
극한재해 확률론적 안전성 평가 현황과 전망
Current Status and Prospects of PSA for
Extreme Hazards

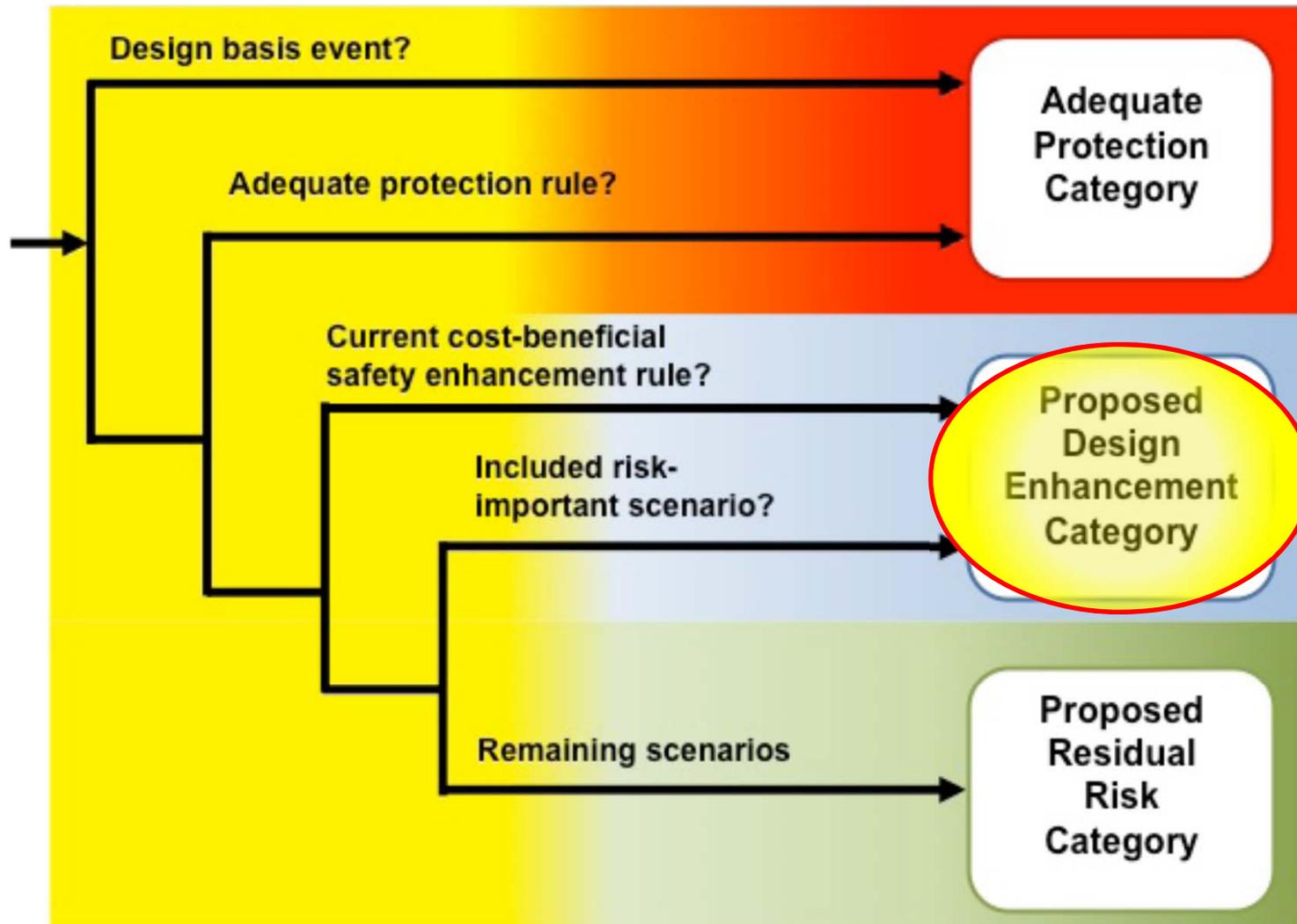
KINGS

임학규 (hklim@kings.ac.kr)

극한재해 - Extreme Hazards

- 정의: 없음
- 미국: SRP/NUREG/CR-5042
 - Externally Initiated Events
 - Internal Fires,
 - High Winds/Tornadoes,
 - External Floods,
 - Transportation Accidents, and
 - Others
 - 설계: 데이터에 근거한 Probable Maximum Intensity 적용
 - Extreme Hazards: 설계기준을 초과하는 재해로 간주
 - Extreme Hazard에 대응하는 (설계)기준 없음
 - PRA 에서 고려
 - External events in PRA = Beyond Design Basis External Events = Extreme Hazards
 - 외부사건 PRA 를 통하여 Extreme Hazards에 의한 리스크평가로 안전성 확인
 - NRC에서는 널리 사용되지 않는 용어.

극한재해 - Extreme Hazards



(from NUREG-2150) 2



Figure 4.2-1 Regulatory Framework for Nuclear Power Reactors

극한재해 - Extreme Hazards

- 한국: 극한재해는 법규에 있는 용어임.
- 사고관리계획서 작성방법에 관한 규정
 - 제11조(극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서)
 1. 기술기준규칙 제85조의19제1항제3호에 따른 대상 외부재해의 선정 및 영향 평가(동일 부지 내 다수기가 동시에 영향을 받을 가능성을 고려할 것)
 - 기술기준규칙 제85조의19(사고관리의 범위) 제1항 제3호
 3. 제13조에 따라 설계기준으로 고려한 외적 요인을 초과하는 자연재해 및 인위적 재해
 - 기술기준규칙 제13조(외적 요인에 관한 설계기준)
 - ① 안전에 중요한 구조물·계통 및 기기는 지진·태풍·홍수·해일 등을 포함한 예상 가능한 자연현상의 영향과 항공기 충돌, 폭발 등을 포함한 예상가능한 외부 인위적 사건의 영향에 의하여 그 안전기능이 손상되지 아니하도록 설계하여야 한다.
 - ② 안전에 중요한 구조물·계통 및 기기에 대한 설계기준에는 다음 각호의 사항을 고려하여야 한다.
 1. 해당 부지 및 인근 지역에서의 역사적 기록을 고려할 때 가장 심한 자연현상과 외부 인위적 사건

극한재해 - Extreme Hazards

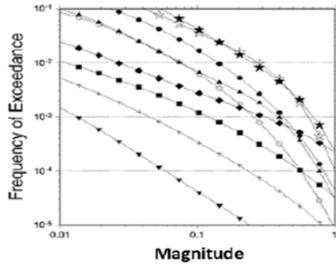
- 설계기준 정의: 원자로시설의 원자력발전소 **수명기간 동안** 예상되는 운전 상태 또는 사건에 대하여 원자로시설의 조건이 규정된 제한치를 **초과하지 아니하도록 설정하는 기준**으로서 원자로시설에 설치되는 설비들의 설계시 고려하여야 하는 **최소한의 기능 또는 성능에 관한 기준**을 말한다.
- 외적요인에 대한 설계기준
 - 역사적 기록: 최대 수백 년
 - 즉, 수백 년에 한 번 발생할 수 있는 최대 규모(Intensity)
- 수명기간 중 설계기준사고 발생확률
 - 원전수명: 60년
 - 발생빈도: 1/10000년 → 0.0060
1/1000년 → 0.058
1/500년 → 0.11
1/100년 → 0.45

$$P = 1 - P(X = 0) = 1 - (0.001)^{60} e^{-0.001 \cdot 60} / 0! = 1 - 0.9417$$

극한재해 PSA – 지진 PSA와 동일

(from NRC website)

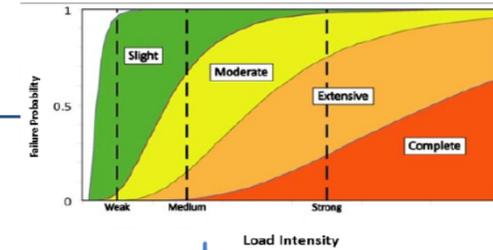
$L_1(\bar{x}, t)$ $L_2(\bar{x}, t)$... $L_N(\bar{x}, t)$



Hazard Curves :
Quantitative probabilistic assessment
of flood hazard(s)

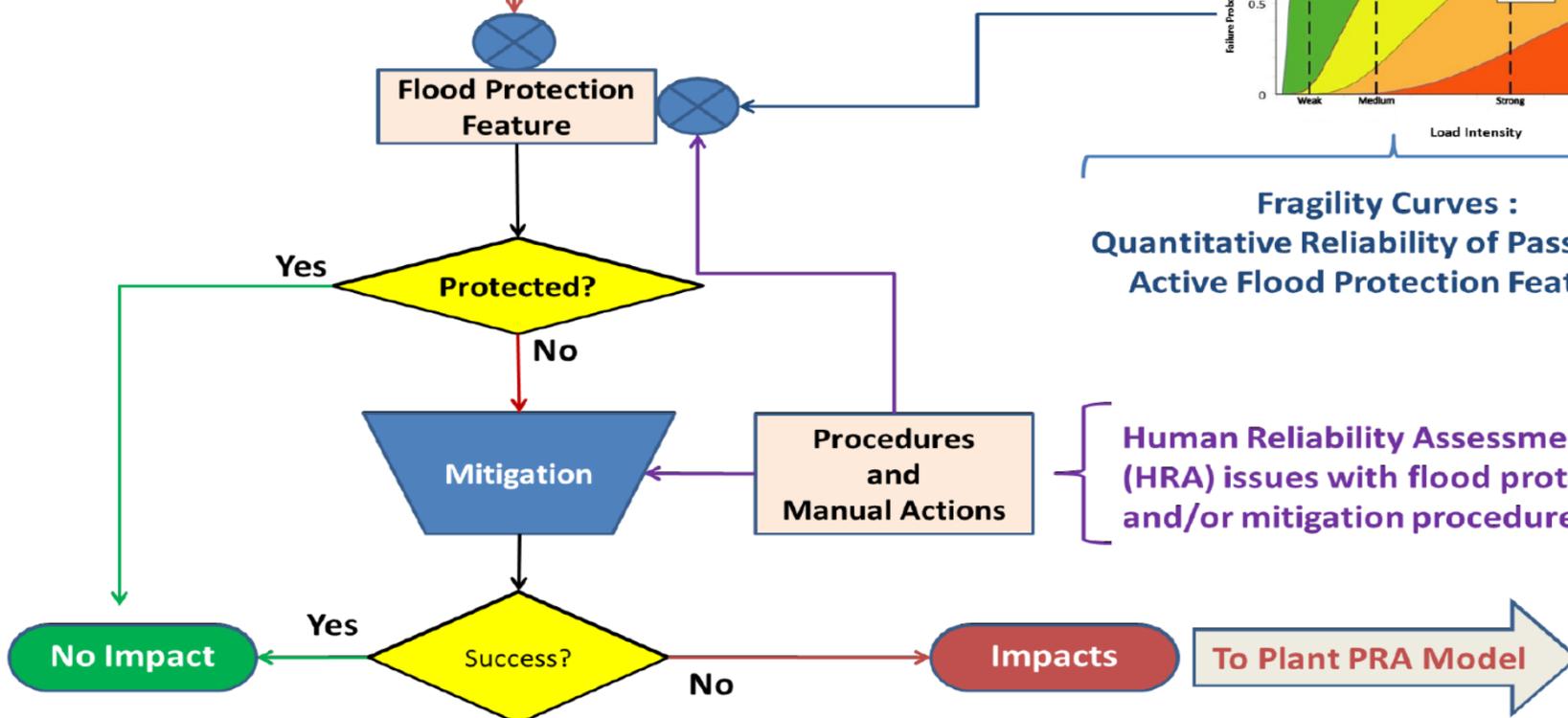
Fr_1 Fr_2 ... Fr_N

Fragility



Fragility Curves :
Quantitative Reliability of Passive and
Active Flood Protection Features

Hazard



Human Reliability Assessment (HRA) issues with flood protection and/or mitigation procedures

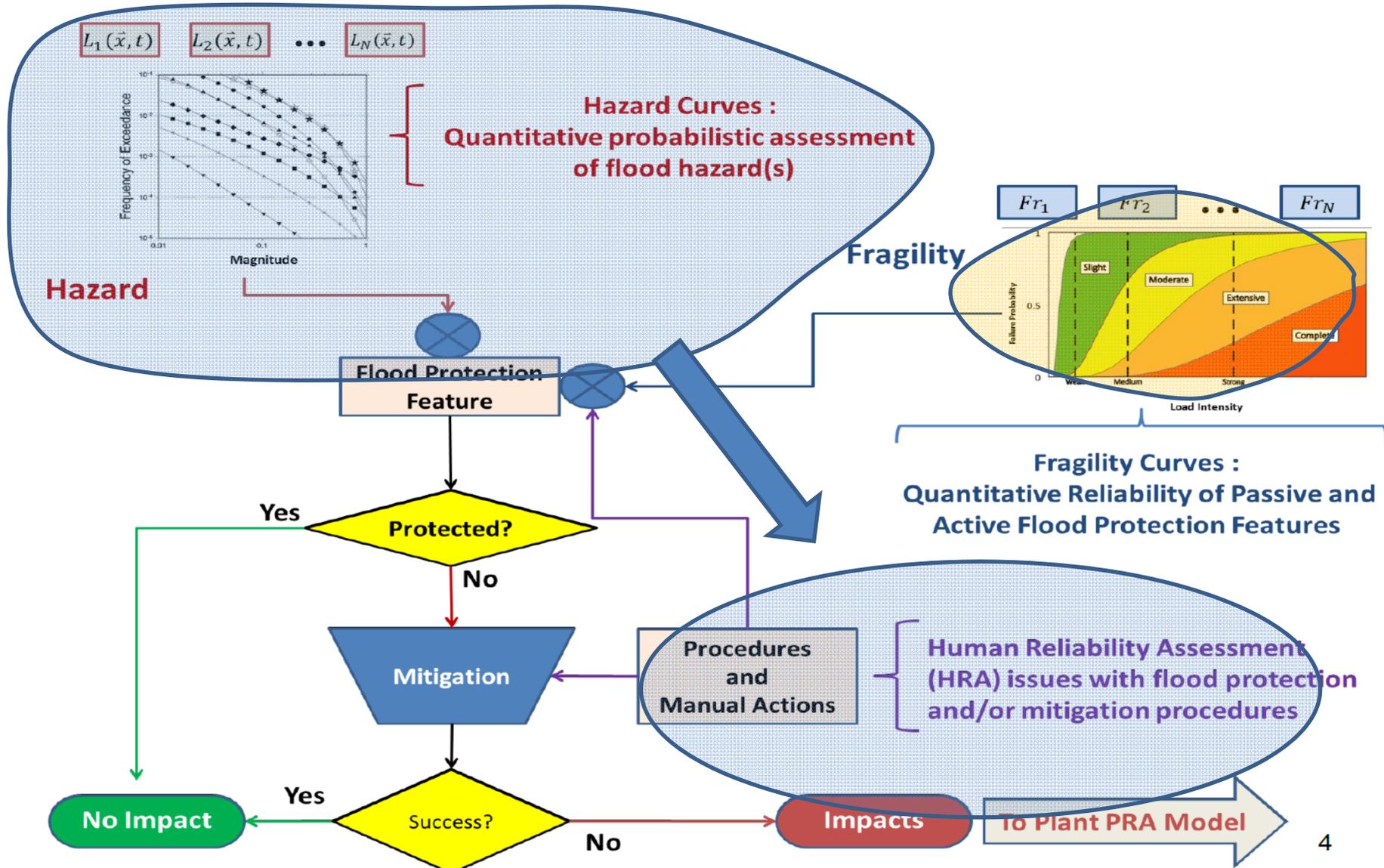
극한재해 PSA 현안 - 단일호기

- 확률론적재해도분석
 - PSHA, PTHA, PFHA, : P\$HA
- 취약도분석
 - 재해규모에 따른 기기/구조물 고장확률
 - Seismic Fragility, Flooding Fragility, ...
- PSA 모델링
 - 재해유발 고장사건 + 무작위 고장사건
 - 극한재해에 따른 인간오류확률
- PSA 모델 정량화

극한재해 PSA 현안 - 다수기

- 재해에 의한 다수기 동시 영향
 - 기기/구조물 취약도 상관성
- 재해상황에서 다수기 상호간 사고대응 영향
 - 기기 가용성
 - 다수기 영향을 고려한 인간오류확률
- PSA 모델링
 - 다수기 사고경위 조합
- CDF로 리스크를 대표하기 어려움
 - 1개 호기 이상의 사고 조합 - 방출시점 및 방출량
 - 리스크평가를 위하여 Level 3 PSA 필요

극한재해 리스크의 불확실성



극한재해의 불확실성

- 재해의 규모가 커질수록 불확실성이 커짐
 - 평가된 극한값보다 더 큰 값이 발생할 가능성은?

예) 지진규모

- 학문적으로는 규모 6.9 이상은 발생하지 않을 것이라는 이해
- 사회적으로는 규모 7.5까지는 고려해야 한다는 요구

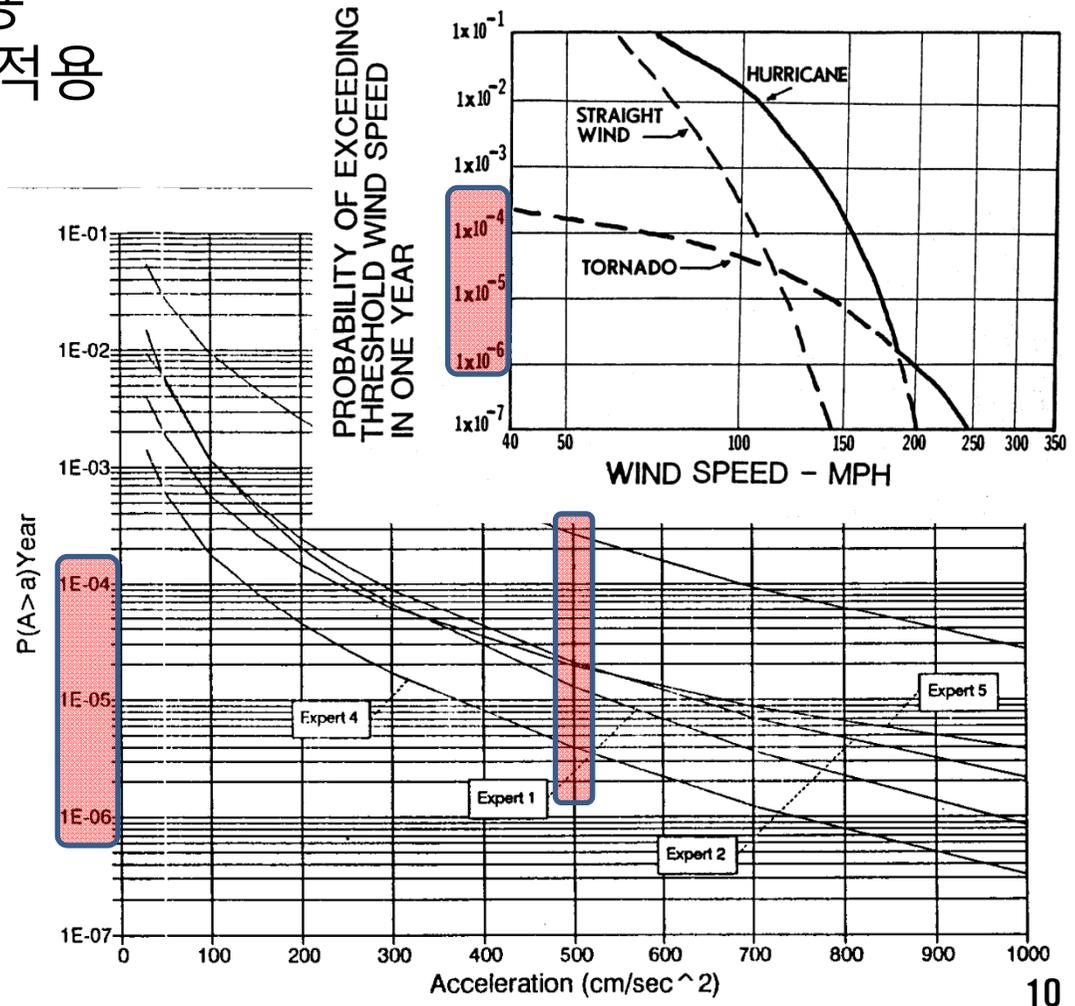
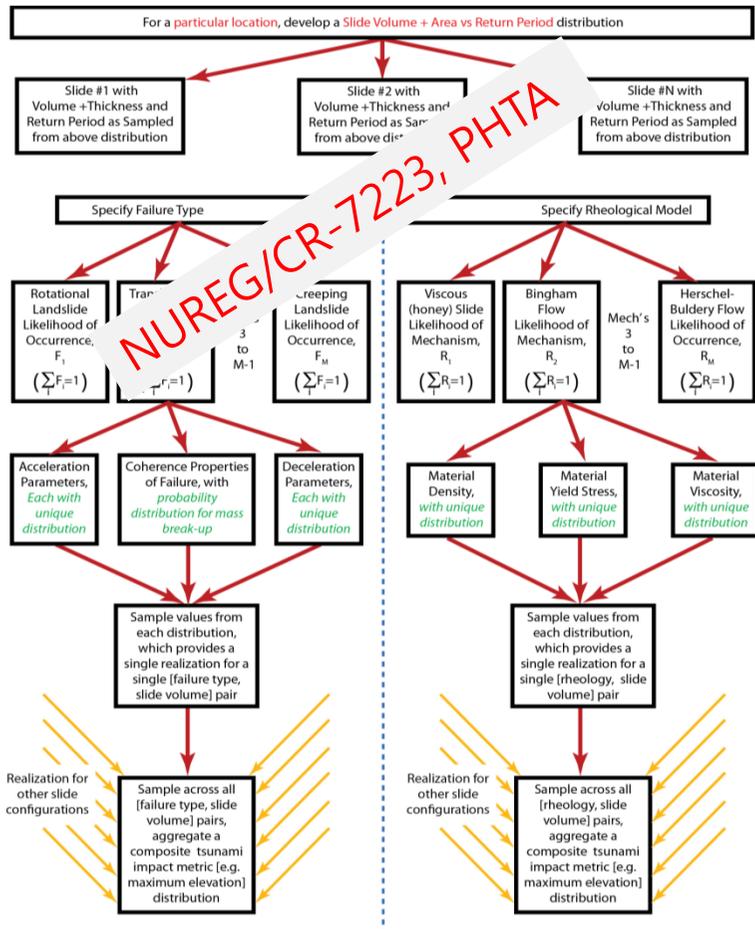
예) 동일본대지진

- 후쿠시마원전: 불확실성을 고려하여 보완조치 미수행
- 오나가와원전: 불확실성에도 불구하고 보완조치 수행

(from 원안위 56회 회의 중 논의내용)

확률론적재해도의 불확실성

- 확률론적재해도분석의 기초자료
 - 다양한 연구결과 활용
 - 다양한 물리적 모델 적용



극한재해 대응

- 극한재해 발생 이전 대응
 - 지진 vs. 태풍
 - 불시 발생 vs. 경보 후 발생
 - 지진은 예고할 수가 없고, 슈퍼태풍이나 산불 등은 원전 부지에 도달하기 이전에 수동으로 원자로 정지 가능
 - 경보설정 조건: 시간적 여유 (from 원안위 56회 회의 중 논의내용)
 - 경보 후 조치: 조치 효과성 및 시현성
 - 부지 대응조치에 따른 파급효과: 1~2기 수준이 아닌 경우
- 극한재해 발생 이후 대응
 - 극한재해의 규모에 따라 대응 성공 가능성에 영향
 - 절차서/지침서의 유용성
 - 일반상황에 대한 이해 vs. 직접적 경험

극한재해 취약도분석

- 극한재해 취약도분석 방법론
 - 극한재해 하중에 대한 건전성 평가
 - 일반적으로 설계자료는 하중에 대한 성공을 입증
 - 고장확률을 평가하기 위한 고유 분석방법론 필요
 - 단순 선별분석 방법론 필요
- (동일) 극한재해 하중이 부과되는 기기간 고장 상관성
 - 취약도분석 방법론의 한계
- 일반적으로 보수적 분석 방향성
 - 예) 지진, 태풍, ...
 - 다수기의 경우, 보수적인 상관성을 적용하면 유용한 결과도출
곤란

NRC's Concerns for External Hazards

(NUREG-2150)

- PRA methods for assessing external hazard risks are available, but expertise in performing such studies is very limited.
- Uncertainty analyses and the recognition of the limitations of available scientific knowledge are a key element of these methods.
- The NRC should reassess methods used to estimate the frequency and magnitude of external hazards and implement a consistent process that includes both deterministic and PRA methods.
- The NRC should establish a program to systematically collect, evaluate, and communicate external hazard information.

극한재해 PSA

- 국내 연구환경에서 가용한 결과
 - 사고시나리오
 - 사고대응에 필요한 (주요) SSC
 - 사고대응에 필요한 운전원조치
 - 극한재해 리스크의 불확실성 범위
- 활용분야
 - 훈련 및 교육 시나리오 개발
 - 주요 기기 내력 점검 및 보강
 - 극한재해 리스크의 상대적 이해
- 활용 불가분야
 - 정량적 리스크가 기준이 되는 의사결정
 - 결말의 규모추정

다수기 지진 PSA

- 극한재해에 대한 접근 방법
 - PSA 방법론이 타당함
- 규제자와 사업자 각기 연구 중
 - 연구목적
 - 규제자는 다수기 리스크 규제방법론 개발
 - 1단계 (~2019): 부지 리스크 분석(SRA) 검증기술개발 및 다수기 원전 안전지표 도출
 - 2단계 (~2021):SRA 검증체계 고도화 및 다수기 원전 심사요건 개발
 - 사업자는 다수기 리스크 (시범) 평가
 - 2020년 규제기관에 제출
 - 현재 가용한 기술정보에 근거
 - 단일호기 PSA 경험 및 결과 활용

감사합니다.