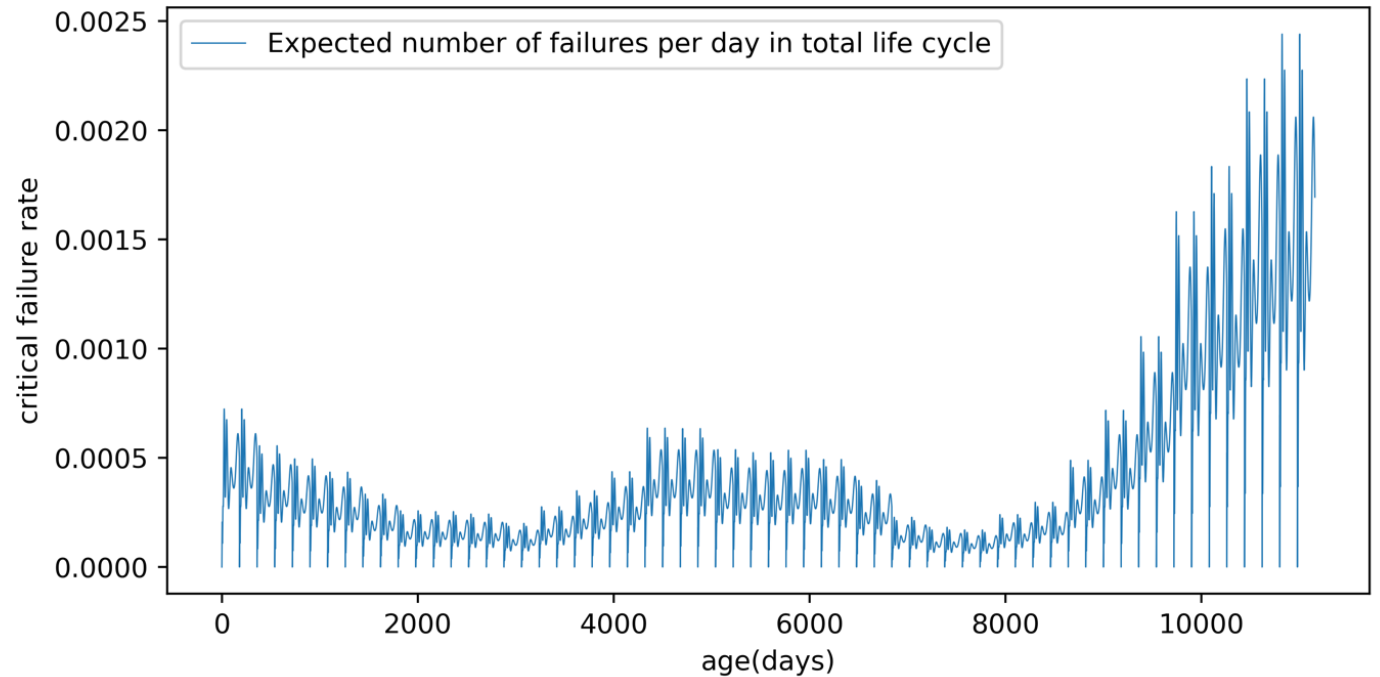
# 연구결과 : 도출된 총수명 고장 추세와 일일 단위 고장확률을 결합하여 총수명 고장 확률 도출



일년주기의 일일 단위 고장확률



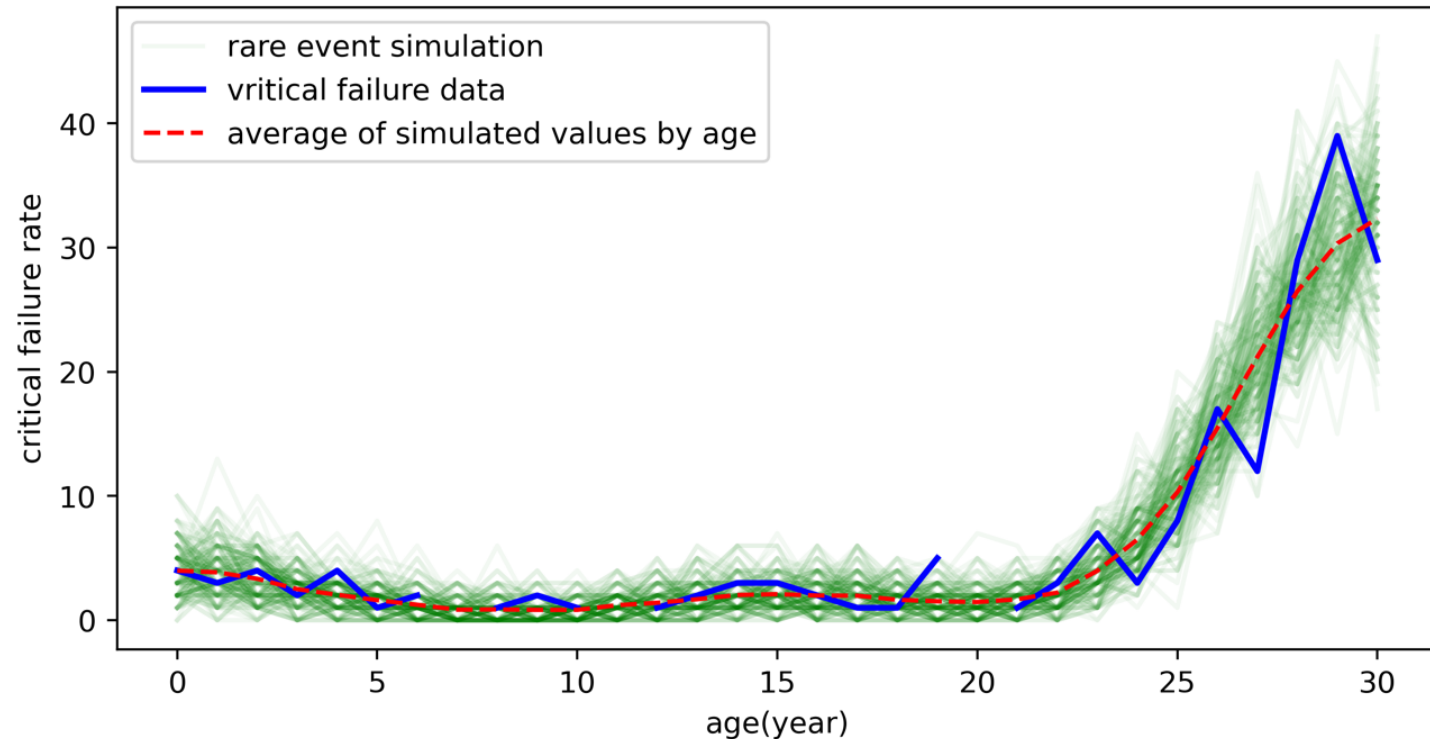
총수명 고장 추세



총수명의 일일 단위 고장확률 도출



## 연구결과 : 도출된 총수명 고장 추세와 일일 단위 고장확률을 결합하여 총수명 고장 확률 도출



- 과거 연구들에서 Bayesian inference의 Monte-Carlo simulation은 Posterior에서 random number를 생성하여 기준확률(threshold)보다 낮은 경우 rare event가 발생하는 것으로 산출
- Uniform(0,1) 기준으로 Monte-Carlo simulation (1000회) 수행 결과  
ex) 200일차 고장확률은 0.000586이고, random uniform(0,1) 결과 이보다 작은 값이 나오면 고장 1회로 간주
- 발생 가능한 긴급고장의 범위 내에 관측 데이터가 포함됨

## 04 향후 연구방향 및 결론

---

- Rare event 분석은 활용처가 많은데 비해 방법론이 어려워 쉽게 적용하기 힘들었다.
- 또한, 과거의 방법론들은 일정 수준 이상의 데이터가 있어야 적용 가능하였다.
- 본 연구에서는 쉬운 방법론만으로 구성된 Rare event 분석 방법을 제시하였고,
- 적은 데이터의 양을 전문가의 의견으로 채울 수 있는 Phase-type distribution을 적용하였다.
- 본 연구의 결과는 Monte-Carlo simulation으로 데이터가 시뮬레이션으로 복원 가능한 범위에 있다는 것으로 검증하였으나,
- 과거에 활용된 다른 방법론과의 성능 비교가 필요하다.
- 한편 180일 단위의 함정 운용주기에서 Bathtub shape이 발견되는 것에 대한 심층적인 연구가 필요하다.