

< 노심용융사고에 관한 중대사고전문가회의 회의록 >

세 미 나 명	원자력학회 원자력 열수력 및 안전 연구부회 중대사고 분과 노심용융사고에 관한 중대사고전문가 회의
장 소	2011. 3. 08, 15:00 ~ 18:30, KINS 본관동 2층 중회의실
참 석 자	중대사고 전문가 20명
< 회 의 내 용 >	
0. 기조발언 (류용호)	
<ul style="list-style-type: none"> - 국내 규제입장과 최신 연구현황에 대한 자유로운 논의를 통해 중대사고에 대한 상호 이해 및 국내 입장에 대한 의견을 조율하고자 함 	
1. 노심용융사고에 대한 규제방향	
● 발표 (이정재)	
<ul style="list-style-type: none"> - 배경 : 국내외 환경변화 및 국내 중대사고 규제 요건 - 주요원전(APR1400, AP1000, EPR)의 중대사고 대처설계비교 <ul style="list-style-type: none"> · APR1400: CFS를 이용한 충수후 외부냉각 및 ERVC 전략 · EPR: 코어캐처를 이용한 냉각을 통한 용융물 냉각 신뢰성 향상 · AP1000: ERVC전략 - 주요국(미국,유럽,IAEA,한국)의 노심용융물 냉각 관련 규제요건 비교 <ul style="list-style-type: none"> · 미국: SECY-90-016/93-088/96-128, RG 1.216 <ul style="list-style-type: none"> ○ IVR 실패시 CB 건전성 유지 가능성에 대한 평가 요구(AP1000) ○ RG 1.216을 통해 24시간 이후 허용기준에 대한 제시 · 유럽(WENRA) <ul style="list-style-type: none"> ○ 조기대량방출 유발 중대사고를 실질적으로 제거되도록 설계 요구, 코어캐처 설치의 요건화 추진 ○ EU Council 회의에서 WENRA 입장 공식수용하지 않음 · IAEA: NS-R-1, NS-G-1.10 <ul style="list-style-type: none"> ○ 미국과 유사, ERVC 및 코어캐처 언급 · 한국: 규제지침 16.1, 안전심사지침 19.2 <ul style="list-style-type: none"> ○ 노심용융물 냉각, FCI 완화, 24시간 이전/이후에 대한 지침 등 - 중대사고 규제입장 (안전심사지침) <ul style="list-style-type: none"> · 중대사고 대처수단 구비 요건: RCS 감압, DCH 완화, 수소 완화, 노외증기폭발 완화, MCCI 완화, IVR-ERVC 채택시 평가에 관한 사항 등 - APR1400원전의 중대사고 대처 <ul style="list-style-type: none"> · FCS에 의한 냉각방식의 현상 불확실성에 대한 불확실성 존재 · 24시간 이후의 침식 지속 및 용융관통 가능성 존재 	

- 한수원은 실패시 SAMG로 활용하지 않을 예정이나, IVR전략 실패시의 증기 폭발에 대한 관통부 손상 가능성 평가 필요

- 토의제안

- 중대사고 대체설계/전략에 있어 규제적 미해결 현안에 대한 입장정리와 합리적 대응방안?
 - > 경쟁국(코어캐처 설계) 대비 중대사고 안전성
 - > 충수냉각방식의 타당성 (노외냉각의 불확실성)
 - > ERVC에 대한 격납건물 건전성 (노외증기폭발의 불확실성)

● 주요 질의답변

- FLC의 신뢰도는?
 - 결정론적 기준임
- 규제기준/지침 승인은 완료되었는가?
 - 교과부 인가 준비중이며, 중대사고에 대한 SAR 19장 제출 요건화를 포함하는 시행규칙 개정 준비중임.

2. 노외 증기폭발 최신 연구결과 및 동향

● 발표 (홍성완)

- 최근 연구 진행 과정
 - KROTOS 실험 이전 이후로 크게 구분됨
 - > 이전 : 개별적 상사적 실험, 일반적 증기폭발 거동실험
 - > 이후 : UO₂/ZrO₂ 실험. TROI 실험(자발적 증기폭발 관찰), 원자로 물질을 이용한 실험검증의 중요성 인식
- SERENA phase 2 : 데이터 분산을 줄이기 위해 수행 중
 - 실험의 스케일이 커지고, 해석모델이 개선됨
 - 격납건물 건전성 향상을 위한 전문가의 scattering 줄이는 데 초점
 - KROTOS : 1차원, 모델개선에 활용
 - TROI : 모델 검증에 활용
- 전체적인 연구 결과, 두 실험이 유사한 결과를 보임
- 종합의견
 - 증기폭발은 불확실성이 커 해결이 어려운 쟁점
 - SERENA-II: 다차원 해석이 추세, 발전소 해석 방법에 대한 consensus 모으기 위한 노력 진행중
 - 국내의 실험관련 쟁점: 외벽냉각시 실험자료 생산 및 검증
 - 해외동향: 신규원전보다 가동원전의 증기폭발 해석에 활용, EDF에서 EPR 적용을 위한 증기폭발 실험 계획 중

● 주요 질의답변

- 원자로용기 파손모드에 대한 실험데이터가 부족하지 않은지?

- SERENA의 아쉬운 점이 side failure가 충분히 반영되지 못한 것임
- 실험검증에서 원전적용으로 초점이 맞춰지고 있음
- TEXAS 코드가 초기조건과 입력에 따라 다르긴 하지만 결과를 꽤 높게 예측하는 경향을 보임. 핀란드도 TEXAS 코드를 적용중

3. MCCI 최근 연구현황 (OECD/MCCI program 중심)

● 발표 (김환열)

- 기존 MCCI 연구 현황 소개: ACE, SURC, BETA, MACE(상부충수)
- OECD/MCCI-1 program 소개: SSWICS, CCI, MET-1 실험
 - 콘크리트 종류, 함량 등에 따른 냉각성능
 - 콘크리트 종류에 따른 침식 거동
- OECD/MCCI-2 program 소개: SSWICS, WCB, CCI 실험
 - CORQUENCH 코드 검증 관련 내용
 - > water ingress, melt eruption, crust breach 모델
 - 하부냉각 주입 효과 증진을 위한 KAERI 제안 (SSWICS-13)
- 요약
 - 용융물 껍질(crust) 강도 및 고착화(anchoring), 건조공동에서의 콘크리트 종류에 대한 영향, 상부로부터의 냉각수 유입 등에 대한 충분한 실험데이터가 존재함
 - 조기충수에 대한 데이터 등은 부족함
 - 미해결 현안 (추가 실험 예정)
 - > 금속층효과, 물유입(sparging시), 용융침식 거동, 기공 형성 등에 대한 불확실성이 많이 존재
 - > 2세대 원전에 대해 조기상부충수의 효과성, 충수시점, 실제 조건의 다양성, 추가 완화설비 등에 대한 현안
 - > 3세대 원전의 냉각개념과 관련한 일반 현상 (코어캐처 등)

● 주요 질의답변

- Early top flooding의 효과성 및 철근 같은 non-core material의 영향은?
 - 간단한 문제는 아니며, 냉각관점에서 입자크기에 따른 증발효과에 대한 실험을 진행중
 - MCCI-1,2를 통해서 신뢰성이 있으며 CORQUENCH 최신 연구현황이 포함됨. CORCON(MELCOR 모델)은 pool boiling heat transfer 모델이 있어 MELCOR는 update가 필요
- MCCI-3은?
 - 프랑스에서 원하고 있음. 미국은 추가연구 필요성이 없다는 입장 (top flooding)
- CORQUENCH를 벤치마크하여 발전소에 적용한 결과, 콘크리트 타입에 따라

결과가 상이함. 24시간 basemat 기준으로 발전소별 결과가 다름. 건설 예정 발전소는 새로운 방법의 냉각방법을 강구할 예정. Crust가 깨지는 모델에 많은 진전이 있음

- CORQUENCH 관련 많은 모델개선이 있으나, APR1400과 같은 침수공동에 적용할 수는 없을 것 같은데?
 - 주로 코어캐처 등을 고려한 건조공동에서의 실험에 대한 검증이 많아 APR1400에 직접적인 적용은 어려움이 있음

4. 토의

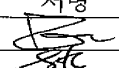

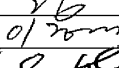
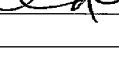
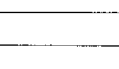
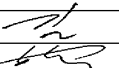
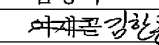
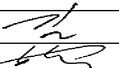
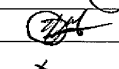

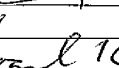
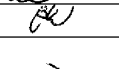
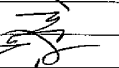
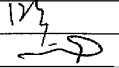
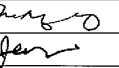
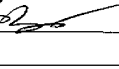
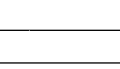




- NRC는 CDF, LRF가 안전목표의 기준이 된다고 보는데, 우리는 안전목표가 있는지? 없으면 만들 생각이 있는지? (송진호)
 - 공식적인 안전목표는 없으나, 심사시 확인하고 있음(CDF, LERF, CCFP). 확률론적 방법과 결정론적 방법을 모두 사용하고 있음. (성계용)
 - 우리 중대사고 대처설비에는 고려하고 있지 않으며, SECY-93-087에서 격납 건물은 CCFP 0.1만으로 규제하지 않음. 주요 사고를 실질적으로 배제하고 대처능력이 있음을 보이는 것을 확인하고 있음. (박재홍)
- 계산시에 조건에 따른 범위가 넓은데 어떻게 생각하는지?
 - SDS를 통해 2500→250 psi로 감압하고 보조적으로 CDF를 분석하는등 보조적으로 활용 (박재홍)
 - '실질적으로 제거' 관련하여 IAEA도 실질적으로 제거되지 않으면 대처설비를 갖추라는 내용 (류용호)
- MCCI관련 SECY-93-087을 기준으로 하는지? 우리의 기준은? (홍성완)
 - CCI-4는 metal이 포함된 실험임. 하향침식이 강함. (성계용)
- IVR-ERVC 실패시 건전성 관련, 심사지침에서 실패시 증기폭발에 대한 건전성을 보장하라고 한다면(절대적으로)?
 - 대처능력을 갖추도록 하는 심사지침이 있음. 확률론적 방법은 보조적인 자료로서 활용 (박재홍)
 - PSA와 중대사고를 상호연계하도록 진행중이며, 한 측면만으로는 반영하지 않음. 코어캐처는 리스크 감소에 도움이 되는 설비는 아님. (성계용)
- 코어캐처를 명시적으로 요구할 필요가 있는가?
 - 유럽은 IVR을 고려하고 있지 않음. 1000MW은 IVR로 완화 가능한 부분이 존재함. 유럽에서도 IVR을 인정하는 곳이 있음
- MCCI 요건에서 24시간 이후는 어떻게 하는 것이 타당한가? (성계용)
 - APR1400에는 Gen-2 철학만 사용하였으므로 충수냉각시 MCCI는 고려안함. IVR-ERVC는 사고관리에서 필요한 경우 활용하는 것임 (방광현)
 - 사고경위에 따른 분석조건의 타당성을 확인할 필요가 있음. (박수용)
 - Preflooding된 공동에 대한 MCCI분석은 거의 이루어지지 않음. (송진호)

- APR1400에서 preflooding시 MCCI는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단함. (문영태)
- 만족하는지 (계산결과를) 검토해보면 가능함. (박수용)
- 24시간 이후 basemat 관통 가능함. (박재홍)
- 바닥면의 70~80 % 만 활용한다면 basemat 관통 가능. (박수용)
- 실제 파편화되어 냉각될 가능성이 있으며, 분석가정은 보수성(파편화 무시)과 비보수성(퍼짐가정)을 동시에 갖고 있음. (이정재)
- 물이 2~3m 있으면 MCCI가 아니라 FCI 현상임. (방광현)
- RG 1.216에서 24시간 이후에도 기초콘크리트가 관통되지 않도록 요구하고 있음.
- 유럽의 원전도 충수공동에서 MCCI가능하나 증기폭발이 주요문제임을 설명하고 있음. 충수후 냉각성은 불확실성이 있음

참석자 명부

분과명 : 원자력학회 원자력 열수력 및 안전 연구부회 중대사고 분과

회의명 : 노심용융사고에 관한 중대사고전문가 회의

번호	성명	소속	메일	서명
1	류용호	KINS	k053ryh@kins.re.kr	
2	김한철	KINS	k250khc@kins.re.kr	
3	박재홍	KINS	k200pjh@kins.re.kr	
4	성계용	KINS	k109sky@kins.re.kr	
5	이정재	KINS	jjlee@kins.re.kr	
6	방광현	해양대	khbang@hhu.ac.kr	
7	박종운	동국대	parkjw@dongguk.ac.kr	
8	정지환	부산대	jihwan@pusan.ac.kr	
9	서균렬	서울대	kysuh@snu.ac.kr	
10	김형택	한수원	hyeong@khnp.co.kr	
11	여재곤 	한수원	jglee@khnp.co.kr	
12	허선	한수원	hs@khnp.co.kr	
13	문영태	KEPCO E&C	moon@kepco-enc.com	
14	이병철	미래와 도전	bclee@fnctech.com	
15	김희동	KAERI	hdkim@kaeri.re.kr	
16	송진호	KAERI	dosa@kaeri.re.kr	
17	김상백	KAERI	sbkim2@kaeri.re.kr	
18	김환열	KAERI	hykim1@kaeri.re.kr	
19	박래준	KAERI	rjpark@kaeri.re.kr	
20	양준언	KAERI	jeyang@kaeri.re.kr	
21	홍성완	KAERI	swhong@kaeri.re.kr	
22	이영승	한수원	9410482@khnp.co.kr	
23	박성용	KAERI	sy park@kaeri.re.kr	
24	송성웅	KINS	sls@kins.re.kr	
25	안성웅	KINS	kslu@kins.re.kr	
26	정영호	KAIST	jeonryh@kaist.ac.kr	
27	김재성	KINS	kdsc@kins.re.kr	
28				
29				
30				