

결정론적 에너지  
확률론적 미래

# 결정론적 중대사고 분석과 확률론적 중대사고 분석 연계 현안

-중대사고 관리능력 확보를 위한 조화로운 접근-

2018. 10.

서 미 로

(mrseo9710@khnp.co.kr)

 한국수력원자력주  
중앙연구원



# 목 차

## I. 배경

## II. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 특징

## III. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 연계 현안

## IV. 결론



### ◆ 사고관리계획서 이전 중대사고 DSA/PSA 연계는 제한적

#### ➤ 활용영역 제한에 따른 연계 필요성 제한적

: PSA는 건설원전 운영허가 심사 요건 – Level 2 PSA 부분

: DSA는 APR1400이후 건설원전 운영허가 심사요건으로 중대사고 종합분석 수행 (이전 원전은 SAMG 개발시 수행)

#### ➤ 평가 관점의 차이에 따른 연계 필요성 제한

: PSA는 초기사건 및 계통 운전 가능성을 확률적으로 평가하여 다양한 사고경위에 대한 노심손상 및 격납건물 파손빈도 계산

: DSA는 사고 조건 및 계통 운전을 설계에 기반하여 보수적으로 가정한 후 안전성 판단

## 사고관리계획서에서 DSA/PSA와의 연계 요구 강화

AMP 대상 사고경위 선정에서 DSA/PSA 측면 사고경위 요구  
중대사고 완화능력평가 결과에 대한 PSA 피드백 요구

## II. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 특징

GLOBAL TOP  
한수원 중앙연구원

### ◆ 결정론적 안전성 평가 vs 확률론적 안전성 평가

구분	결정론적 안전성평가	확률론적 안전성평가
분석목적	사고시 노심 냉각 회복 및 부지선정 기준을 만족하는 계통 설계	사고발생 가능성과 계통 가용성을 고려한 발전소 안전성 평가
분석대상	공학적 판단에 의해 선정된 설계기준사고	선별조건을 만족하는 모든 초기사건에 의한 사고
가정방법	보수적 공학적 판단에 의한 가정 (Single Failure Criteria)	통계에 의한 가정 (Multiple Failure 고려)
분석요소	노심, 격납건물 관련 안전 계통	안전 및 안전 보조계통
사고관리 활용성	설계 및 안전기준	운영 및 훈련 등 다방면으로 Feedback
특징	과도한 보수성 / 특정 주제에 집중 / 제한된 가정으로 실제 상황 반영 어려움	확률 통계적 기법 / 종합적인 분석 / 분석대상별 모델링 수준 균일화 필요
Focus	Criteria / 절대적 [기준 만족여부]	Insight / 상대적 [우선 순위]



## II. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 특징

GLOBAL TOP  
한수원 중앙연구원

### ◆ 결정론적 안전성 평가 → AMP 중대사고 완화능력 평가

구분	결정론적 안전성평가	중대사고 완화능력 평가
분석목적	사고시 노심 냉각 회복 및 부지 선정 기준을 만족하는 계통 설계	중대사고시 격납건물 건전성 확인 및 선량 안전목표 만족
분석대상	공학적 판단에 의해 선정된 설계기준사고	DSA & PSA 측면 주요사고 격납건물 위협 요소에 대한 평가
가정방법	보수적 공학적 판단에 의한 가정 (Single Failure Criteria)	Multiple Failure 기반 DSA : 보수적 가정 + 사고관리전략 PSA : 확률 기반 경위 + 사고관리전략
분석요소	노심, 격납건물 관련 안전 계통	격납건물(SAMG+MACST)
사고관리 활용성	설계 및 안전기준	통합 사고관리전략의 중대사고완화 전략 유효성 확보
Focus	Criteria / 절대적 (기준 만족여부)	안전목표 / 사고관리전략 유효성 안전성 강화방안

## II. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 특징

GLOBAL TOP  
한수원 중앙연구원

### ◆ 확률론적 안전성 평가에서의 결정론적 중대사고 평가

#### ➤ Level 1

- : 성공기준 분석은 안전해석 (열수력분석) 영역
- : 계통 운전 가용성에 따른 노심손상 평가

#### ➤ Level 2

- : PDS 정보를 이용하여 격납건물내 주요 중대사고 현상 진행 분석
- : DET 확률분기 값을 결정하는 중대사고 현상 분석 판단 근거
- : 다만, 확률분기 값 결정시 상당한 실험, 분석 결과 등이 필요
- : 현재는 전문가 협의체 결정값 사용(NUREG-1150)

#### ➤ Level 3

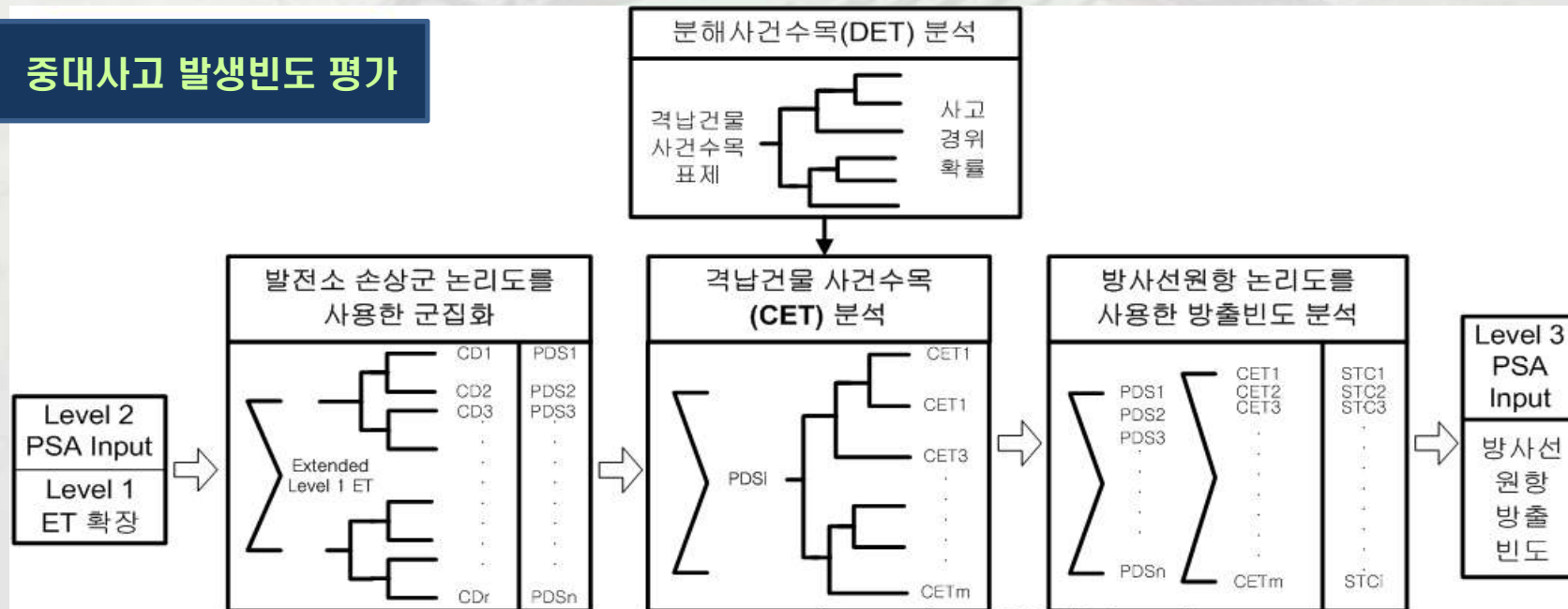
- : 방출군별 격납건물 손상유형에 따른 FP 방출분을 제공

## II. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 특징

GLOBAL TOP  
한수원 중앙연구원

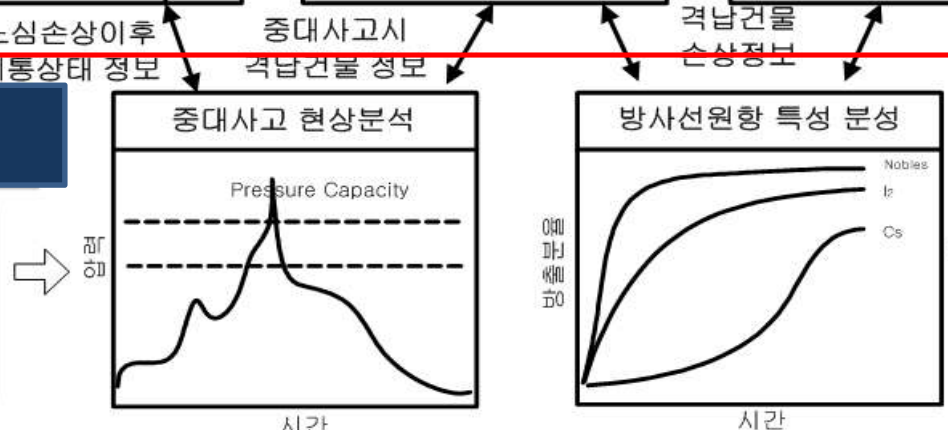
### ◆ Level 2 PSA 구성

#### 중대사고 발생빈도 평가



#### 중대사고 현상 평가

MAAP 코드 수행준비  
Parameter File  
: 발전소 설계자료, 구조  
Input File  
: 특정 사고조건



Level 3 PSA Input  
핵종별  
방사선 원향  
방출질량  
/방출특성

### III. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 연계 현안

GLOBAL TOP  
한수원 중앙연구원

#### ◆ 결정론적 분석에 확률론적 중대사고 분석 연계

##### ➤ 분석 대상 사고 경위 선정에 활용

- CDF 및 CFP에 중요한 분석 대상 사고 경위 선정에 효과적
- 과도한 보수성을 제거하고 실제적(actual)에 근접한 결정론적 분석 가능
- 핵심적 사고경위 파악 가능으로 효과적인 중대사고관리전략 수립 가능

##### ➤ 확률론적 분석방법의 특성 (기본 가정) 이해 필요

- 확률론적 방법은 종합적인 평가에 Focusing : **Risk Ranking**에 대한 이해 필요
- 안전계통의 운전실패 **가능성**에 대한 인식
- 확률론적 분석방법의 기본 가정은 확률 (DB분석)
- 그룹화 논리에 대한 이해 필요 (Level 2 PSA 대표사건 분석 등)

## 현안

다수의 사고경위에 대한 결정론적 분석 한계  
결정론적 분석 방법론의 불확실성에 대한 고민 필요



### III. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 연계 현안

GLOBAL TOP  
한수원 중앙연구원

#### ◆ 확률론적 분석에 결정론적 중대사고 분석 연계

##### ➤ 격납건물 손상 및 FP 방출 평가

- 노심손상 이후 격납건물 내부 거동에 대한 CET 분기 확률값 결정(DET)
- 격납건물 손상 분기 결정
- STC별 FP 방출분을 제공 가능

##### ➤ 결정론적 분석방법의 특성 (기본 가정) 이해 필요

- 결정론적 분석은 하나의 현상에 Focusing (Safety Margin에 대한 이해 필요)
- 안전계통의 운전실패 **가정**에 대한 인식 (가정은 하지만 가능성은 배제)
- 결정론적 분석방법의 기본 가정은 현상 [실험]
- 대표값이 갖는 영역(불확실성 영역)에 대한 이해 필요

## 현안

결정론적 분석결과를 확률론적 방법에 적용하기 위한 선결조건

Rare Event or Special CET에 해당하는 사건에 대한 결정론적 분석 방법론 고민 필요

### III. 결정론적/확률론적 중대사고 분석 연계 현안

GLOBAL TOP  
한수원 중앙연구원

#### ◆ AMP에서의 결정론적/확률론적 중대사고 분석 연계 현안

##### ➤ 중대사고 완화능력평가 사고관리 대상 선정

- 격납건물 주요 위협인자 외 PSA 누적 CDF 90% 이상 사고경위 포함
- 특정 현상에 대하여 발생가능성(초기사건 빈도? CDF 기여도?)이 현저하게 낮을 경우 분석 제외 가능
- Rare Event, Special CET에 해당하는 사건에 대한 결정론적 분석 제한 사항

##### ➤ SAMG/MOG 반영

- PSA 모델 운전원 조치에 대한 신뢰도 반영 방법
- 결정론적 분석에서 MACST 설비 가용성

##### ➤ 중대사고 완화능력평가의 Level 2 PSA Feedback에 대한 고민 필요

- PSA 모델 원칙 : As Built, As Operated, As Maintanenced
- 안전성평가 선순환 체계에 대한 고민 필요  
: 결정론적 분석→설계 확정→PSA 모델 구축→PSA 평가→설비개선→개선안에 대한 결정론적 분석→설계 확정→PSA 모델 개정

##### ➤ AMP에서 DSA/PSA 연계 목적에 대한 고민 필요 : 보수적 vs. 실제적

- 중대사고완화능력 평가/ PSA 안전목표 평가는 선량평가

- ◆ 결정론적/확률론적 분석 연계의 시작
  - 방법론 차이에 대한 이해 < 관점(Viewpoint)차이에 대한 이해
- ◆ 현 단계 방법론적 연계의 명확한 한계 인식 및 점진적 접근
  - DSA-PSA 연계점 및 연계 해제점 규정
  - 단계적 순차적 연계방법 구상 필요
  - 기술적 한계 <→ State of the art에 대한 고려
- ◆ 상호간 장단점에 대한 소통으로 Win-Win 접근방법 고민



# 감사합니다.

친환경 에너지 기업



한국수력원자력주