

Application of Bayesian Updating to Seismic Fragility Analysis of Piping System



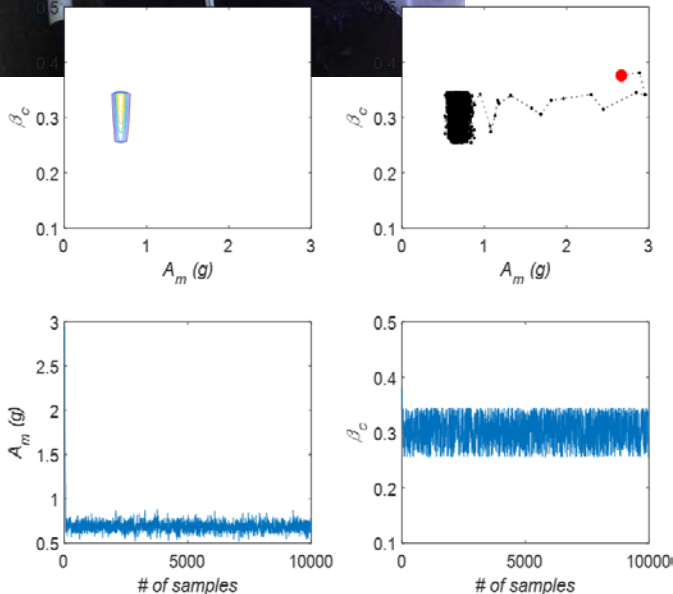
Shinyoung Kwag, Hanbat National University
Seunghyun Eem, Kyungpook National University

Yonghee Ryu, North Carolina State University

Buseog Ju, Kyung Hee University

Transactions of the Korean Nuclear Society
Autumn Meeting

2020. 12. 17.

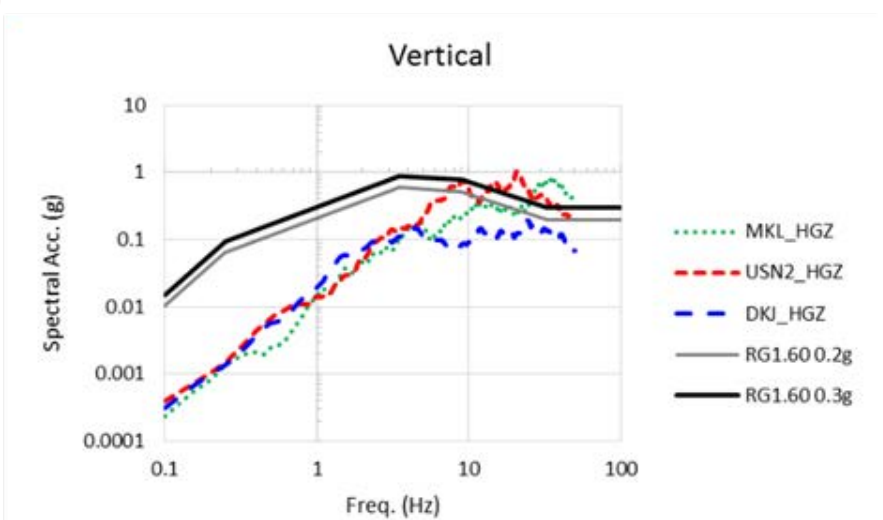
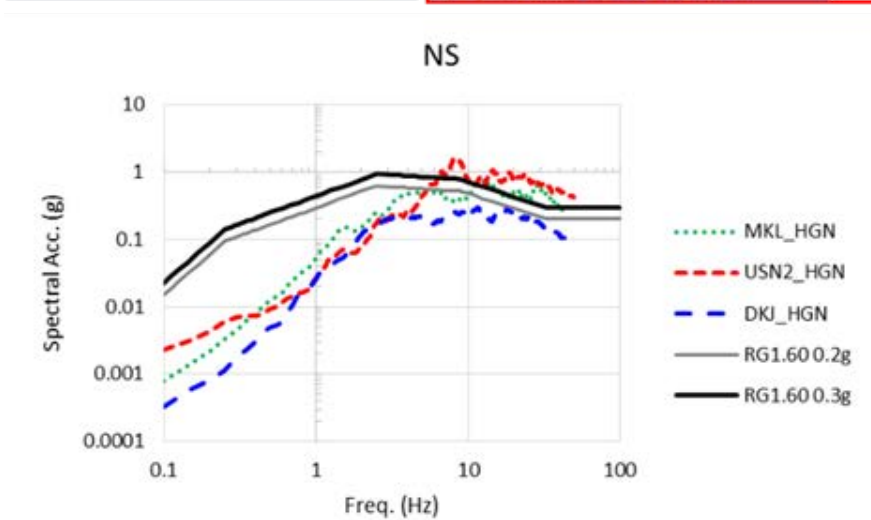
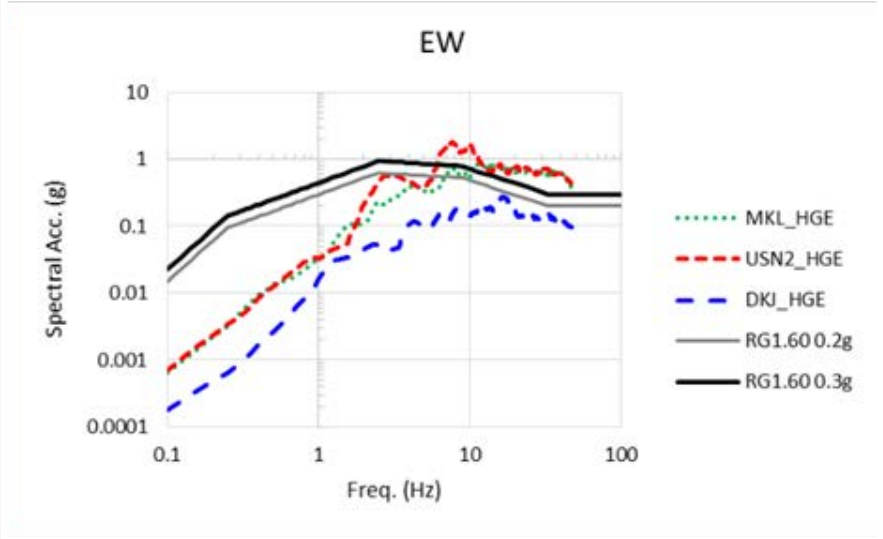
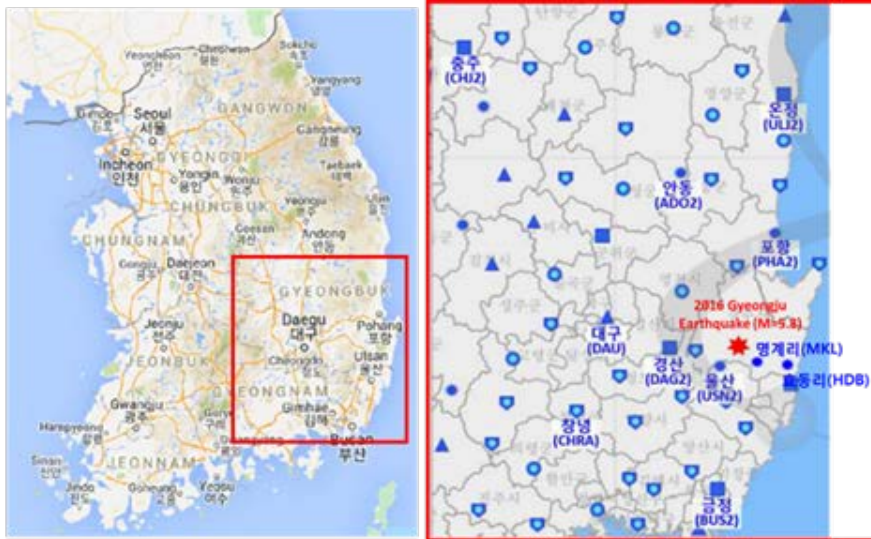


목차

- 연구배경
- 연구목적
- EPRI SOV 방법
- 최우도법(MLE)
- 베이지안 업데이트
- 적용예제
- 검증
- 결과
- 결론

연구 배경

- 한반도 내에서 규모 5 이상의 지진이 경주(2016)와 포항(2017)에서 연속으로 발생



[경주 지진]

연구 배경

- 지진 시, 이러한 비구조 요소로 인한 경제적 손실이 전체 경제적 손실의 50% 이상 차지함. (미국 노스리지지진, 일본 고베지진)
- 2016년 포항 지진 및 2017년 경주 지진 시 이러한 배관시스템 손상 사례가 여럿 보고된 바 있음.



경주 지진 시 배관손상 예



경주 지진 시 대형식당



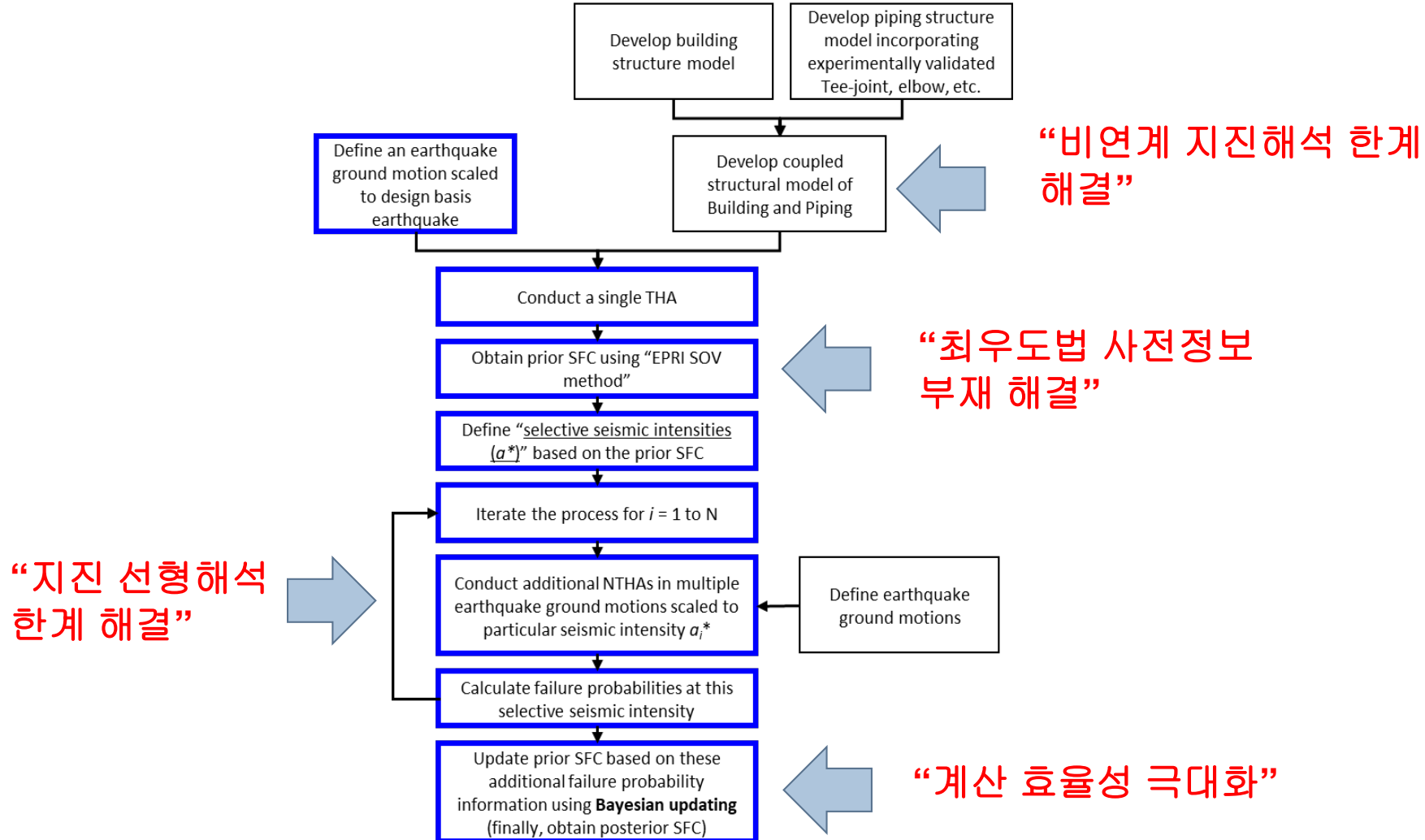
포항 지진 시 배관손상 예

연구 배경

- **원전 배관 취약도 해석: 비연계 지진해석을 통한 방법**
 - ✓ 주요 층마다 층응답스펙트럼을 도출
 - ✓ 도출된 층응답스펙트럼은 2차 구조시스템인 배관 지지점의 각각의 입력 지진하중으로 정의
 - ✓ 건물-배관 연계 동특성을 고려하지 못하여 **실제 현상과는 다른 오차가 큰 결과를 발생**
- **EPRI SOV 방법 (EPRI, 2017)**
 - ✓ **원전 배관 비연계 지진해석에 기반함.**
 - ✓ **선형해석을 기반**으로 구조물의 응답 관련 변수, 기기 응답 관련 변수, 기기 내력관련 기기 변수를 각각 분리
 - ✓ 하나의 로그정규분포로서 통합하여 지진취약도를 산정
- **등가선형한계상태 기반 방법 (Tadinada & Gupta, 2017; Kwag & Gupta, 2018)**
 - ✓ **등가의 선형 한계상태식** 이용
 - ✓ 선형 지진응답해석과 등가선형한계상태에 기반하여 지진취약도 분석
- **최우도 방법 (MLE: Maximum Likelihood Estimation) (Shinozuka et al., 2000)**
 - ▶ **사전정보 없이 지진세기를 점점 증가시켜 가며 비선형 지진응답해석을 수행** 및 데이터수집
 - ▶ 지진취약도 분포 파라미터 추정

연구 목적

- 기존의 EPRI SOV 지진취약도방법을 기반으로, 베이지안 업데이트를 활용하여 효율적인 배관 지진취약도 방법을 제안



EPRI SOV(Separation Of Variables) 방법

- Factors of safety and variability

$$F_m = F_{S_m} F_{\mu_m} F_{SA_m} F_{GMI_m} F_{\delta_m} F_{M_m} F_{MC_m} F_{EC_m} F_{SSI_m}$$

$$\beta_F = (\beta_s^2 + \beta_\mu^2 + \beta_{SA}^2 + \beta_{GMI}^2 + \dots + \beta_{SSI}^2)^{1/2}$$

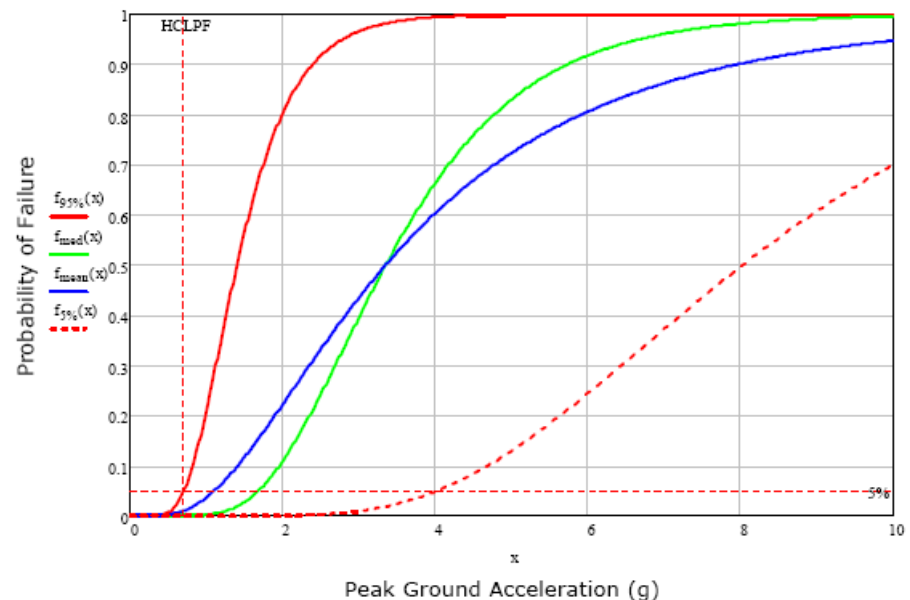


모든 불확실성을 포함
불확실성 인자는 독립

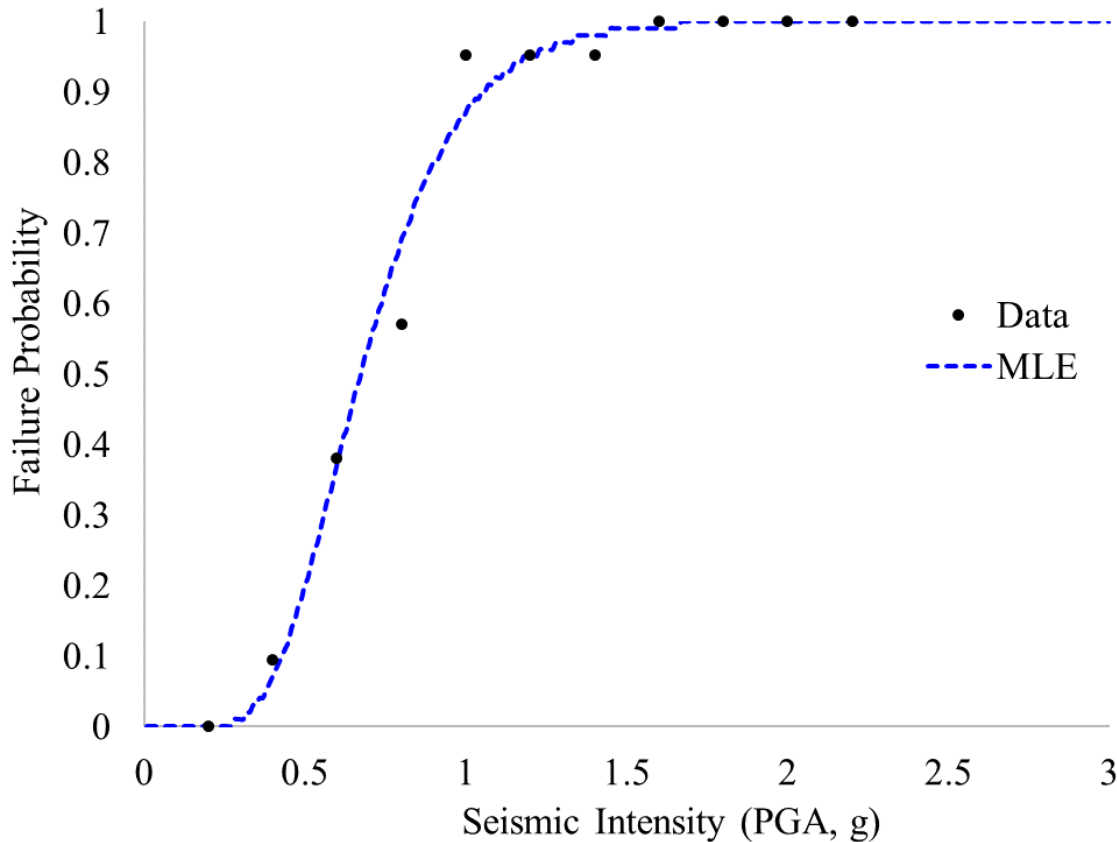
- Seismic fragility curve

- Use standard normal distribution table by transforming lognormal variables to normal variables

$$P_f = \Phi \left(\frac{\ln \left(\frac{a}{A_m} \right) + \beta_U \cdot \Phi(Q)^{-1}}{\beta_R} \right)$$



최우도법 (MLE)



- Data 수집:

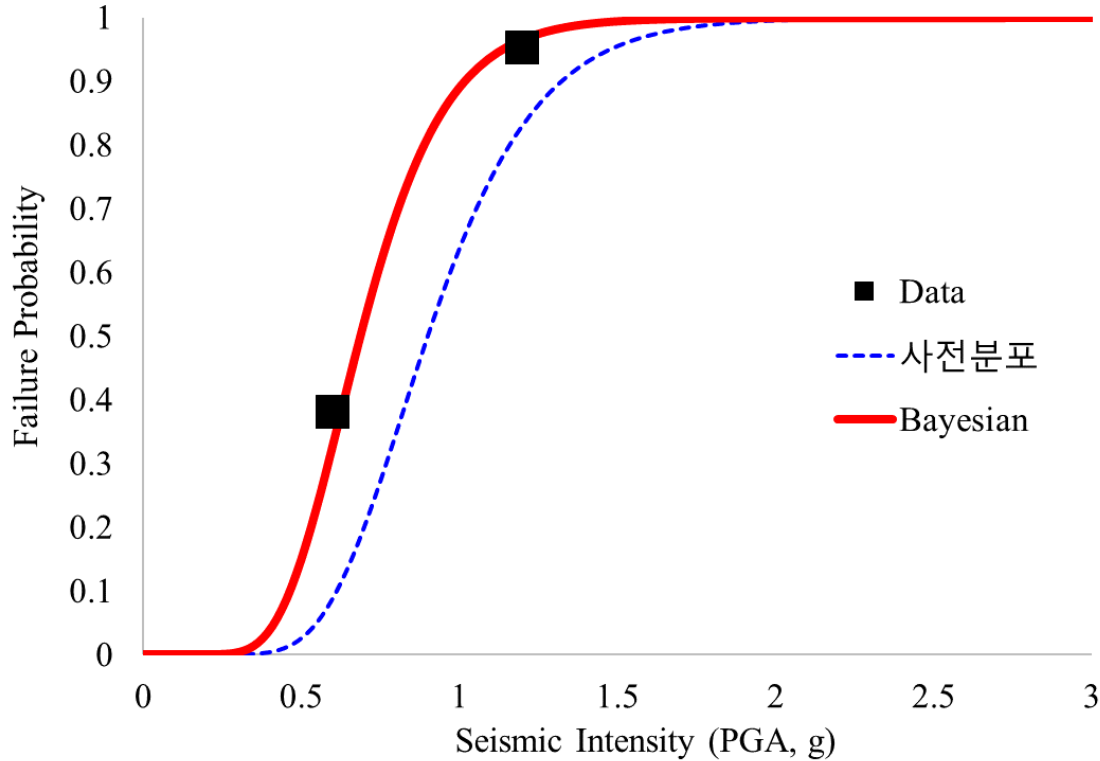
$$P_f(a) = P[D > C | a]$$

$$P_f(a) = \frac{\sum_{i=1}^N 1(D(a_i) > C | a_i)}{N}$$

- 지진취약도 로그정규분포
파라미터 추정:

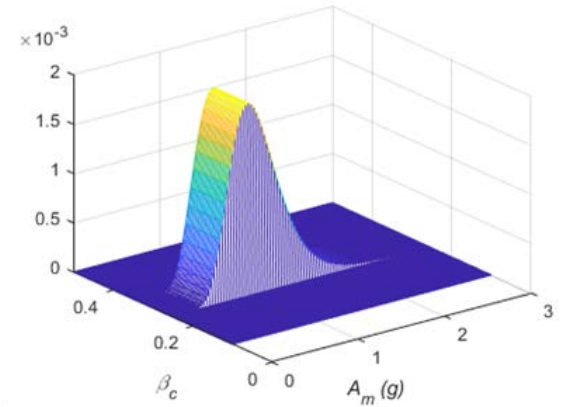
$$P_f(a) = \Phi \left[\frac{\ln(a) - \ln(A_m)}{\beta_c} \right]$$

베이지안 업데이트

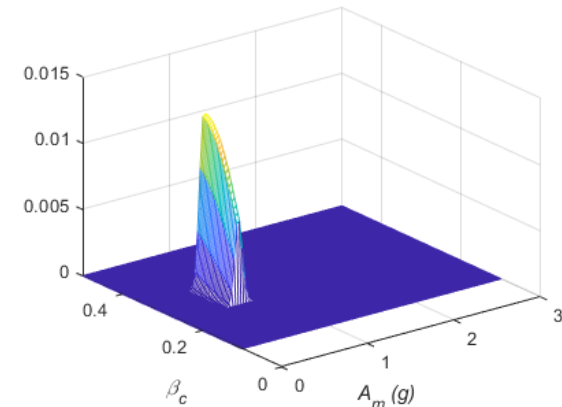


$$P_f(a) = \Phi \left[\frac{\ln(a) - \ln(A_m)}{\beta_c} \right]$$

지진취약도 변수 사전분포:

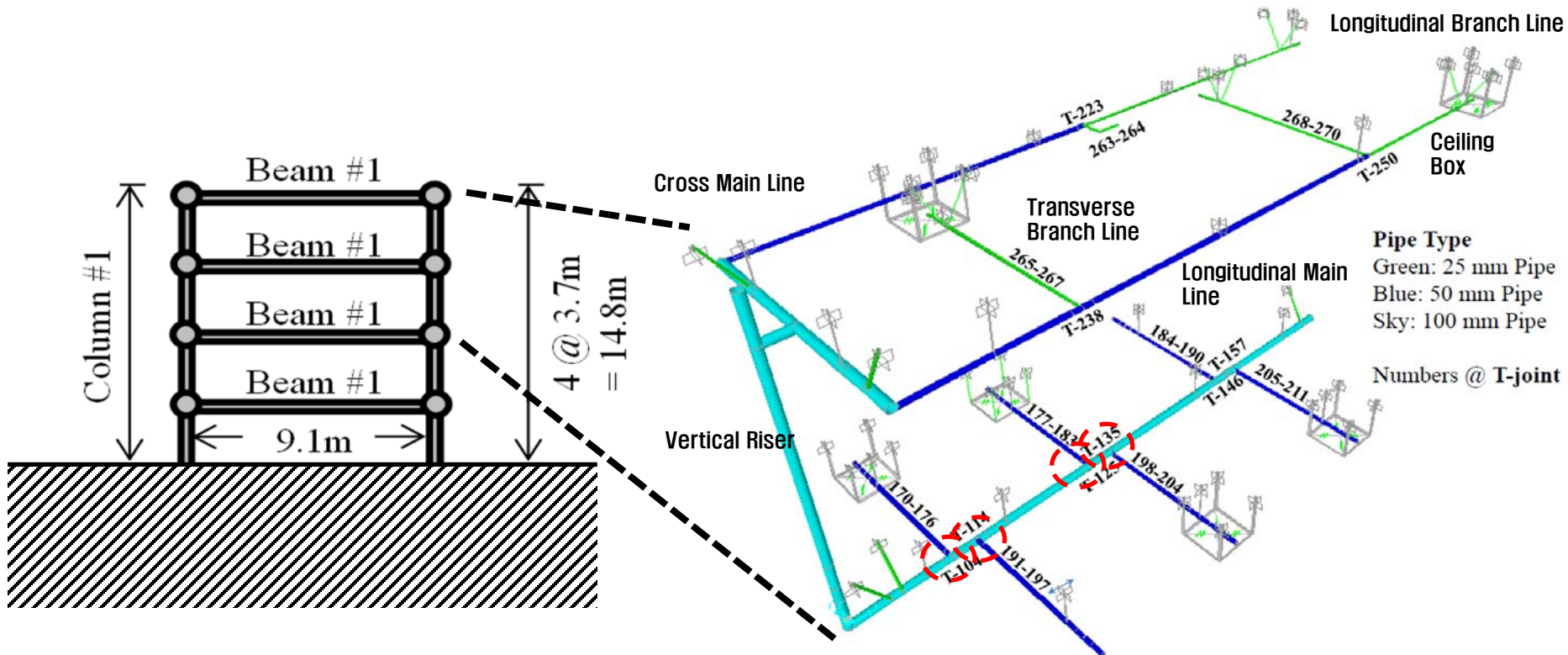


지진취약도 변수 사후분포:



적용 예제

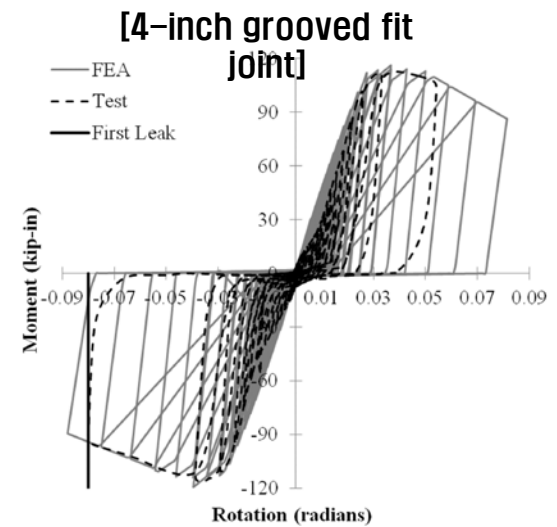
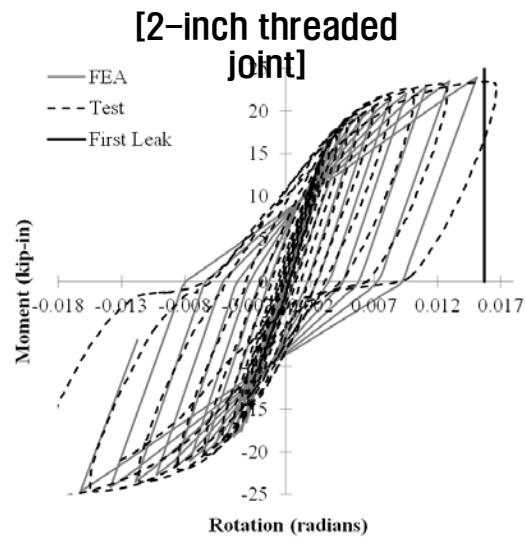
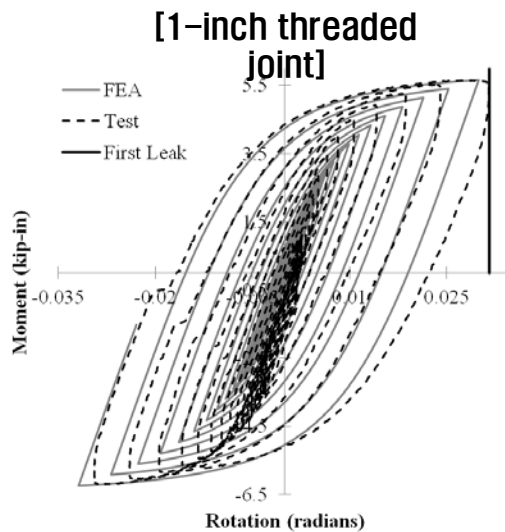
- This study used 21 earthquake ground motions.
- Building was 4-story building and piping was installed in 3th to 4th floor.
- T104/T114/T125/T135 are 2 inch piping joint.



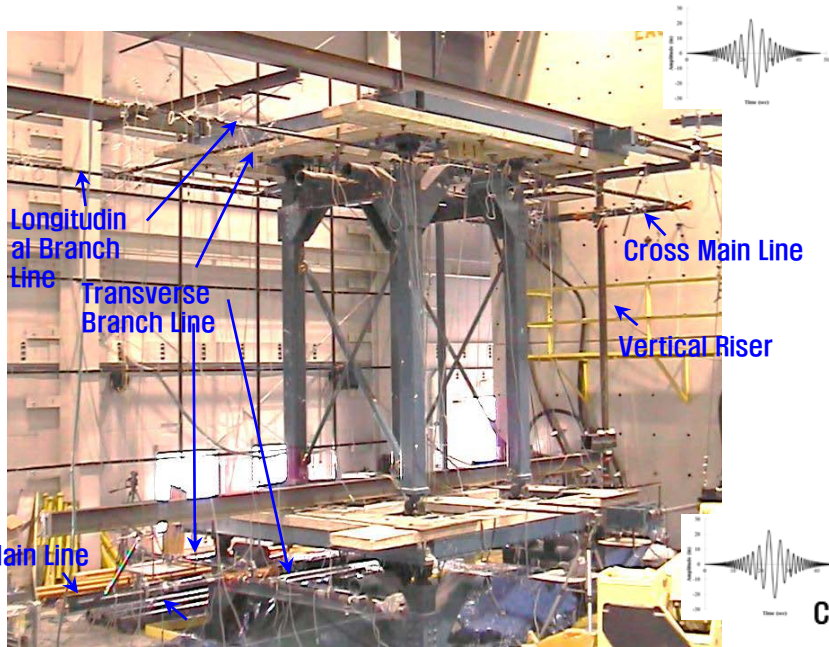
요소 수치모델 검증



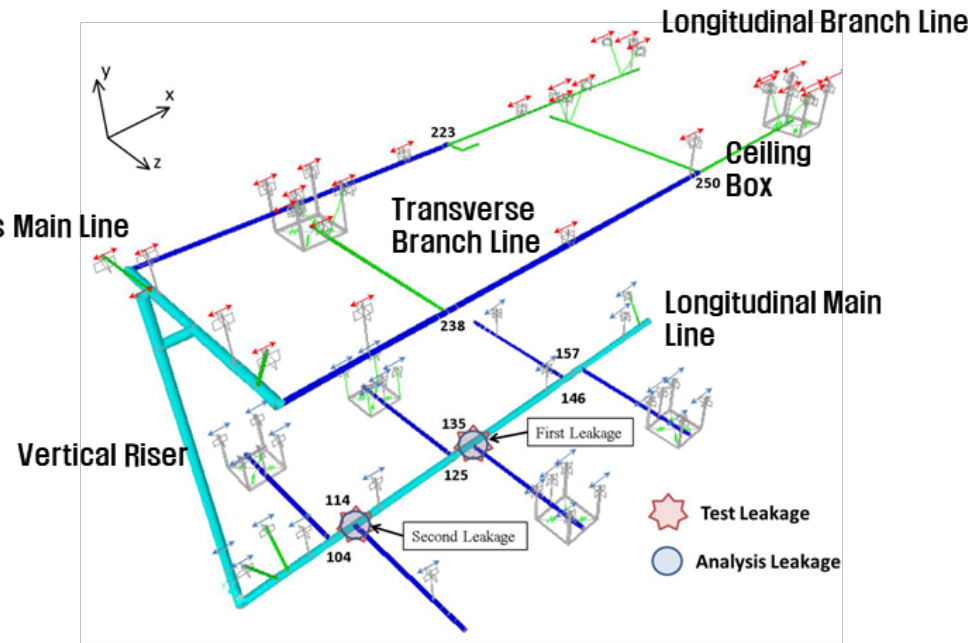
[Piping Tee-Joint Component Cyclic Test]



시스템 수치모델 검증

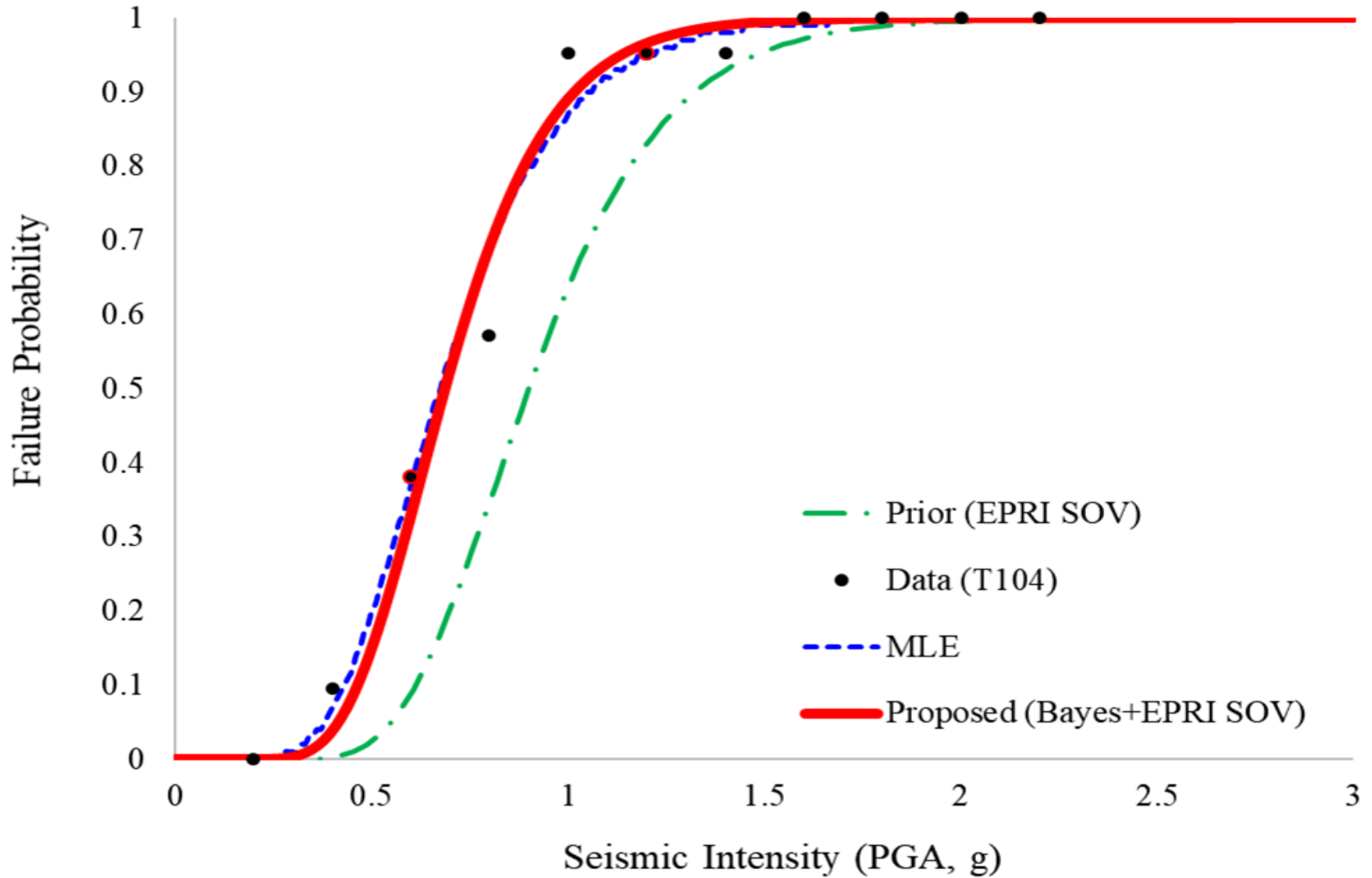


[2-story Piping System Cyclic Test]

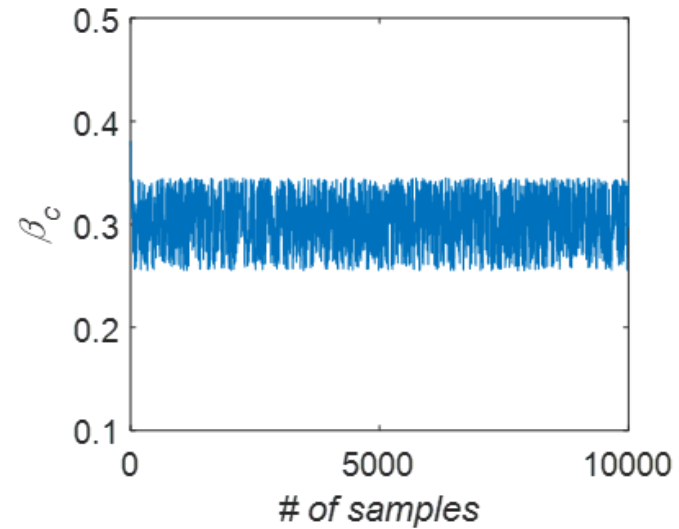
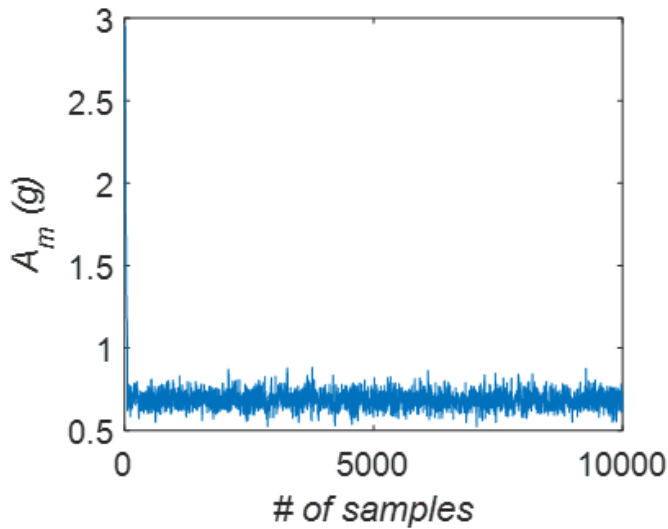
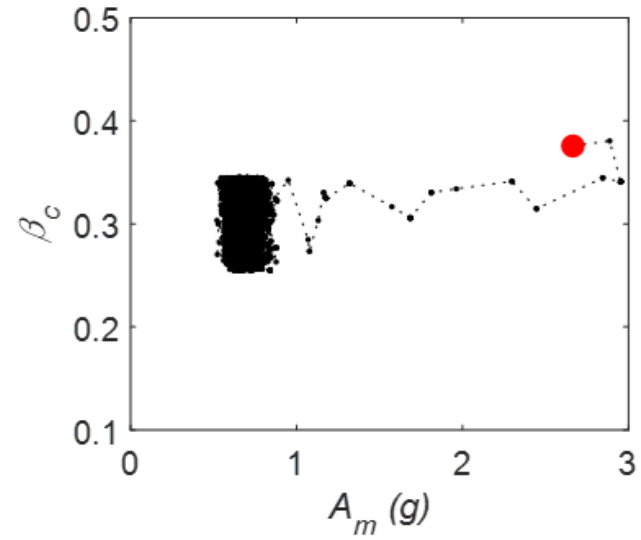
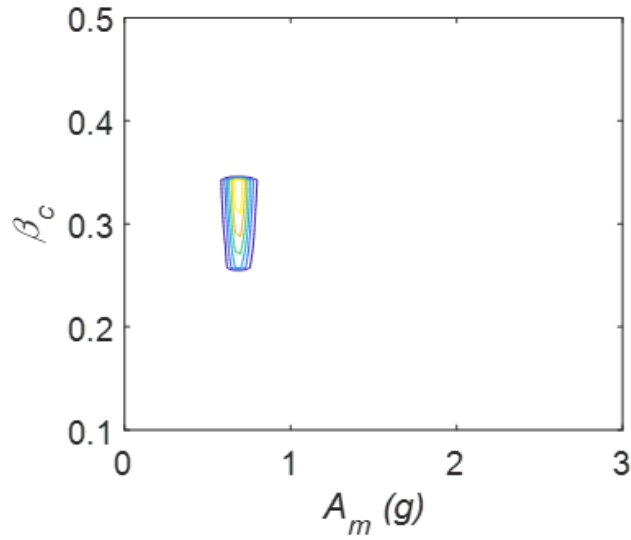


[Test vs. Analysis Results]

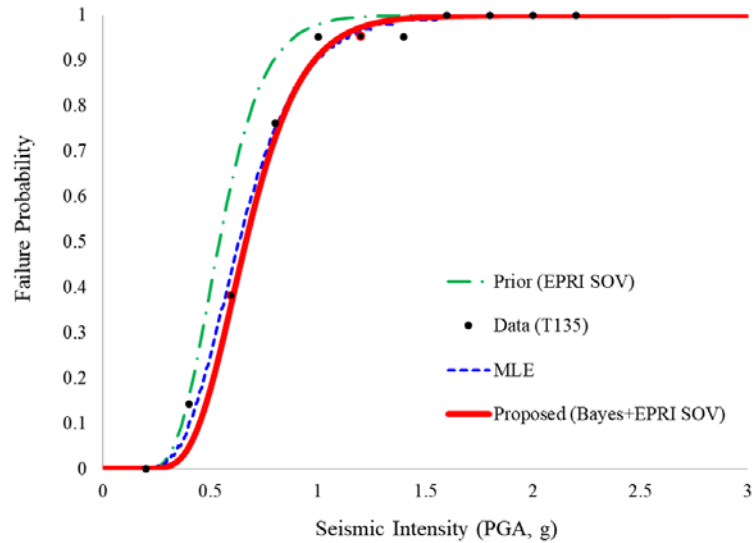
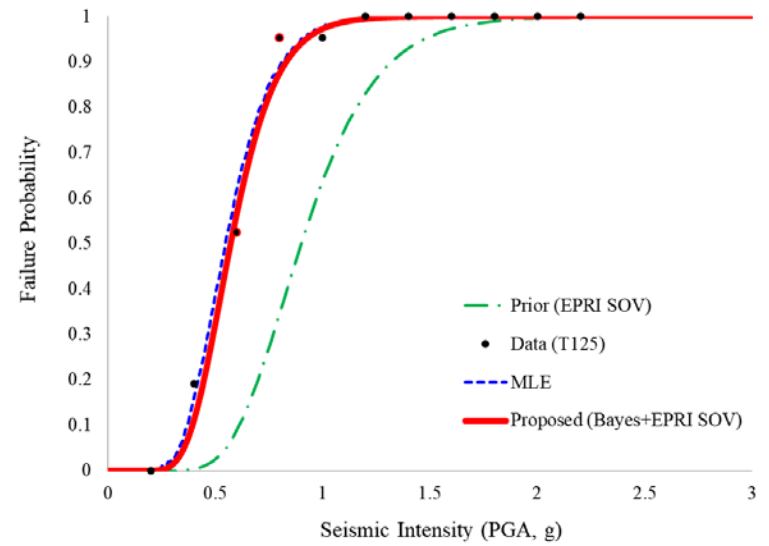
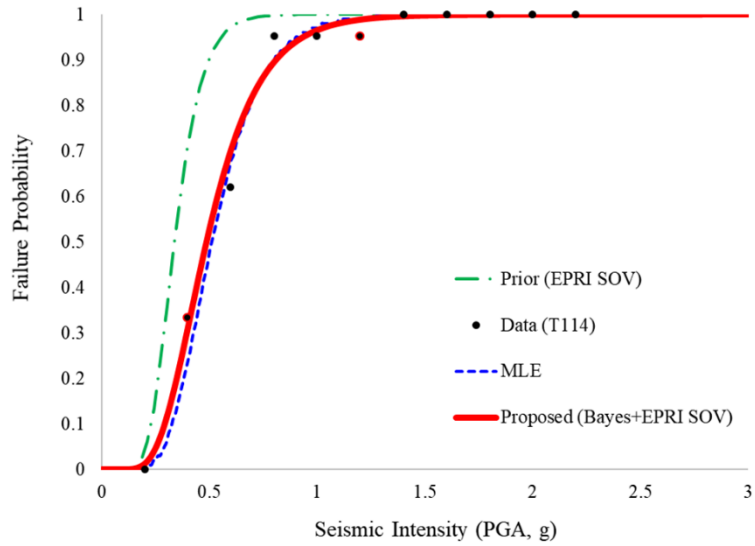
결과



결과



결과



결과

Fragile location	T104		T114		T125		T135	
Method	MLE	Proposed	MLE	Proposed	MLE	Proposed	MLE	Proposed
# of nonlinear seismic analyses	231 (=11*21)	43 (=1+2*21)	231 (=11*21)	43 (=1+2*21)	231 (=11*21)	43 (=1+2*21)	231 (=11*21)	43 (=1+2*21)
R2	0.986	0.984	0.987	0.990	0.990	0.991	0.993	0.994
RMSE	0.045	0.049	0.039	0.033	0.036	0.036	0.030	0.036

결론

- 본 연구에서는 배관시스템의 지진취약도를 효율적으로 산정하는 방법을 제시
 - ✓ 기존의 EPRI SOV 지진취약도방법을 기반으로, 베이지안 업데이트팅 개념을 활용
 - ✓ 이 방법의 효율성은 EPRI SOV 방법을 통하여 prior 배관 지진취약도 분포를 대략적으로 먼저 산정하고, 구해진 prior 분포 및 베이지안 확률개념을 활용하여 정확한 배관 지진취약도 곡선 산출에 필요한 비선형 수치해석 비용을 최소화하는 것
 - ✓ 이러한 접근 방법은 기존 MLE방법과 비교하여 필요한 비선형 지진응답해석의 계산 비용을 줄이면서도, 결과의 정확도를 비슷하게 유지할 수 있게 하는 효율적인 배관 지진취약도 산출 과정을 만들어 주게 됨.
- 연구 활용 및 향후 연구
 - ✓ 본 연구에서 제안한 방법과 관련 연구 결과는 향후 실제 큰 배관시스템의 지진취약도 분석에 효과적인 방법으로 활용 가능
 - ✓ 본 연구에서 제안한 방법을 EPRI SOV 방법 내 하나의 계수로 도출하는 연구로 연계 가능함. 이는 기존 EPRI SOV 방법의 정확도를 높이는데 활용 가능함.