
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

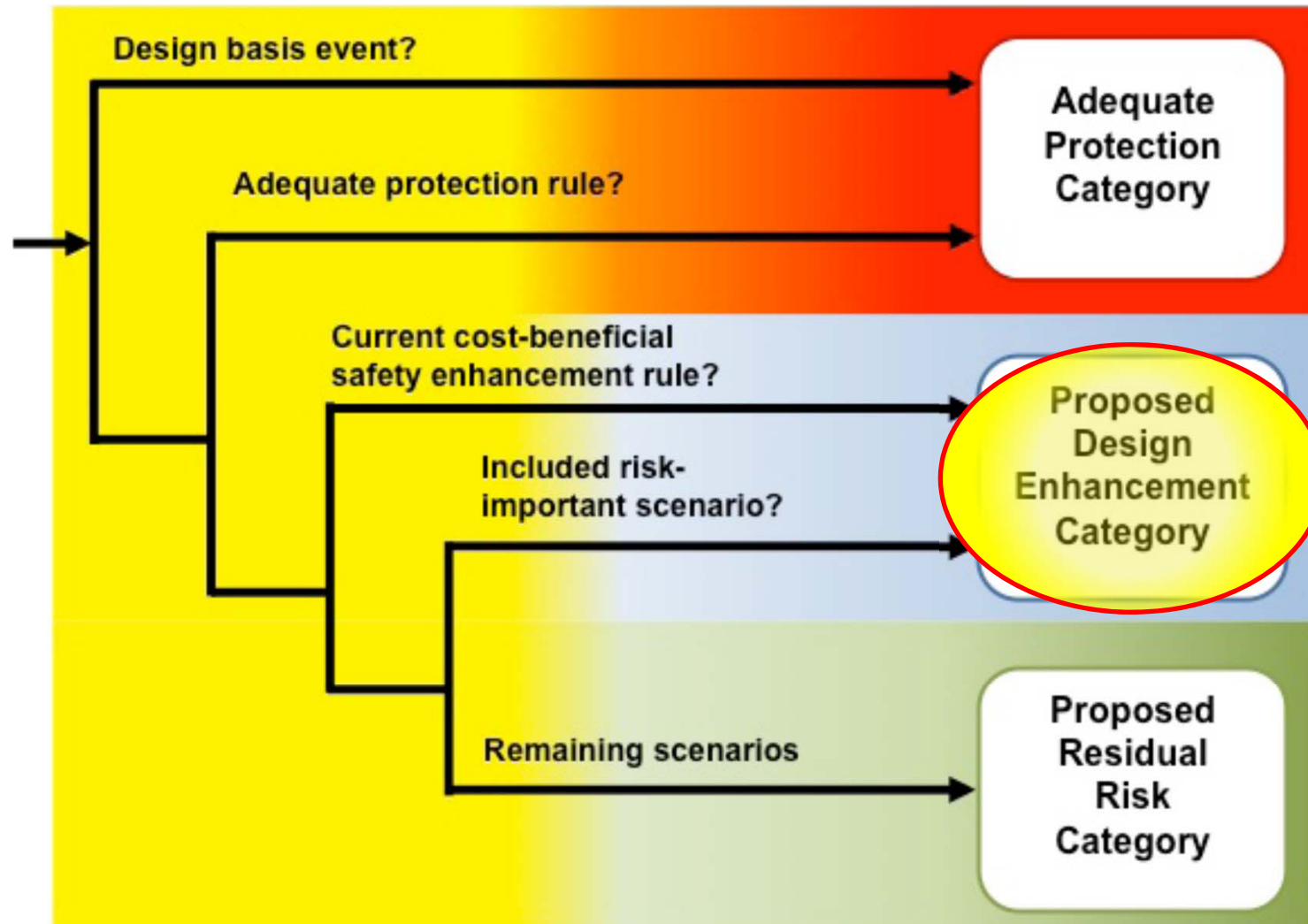


Figure 4.2-1 Regulatory Framework for Nuclear Power Reactors (from NUREG-2150) 2

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

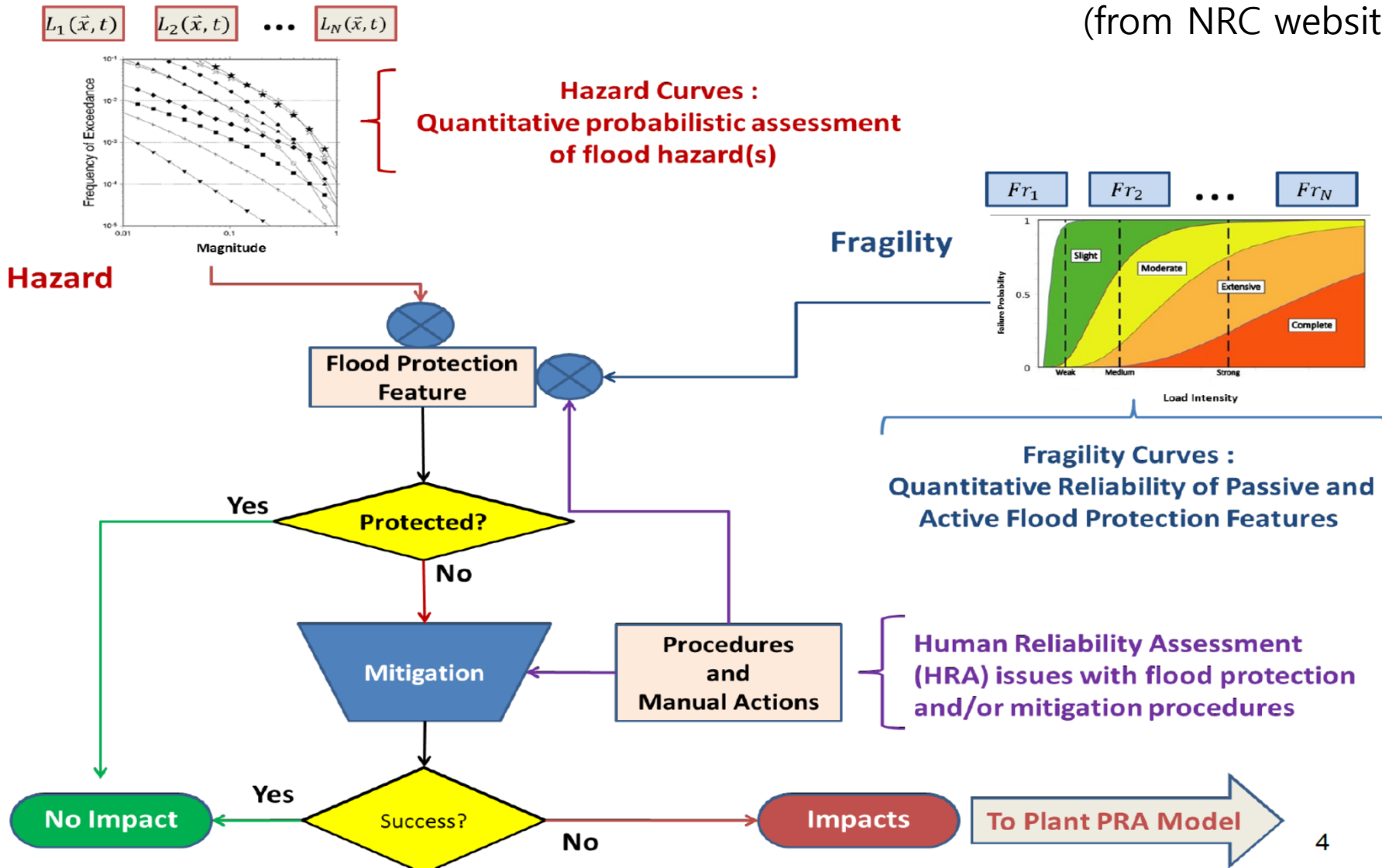
극한재해 - Extreme Hazards

- 설계기준 정의: 원자로시설의 원자력발전소 수명기간 동안 예상되는 운전 상태 또는 사건에 대하여 원자로시설의 조건이 규정된 제한치를 초과하지 아니하도록 설정하는 기준으로서 원자로시설에 설치되는 설비들의 설계시 고려하여야 하는 최소한의 기능 또는 성능에 관한 기준을 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)



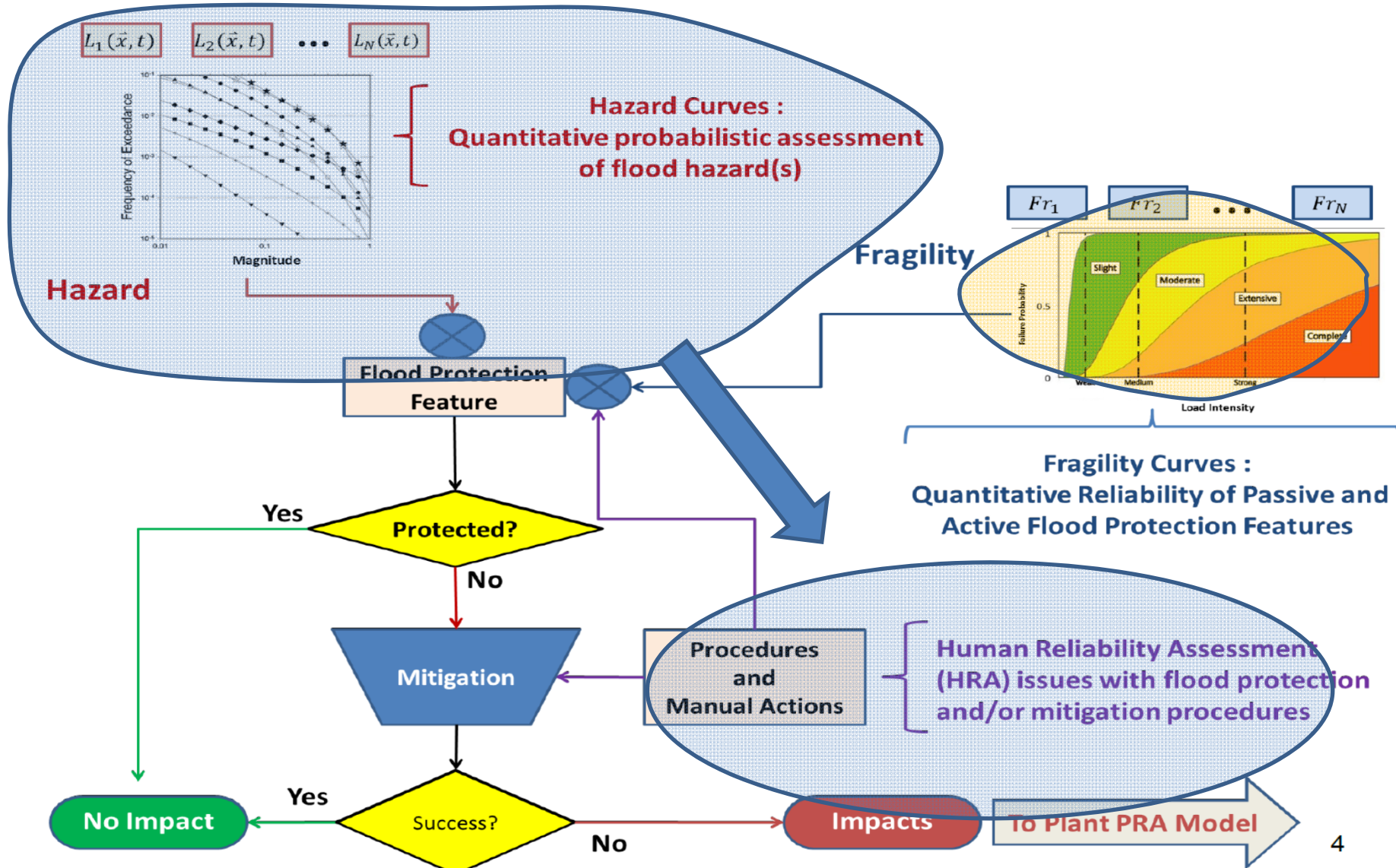
극한재해 PSA 현안 - 단일호기

- 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 7.5 까지는 고려해야 한다는 요구

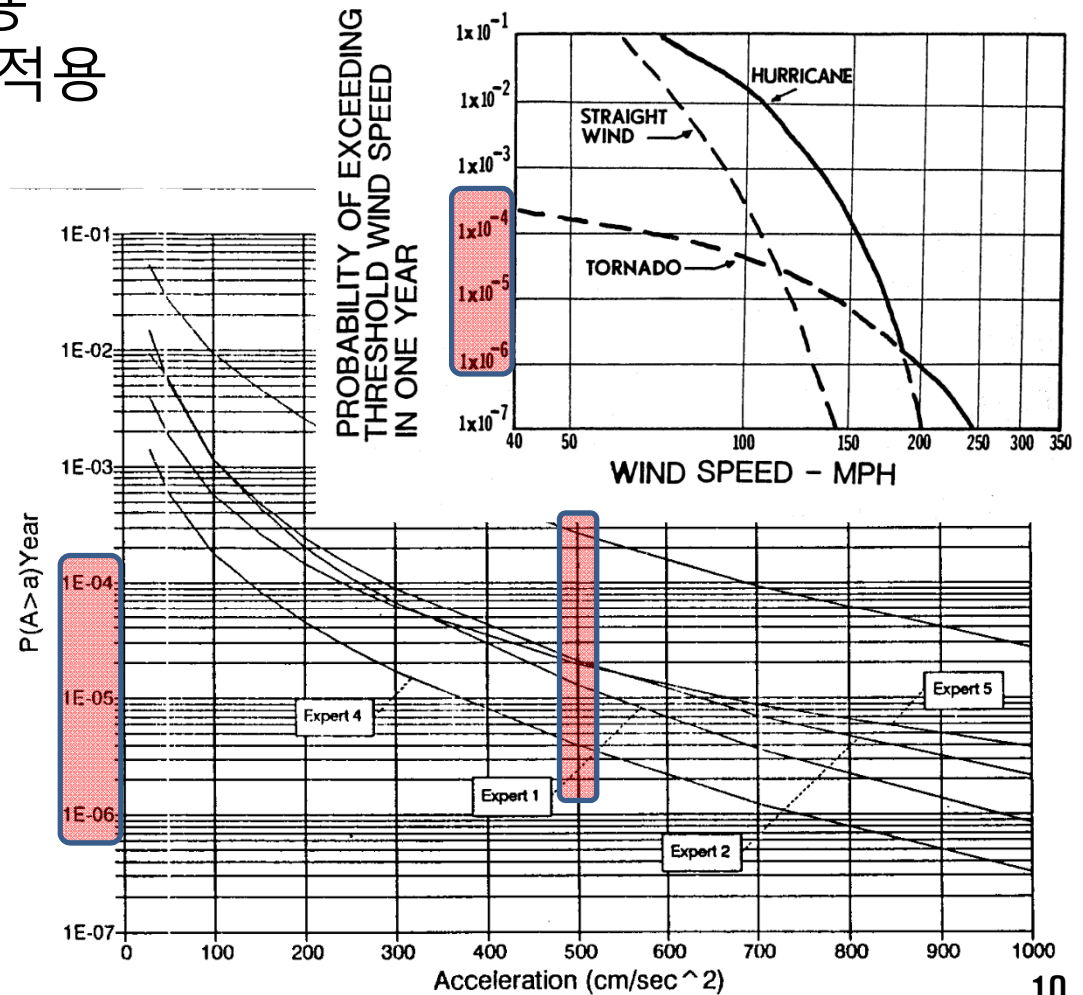
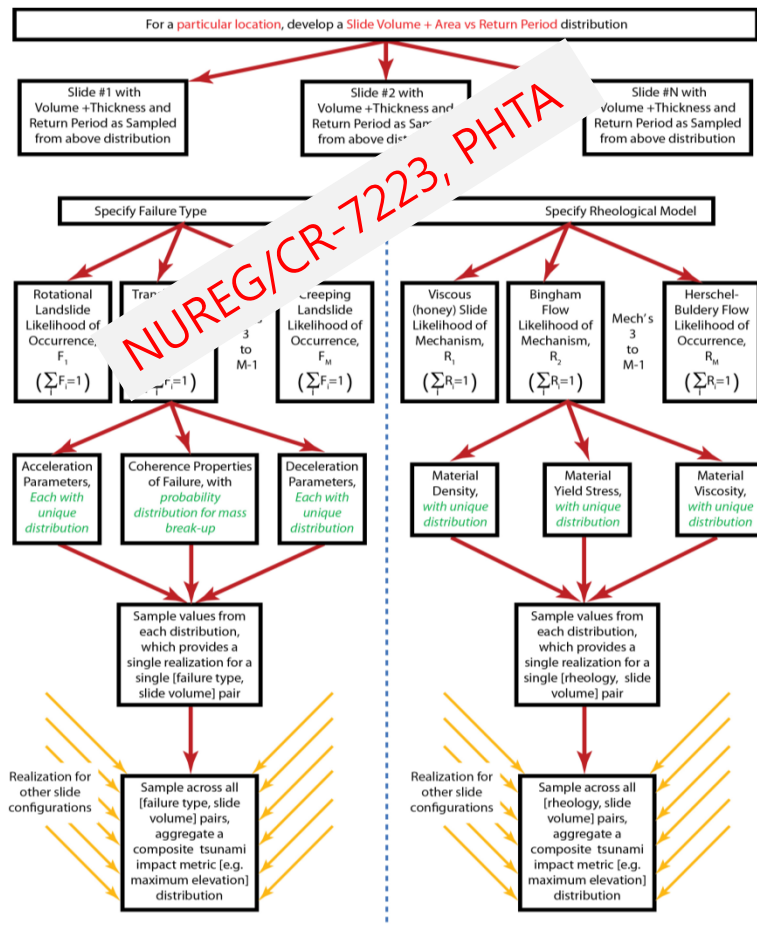
예) 동일본대지진

- 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.