

중대사고 결정론적 허용기준에 대한 설계관점 검토

원전 사고관리계획서 개발 워크숍

2016. 5. 11

송 덕 빈

Contents

- I. 개 요
- II. 중대사고 방사선원항 적용
- III. 중대사고 방사선원항 설계 적용범위
- IV. 중대사고 완화설비 요건
- V. 중대사고 선량평가 방법
- VI. 중대사고 소외선량 허용기준
- VII. 요약 및 결론

I. 개요

□ 개요

- 후쿠시마 사고 이후 중대사고에 대비한 설계의 중요성이 강조됨
- 원자력안전에 대한 비엔나 선언에서는 방사능물질 방출가능성 완화 및 대량방출 배제를 목표로 신규원전을 설계(가동원전은 개선)하고 규제도 이에 맞게 개정하도록 권고
- 원안위는 사고관리 관련 규칙 및 관련고시 제·개정안을 수립
- 규칙 및 고시에 대한 설계자 입장에서의 의견을 제시하고자 함

□ 논의사항

- 1) 중대사고 대표 방사선원항
- 2) 중대사고 선원항 설계 적용범위
- 3) 중대사고 방사능 방출 완화설비의 요건
- 4) 중대사고 선량평가 방법
- 5) 중대사고의 선량 허용기준의 적절성

II. 중대사고 방사선원항 적용 (1/4)

□ 국가별 현황

- 한국 : TID-14844 선원항 (1962)
 - 1950년대 후반 UO2 펠렛 조사 실험에 근거
 - 부지선정, LOCA 결말분석, ESF설계, 기기검증, 사고시 차폐 등 설계 전반에 적용
- 미국 : NUREG-1465 선원항 (AST, 1995)
 - 중대사고시 실제 현상에 따른 실험 및 분석에 근거
 - 1997년1월10일 이후 신규원전 및 가동원전 설계기준 개정 적용
 - 노심에서 핵분열생성물 방출을 5단계로 구분
- EUR & Finland : 중대사고 표준 방사선원항 (Reference Source Term, RST)
 - RST 정량화를 위한 표준 중대사고는 해당 노형의 설계특성에 근거하여 설계자가 결정하여야 함
 - 표준 중대사고는 계통의 현실적 거동을 반영한 해당 노형 고유의 시나리오이어야 하며, 따라서 최적분석방법을 적용해야 함
 - RST 결정을 위한 표준중대사고는 CDF에 기여도가 높은 중대사고 중 하나이고, 이들 시나리오를 잘 대표(most representative)해야 함

II. 중대사고 방사선원항 적용 (2/4)

□ TID-14844와 AST의 비교

Item		Old Source Term	Alternative Source Term	비교
		TID-14844	R.G 1.183	
Applicable Reactor Type		PWR, BWR	PWR, BWR, Advanced/Passive LWR	-
Core melt		100%	100%	동일
Release phase and timing		Instantaneous	Gap Release (0-0.5hr) Early In-vessel (0.5-1.8hr)	동일 AST가 방출시점 늦으나, 임의의 2시간 선량요건으로 동일한 조건임
Radionuclide group		3 Groups (NG, Iodine, Solid)	8 Groups	AST가 더 보수적임 (AST가 더 많은 핵종에 의한 기여분 고려)
Release fraction to containment	Noble gas Iodine Others	100% 50% (25% 즉시침적) -	100% 40% 30% (Cs, Rb)	AST가 더 보수적임 (TID는 요오드가 50% 방출 후 그 중 절반은 즉시 침적되므로, 초기 원자로건물 대기 내 Iodine량은 AST가 더 많음. AST는 Cs, Rb에 의한 대량 방출도 고려함)
Chemical form of iodine in containment	Elemental Organic Particulate	91 % 4 % 5 %	4.85 % 0.15 % 95 %	TID 화학형태는 잘못 되었음 (최근연구 결과, 노심용융시 발생 요오드는 대부분 에어로졸 (입자) 형태임)
In-containment removal mechanism		ANSI/ANS-56.5 SRP-6.5.2	NUREG/CR-5966 NUREG/CR-6189	AST가 더 보수적임. (TID경우, SRP 모델은 원소형에 제거상수가 20/hr로 계산됨. AST는 Powers모델 적용으로 최대 8.3/hr 적용)

II. 중대사고 방사선원항 적용 (3/4)

□ EU-APR RST 개발 방법론

- 중대사고 완화설비 반영
 - Rapid Depressurization System (RDS)
 - Passive Ex-vessel corium retaining and Cooling System (PECS)
 - Severe Accident Containment Spray System (SACSS)
- 중대사고 대상 시퀀스 선정
 - 전출력 내부사건으로 한정
 - 노심손상빈도 (CDF) 기여도가 1% 이상인 19개 시나리오 대상 (Level 1 PRA)
 - SBO, LOCA, PLOCCW, ATWS, RVR, ISLOCA, SGTR, GTRN, LSSB-D, LOOP, LODCB, LODCA 포함
 - 이 중 SGTR-10 (핵연료 손상 6일), LODCA-40, LODCB-40 (ATWS와 동일 모델링)은 분석 제외
 - 16개 사고 Sequence를 모두 고려하여 1개의 방사선원항으로 정량화
- 불확실도 평가 수행
 - Latin Hypercube Sampling (LHS) 방법론 및 Wilks' Formula 적용
 - 각 사고시퀀스 당 59개의 MAAP Input Parameter 조합 생성
 - 총 944번(59 x 16)의 MAAP 코드분석 수행

II. 중대사고 방사선원항 적용 (4/4)

□ 현황

- 현재 고시안에는 중대사고 방사선원항에 대한 명확한 정의가 미제시
- 어떤 중대사고 방사선원항을 적용하여 평가할 것인지 결정 필요

□ 의견

- TID-14844
 - 기술적 타당성 결여
 - 국제적으로도 사용되지 않음
- AST
 - 미국내 70~80년대 노형에 대한 평균적인 중대사고 방사선원항
 - 국내 노형 고유의 중대사고 특성을 미반영
- RST
 - 노형 고유의 중대사고 방사선원항으로서 가장 적합
 - 단, 개발에 많은 시간과 비용이 소요

III. 중대사고 방사선원항 설계적용 범위 (1/2)

□ 현황

• 한국

- TID-14844 선원항 기준으로 다음 설계범위에 적용
 - 기기검증, 주제어실 거주성평가
 - 부지선정, ESF System Design
 - 사고시 차폐, RMS 설계, 설계누설률 결정

• 미국

- AST의 초기 3단계 (Coolant, Gap, Early In-vessel) 방출만 사용하여 상기 국내 적용 범위와 동일하게 적용
- 중대사고 기기생존성(Equipment Survivability)은 후기 2단계 (Ex-vessel, Late In-vessel) 까지 적용

• EUR

- EUR의 DEC (중대사고) 방사능방출 허용기준 충족 평가
- 중대사고 기기생존성 (Equipment Survivability, ES) 평가
- 주제어실 운전원 거주성 (CR Habitability, CRH) 평가
- 기기 및 계통 설계요건 (Design Requirement) 결정
- 원자로건물 설계누설률, CR Unfiltered Inleakage 등 설계변수 설정

III. 중대사고 방사선원항 설계 적용범위 (2/2)

□ 의견 (AST 또는 RST 적용 가정시)

- DBA (Early In-vessel까지 선원항만 적용)
 - Compliance to DBA Safety Target
 - Equipment Qualification (DBA용 SSC에만 적용)
 - ESF System Design (DBA용 Containment Spray, DBA Containment Leakage)
 - DBA Post-accident Monitoring Instrumentation
- SA (중대사고 모든 단계 선원항 적용)
 - Compliance to Severe Accident Safety Target
 - Severe Accident Dedicated System Design
 - Equipment Survivability (SA 전용 기기에만 적용)
 - MCR Habitability Design (Filtering 요건, 미여과 유입률 등) (SA를 포괄하도록 설계)
 - Post-accident shielding and accessibility (SA를 포괄하도록 설계)
 - Post-accident sampling (SA를 포괄하도록 설계)
 - SA Post-accident Monitoring Instrumentation (SA를 포괄하도록 설계)

IV. 중대사고 완화설비 요건 (1/2)

□ 현황

- 국내 및 미국
 - 중대사고 완화설비는 비안전성 계통으로 분류
 - 결정론적 방사선원항 평가 없이 원자로건물 건전성 측면에서만 평가
- 핀란드
 - DEC 대처설비와는 독립성 (전원, 냉각) 및 다중성이 확보된 안전등급3 계통 필요
- EUR
 - SA가 DEC에 포함되어 DBC와는 독립적이고 다중성이 확보된 안전등급3 계통 필요

□ 의견

- 핀란드나 EUR 요건 적용시 독립적 SA 대처 설비 필요
- 핀란드/EUR 요건 미적용시
 - DBA용 안전계통 및 비안전성 계통에 대한 Credit 여부 검토 필요
 - 예) 살수계통(CSS), 비상살수보조계통 (ECSBS) 등
 - Credit이 가능한 전원에 대한 정의 필요 (EDG 또는 AAC DG 등)
 - 원자로건물 성능에 대한 Credit 여부 결정 필요
 - 원자로건물 실패를 유발하는 중대사고 배제 여부
 - 원자로건물 설계압력을 초과하는 중대사고시 원자로건물 설계누설률 적용 방안
- 상기 조건에 따라 기존 안전계통 설계 변경 및 대처설비 추가 설치 필요

IV. 중대사고 완화설비 요건 (2/2)

- APR1400 대비 중대사고 완화 신규 안전계통
 - 이중 원자로건물 (Double containment)
 - 이차원자로건물 환기계통 (Secondary containment emergency HVAC)
 - 스택 설치 (Ventilation Stack)
 - 중대사고 전용 계통 설치 (SACSS, Core Catcher 등) 및 독립적 전원 공급 설계
 - 원자로건물 여과배기계통 (CFVS)

- 중대사고 완화를 위한 기존 안전계통 설계 변경
 - ESF 기기실 및 핵연료취급구역 비상 공조계통 (제거 또는 비안전급 설계)
 - 주제어실 비상 공조계통 (미여과유입누설, 기동시간, 여과 효율 등)
 - 원자로건물 설계누설률 (강화 또는 완화)
 - RMS 설계 (추가 또는 제거 가능)
 - 원자로건물 격리시간 (최소 격리시간 요건 완화)
 - 기기검증 및 기기생존성 방사선 환경조건
 - 사고시 차폐 설계기준 변경

V. 중대사고 선량평가 방법

□ 현황

- 국내/미국
 - 중대사고시 결정론적 선량기준 부재로 별도의 평가 없음
 - 설계기준사고시는 EAB에서 2시간, LPZ에서 30일 선량을 방사능운과 호흡 피폭만 고려하여 평가
 - PSA Level 3에서 확률론적으로 위험도 평가
- 유럽
 - 사고 전기간 동안 섭취를 포함한 모든 피폭 경로 고려

□ 의견

- 비엔나 선언 취지 (중대사고시 장기적 토양 오염 방지)에 부합하기 위해서는 사고 전기간 동안 모든 피폭경로에 의한 선량이 평가되어야 함
- 현재 사고시 장기간 동안 침적 및 섭취로 인한 선량평가 Tool이 없으므로 새로운 코드의 개발이 필요하며, 임시적으로는 MACCS의 결정론적 평가 기능을 이용할 수 있을 것임
- 현재의 결정장기 선량기준 (전신/갑상선)은 국제기준과 부합되지 않으므로 유효선량으로 대체 필요

VI. 중대사고 소외선량 허용기준

□ 현황

- 개정 고시(안)에 따르면 설계기준사고(DBA), 중대사고 예방 (DEC) 및 중대 사고 완화(SA)의 모든 선량 기준은 모두 동일하게 전신선량 25 rem, 갑상선선량 300 rem임

□ 의견

- 사고 등급별 선량기준이 동일하므로 설계자는 DEC 평가 없이 가장 보수적인 중대사고에 대해서만 평가할 수 있음
- 발생확률과 방사선 결말의 심각성을 고려하여 사고 등급별로 다른 허용기준을 적용하고 있는 국제기준과 차이점에 대해 추가 검토 필요

V. 요약 및 결론

- 국내 원전에 중대사고 법제화 일환으로 결정론적 허용기준 신설됨
- 단, 현재 실제 설계에 적용할 방사선원항 및 관련 상세기준이 부재
- 설계자 관점에서 의견 제시
 - 방사선원항
 - TID-14844 배제하고, AST 또는 RST 적용
 - 설계적용 범위
 - DBA와 SA를 분리하여 각각 3단계 및 5단계 방출 적용
 - EQ, ES, MCR 거주성, 계통설계 등에 분리하여 적용
 - 완화설비 요건
 - 중대사고 전용 계통 필요성 및 분석에 Credit 적용 방안에 대한 세부 지침 필요
 - 선량평가 방법
 - 비엔나 선언 취지에 부합하기 위해서는 사고 전기간, 모든 피폭경로 포함 필요
 - 관련 전산코드 개발 필요
 - 허용기준
 - 전신/갑상선 선량기준을 유효선량으로 대체 필요
 - 사고 등급별 선량 허용기준 차별 필요



감사합니다