

# 중대사고 현안해결 로드맵 작성 특별 위원회 활동개요

**위 원 장:** 김 군 태 (KINS)

**총괄간사:** 하 광 순 (KAERI), 이윤희(KINS)

## » 중대사고 현상규명 및 대처체계 구축 로드맵 작성 특별위원회

### ○ 경위:

- 후쿠시마 원전 사고 이후 국가 차원의 "중대사고 현상규명 및 대처체계 구축을 위한 연구 로드맵"의 필요에 따라 원자력 학회 차원의 특별 위원회 구성 및 활동을 의결 (2015.04 월 KNS 이사회)

○ 목적: 중대사고 현상에 대한 PIRT 작성 및 산-학-연 분야의 장단기 연구 과제(안) 도출

○ 기간: 2015. 3. 1 ~ 2016. 8. 28 (18개월)

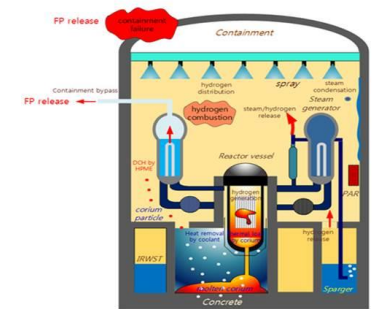
### ○ 구성

- 위원장: 류용호(한국원자력안전기술원), 부위원장: 송진호(한국원자력연구원)
- 일차계통 방호(19명), 격납건물 방호(20명), 핵분열생성물거동(15명)

○ 성과물: 중대사고 현상규명 및 대처체계 구축 로드맵 보고서, 2016. 8

- 중대사고 현상규명 및 대처체계 구축 로드맵 보고서 (제 1권 일차계통방호분야)
- 중대사고 현상규명 및 대처체계 구축 로드맵 보고서 (제 2권 격납건물방호분야)
- 중대사고 현상규명 및 대처체계 구축 로드맵 보고서 (제 3권 핵분열생성물거동분야)

### 중대사고 현상규명 및 대처체계 구축 로드맵 보고서



2016. 8

중대사고현상규명및대처체계구축로드맵작성특별위원회

2015년

## » 가동 원전 (PWR, PHWR) 중대사고 대처 능력 향상

- 국내 외 중대사고 관리전략 법제화 (2016)
- 인구 밀집 지역의 다수기 및 장기가동 원전의 대중 수용성
- 국제안전협약 방사성물질 방출 제한 구체화

## » SMART 원자로 수출

- 한-사우디 협력, 2018 예비 검토, 이후 시범 건설 중대사고 해석 기술 국산화 필요

## » 미래원전(SFR 중대사고 쟁점)

- 2018 실증로 표준설계, 2022 건설 허가
- 소듐/격납건물 내 방사성 물질 거동
- 냉각성능 확보/재임계 방지

## » 아시아 지역 리더쉽 유지

- 국제 수준 원천기술 (독자 코드, 실증실험) 개발 요구

2021년

## » 가동 원전 (PWR, PHWR) 중대사고 대처 능력 향상

- 국내 외 중대사고 관리전략 법제화, 사고관리계획서 제출
- 원전 안전에 관한 대중 수용성
- 방사성물질 방출에 대한 최적 평가

## » i-SMR 개발 추진

- 혁신 소형 원전 설계에 따른 중대사고 쟁점?

## » 미래원전(SFR 중대사고 쟁점)

- 미래 원전에서의 중대사고 쟁점?

## » 아시아 지역 리더쉽 유지

- 국제 수준의 중대사고 평가기술 지속적 확보



## » 특별 위원회 구성

○ 명칭: 중대사고 현안해결 로드맵 작성 특별위원회(한국원자력학회 안전연구부회)

○ 목적:

- 2016년에 한국원자력학회에서 발간한 「중대사고 현상규명 및 대처체계 구축 로드맵 보고서」를 토대로,
- 그동안의 연구 성과와 동향을 정리하여 반영하고 현시점에서 향후 전망과 제안을 제시하기 위한
- 중대사고 현안해결 로드맵 작성

○ 기간: 2021. 9. 1 ~ 2022. 5. 31 (10개월)

○ 구성

	분과장	간사	전문가
총괄(위원장)	김균태(KINS)	하광순(KAERI), 이윤희(KINS)	자문: 류용호, 송진호
일차계통 거동	배준호(KAERI)	임국희(KINS)	강준영, 김동하, 김병조, 김상백, 김상호, 박래준, 박재환, 손동건, 안광일, 안상모, 이윤희, 정범진, 정용훈, 정재훈, 조용진, 최유정
격납건물 거동	김성중(한양대)	나영수(KAERI)	김병조, 김응수, 김종태, 김형대, 박동민, 박래준, 박진성, 박창환, 박현선, 방광현, 신상우, 신태영, 이연건, 정용훈, 조성민, 최유정, 홍성완
핵분열생성물 거동	윤종일(KAIST)	김성일(KAERI)	김태형, 김한철, 박병기, 서미로, 손동건, 송용만, 연제원, 이두용, 이윤희, 이준엽, 조창석

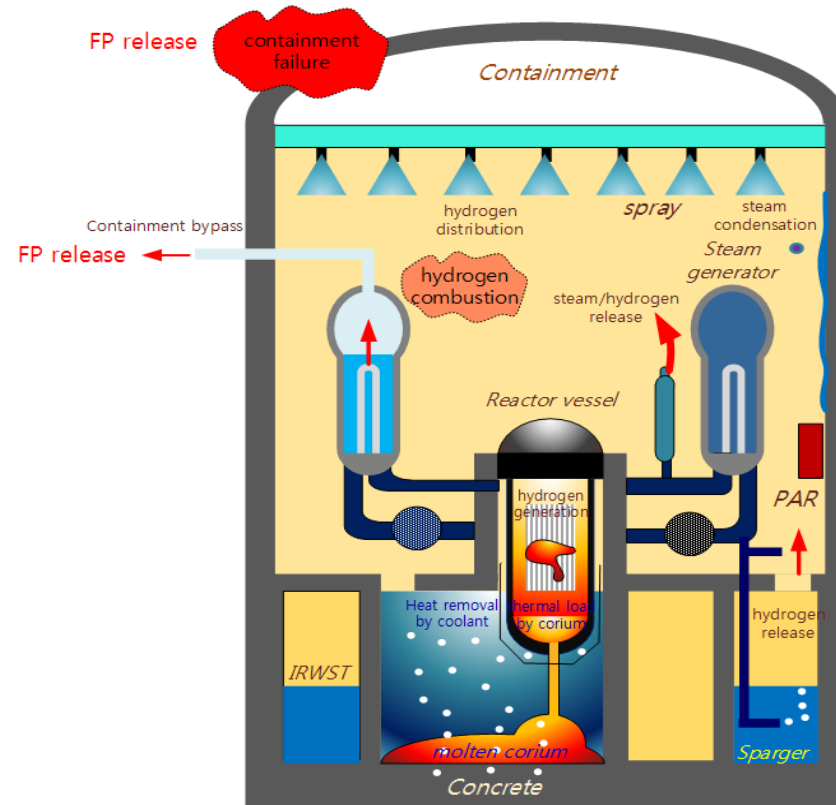
## » 경과

- 제254차 이사회 승인, 2021. 08. 27
- 1차 회의(사전회의): 2021. 8. 3, 추진 방안, 특별위원회 운영 방안, 특별위원회의 향후 수행 방안
- 2차 회의: 2021. 9. 3, 연구 현황 조사 취합본 검토, 작성 방향, 추계 KNS 학술대회 워크숍 프로그램
- 3차 회의: 2021. 10. 1, 연구 수행현황 조사 및 기존 PIRT 재평가를 위한 분과별 취합 검토, 기존 보고서 리뷰 및 개정 로드맵 보고서 작성 방안, 워크숍 운영 방안
- 추계 워크숍: 2021. 10. 20, 분과별 발표, 패널토의
- 4차 회의: 2021. 11. 5, 워크숍 요약, 로드맵 목차 검토
- 5차 회의: 2021. 12. 9, 분과별 회의 결과 논의
- 6차 회의: 2022. 1. 27, 분과별 작성 현황 검토
- 7차 회의: 2022. 3. 4, 분과별 PIRT 재평가 결과 검토
- 8차 회의: 2022. 3. 31, 분과별 보고서 작성 현황 검토, 독립검토자 선정
- 9차 회의: 2022. 4. 26, 분과별 보고서 검토, 총괄보고서 작성 및 독립검토 계획, 춘계 워크숍 논의

# 중대사고 현상

## 일차계통 방호 분야

일차계통 손상 단계	세부 손상 단계	주요 현상
원자로 손상	원자로심건전성 상실	노심가열(피복재 산화)
		노심용융 (유로 막힘)
		노심 파편층/용융물 풀 형성
		용융물 냉각가능성
		용융물 재배치 (이송)
	원자로하부구조물 건전성 상실	용융물 냉각가능성
		하부반구 가열 및 용발 (ablation)
		하부반구 파손 모드
		고압방출(HPME)
		상부구조물 파손
일차계통 경계손상	고온고압 기인경계상실	증기발생기 세관 파손
		밀림관 파손
		고온관 파손
	초기사건 기인경계상실	ISLOCA/SGTR PORT/배관 파손



## 핵분열생성물 거동분야

핵분열생성물 방출	원자로심, 냉각재계통 내부, 격납건물 내부, 환경으로의 방출
핵분열생성물 거동	에어로졸, 휘발성 핵종의 거동
완화설비 및 전략	살수계통, 격납건물 우회사고 완화, 기타완화설비(여과배기 계통)
참조 선원항 및 평가기준	국선 선원항, TID-14844, NUREG-1465, 프랑스 참조 선원항

## 격납건물 방호 분야

격납건물 건전성 상실(고온과압)	격납건물 고온과압, 격납건물 내압능력, 재가열, 국부고온, 누설 및 여과배기 설비
HPME/DCH	노심용융물 분출, 확산, 이송 및 방출저감, 제어 감압계통
가연성기체 연소 및 폭발	수소 연소 생성 방출, 확산 및 가속, 수소제어
노심용융물-냉각수 반응(FCI)	FCI에 의한 급격한 증기의 발생, 노심용융물의 파편화, 증기폭발 및 압력파의 전파 및 주변구조물과의 상호작용, 노심용융물 파편화 및 침적에 따른 냉각성
MCCI/노심용융물 냉각성	MCCI에 의한 지속적 기체 생성, 휘발성 핵분열생성물 방출에 따른 격납건물 가압, 공동 콘트리트의 침식 및 용발, 노심용융물 냉각

# 기존 연구 현황

## » 2016년 도출된 중점기술 현안에 대한 연구 현황 조사(42개 과제)

### ○ 수행 내역 조사

- 과제제목, 수행기관, 전담기관,
- 수행기간, 총과제비, 주요연구내용,
- 대표연구성과, 적용대상원전, TRL 수준

### ○ 추가연구방향 및 필요성 조사

- 기술완성단계, 추가연구주제,
- 타노형(SMR등) 적용을 위한 기술

연구분야	중점 기술현안
일차계통 방호	원자로용기 하부반구에서의 용융물 냉각성능 평가
	일차계통 내에서의 고온고압 수증기로 인해 발생 할 수 있는 증기발생기 세관 파손
격납건물 방호	여과배기 사고관리 전략
	피동축매결합기(PAR)를 포함한 수소제어계통의 성능 평가 실험 및 해석 검증
	용융물 재료에 따라 산화반응이 발생할 경우의 냉각성 영향
	복합형상 체계에서의 증기폭발 전파 모델
	장기 냉각으로 연계 시 용융물 파편화 현상
	파쇄입자 침적에 따른 침적층 형성과정 및 파편 잔해층 열전달 모델
	증기폭발방지 및 용융물 냉각을 위한 대처설비 기술개발
	충수공동에서의 다공성 노심용융물 냉각성
	국내 가동원전에 대한 MCCI 대처능력 평가 및 결말 분석을 통한 사고 관리 방안
	노심 구조물 손상 및 에어로졸 등 물질 방출 모델 개선
핵분열생성물 거동	산화조건에서 핵연료로부터 Ru 에어로졸 방출 거동
	원자로냉각재계통으로부터 격납건물로의 Cs, I 방출모델
	에어로졸의 형성, 성장, 침착 현상
	격납건물 내 아이오딘 핵종 이동 및 유기아이오딘 형성
	MCCI Pool로부터 에어로졸 방출
	Pool Scrubbing 효과
	격납건물여과배기계통(CFVS) 실험과 모델링
	사고경위들을 포괄하는 선원항 결정

# PIRT 재평가

## » PIRT 구성

### ○ 일차계통 방호

- 일차계통 손상단계별 주요현상
- 지식수준 / 중요도
- 현안 및 중요성, 사고관리 방안, 규제관점중요성, 원자로건물 건전성, 핵분열생성물 거동 관점

### ○ 격납건물 방호

- 격납건물 손상단계별 주요현상
- 지식수준 / 중요도
- 주요현안/불확실 현상, SAMG/Mitigation action, 규제관점 중요성, RCS 연관 현상, 핵분열생성물 거동 관점

### ○ 핵분열생성물 거동

- 핵분열생성물 방출/이동 단계별 주요현상
- 지식수준 / 중요도
- 주요현안/불확실 현상, SAMG/Mitigation action, 규제관점 중요성, RCS 연관 현상, 격납건물 연관 현상

연구분야			연구기간			연구 계획
			단기 (3년)	중기 (5년)	장기 (10년)	
일차계통 방호	중점 기술현안					
	노심용융 과정 중에 발생하는 유로 막힘 현상 모델링			○		
	원자로용기 하부반구에서의 용융물 냉각성능 평가			○		원안위
	하부반구 가열 및 용발			○		원안위
격납건물 방호	일차계통 내에서의 고온고압 수증기로 인해 발생할 수 있는 증기발생기 세관파손		○			
	격납건물 고온과압	격납건물 손상거동을 해석을 위한 정적/동적 구조해석		○		가동원전, 원안위
		수소연소등과 같은 현상에 의한 국부고온현상		○		
		계통설비손상에 따른 국부누출		○		
	수소연소 및 폭발	수소확산분포모델 (방출수소의 혼합기체 형태로 격실이동 및 확산, 수소성층화)따른 노심용융물 분출/확산/이송 모델 개선		○		
		법제화에 따른 수소연소 제어를 위한 중대사고 관리전략유효성 평가 기술		○		
		국산화에 따른 국산 피동축매결합기(PAR)를 포함한 수소제어 계통의 성능평가 실험 및 해석검증 (산소희석조건, 에어로졸에 의한 성능저하, 역방향 유동)		○		
	노심용융물- 냉각수 반응 (FCI/SE)	용융물제트 파쇄에 대한 스케일링 효과		○		
		용융물 제트의 파쇄에 따른 용융물 평균입자, 입자분포 및 증기분율분포 모델		○		원안위
		복합현상 체계에서 증기폭발 전파 모델(벽/바닥의 영향, 복합구조)		○		
		용융물 재료의 영향(금속성분의 열유체역학적 영향, 산화반응)		○		
		용융물 재료에 따라 산화반응이 발생할 경우의 냉각성 영향		○		
		용융물 파편화에 따른 장기 냉각성 영향		○		
		파쇄입자 침적에 따른 침적층 형성과정(입자층, Cake) 및 열전달 모델		○		원안위
		법제화에 따른 원전스케일 불확실성 분석(사고관리전략 유효성) 평가 방법		○		원안위
	노심용융물- 콘크리트 반응(MCCI)	다차원 용발현상		○		
		핵분열생성물 방출		○		가동원전, 원안위
		사후 상부 충수 시 냉각거동(파편층 냉각, 상부 금속층 효과, 냉각수 주입모드 영향, 냉각수 침투, 용융물 분출)		○		
		사전 습식공동에서 용융물 및 냉각수 조건에 따른 용융물 거동(파편화 정도, 입자크기분포)		○		
		공동에서의 노심용융물 침적 및 퍼짐현상(충수 깊이에 따른 연구 포함)		○		
		충수공동에서의 다공노심용융물 냉각성(파편층 형성, 열전달 모드, 파편층내 물유입, 충수깊이 및 용융물 냉각 가능성)		○		
		원전스케일에서의 노외 냉각성 불확실도 평가		○		
		국내 가동원전에 대한 MCCI 대처능력 평가 및 결말 분석을 통한 사고관리방안		○		
		MCCI를 방지 또는 완화를 위한 대처설비 또는 전략 개발		○		
핵분열생성물 거동	노심 구조물 손상 및 에어로졸 등 물질 방출 모델 개선			○		원안위
	산화조건에서 핵연료로부터 Ru 에어로졸의 방출 등 거동에 대한 실험데이터 확보		○			
	살수에 의한 에어로졸 제거 모델의 개선			○		
	노심 및 RCS에서 기체상으로 생성되는 핵종에 대한 실험적 연구, 핵심 핵종 및 반응에 대한 모델링				○	
	벽면 및 기기의 표면에 흡탈착 및 재부유 되는 아이오딘 핵종 거동,			○		원안위
	기체상에서 침착 아이오딘과 페인트 및 케이를 구성 물질과 반응에 의한 유기아이오딘의 형성		○			원안위
	MCCI Pool로부터 에어로졸 방출			○		가동원전, 원안위
	수조여과		○			가동원전, 원안위
	실제적으로 고려해야 할 사고경위들을 포괄하는 선원항 결정		○			가동원전

가동원전: 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 가동원전 안전성 향상 핵심기술개발, 2022. 4~2029.12

원안위: 원자력안전위원회, 원자력안전연구개발 과제, 2021~2026

# 향후 추진 일정

## » 추진 일정

○ 2022.5. : Peer Review

○ 2022.6. : 최종보고서 발간