

화재 PSA 특별위원회 활동 결과

제출자 이창주 등
제출일 2024. 12. 31

원자력리스크연구회



2024 원자력리스크연구회
Korean Association for Nuclear Risk Research

화재 PSA 특별위원회 활동 결과

결과 보고서

원자력리스크연구회

제 출 문

원자력리스크연구회장 귀하

본 보고서를 “화재 PSA 특별위원회 활동 결과”에 대한 최종
보고서로 제출합니다.

2024년 12월

작 성 자 : 이창주, 허균영, 강대일,
한진규, 김동규, 김명수,
정용훈, 최선영

목 차

1. 서 론	1
1.1 배경 및 필요성	1
1.2 활동계획서 협의 및 작성	1
1.3 활동계획 구체화	2
1.4 제1차 워크숍 개최	3
1.5 제2차 워크숍 개최	3
1.6 활동 결과 정리	4
2. 주요 주제/쟁점 논의	5
2.1 화재 초기사건 정량화	5
2.2 정량적 화재구역 선별기준	5
2.3 화재 발생빈도 평가	6
2.4 화재 사고후 인간신뢰도분석	6
2.5 다중 오동작 시나리오분석	7
2.6 회로분석	7
3. ASME PRA Standard 논의	8
3.1 개요	8
3.2 활동 방향	8
4. 결론	9
참고 문헌	10
부록 1. 특위 활동계획서	12
부록 2. 회의록 (착수회의)	15
부록 3. 회의록 (제2차 회의)	20
부록 4. 제1차 워크숍 프로그램	23
부록 5. 제2차 워크숍 프로그램	25

부록 6. 화재 PSA 특위 제3차 회의 회의록	27
----------------------------------	----

별첨. ASME/ANS RA-S-1.1-2022 PART 4(Fire PSA) 해설집

1. 서 론

1.1 배경 및 필요성

- (배경) 국내 PSA 연구의 활성화를 목적으로 원자력리스크연구회(이하 “연구회”라 함)에서는 2021년 당시 현안으로 대두되는 항목 중 화재 PSA와 관련한 현안들에 대한 전문가 의견수렴을 위해 특별위원회(이하 “특위”라 함)를 구성하기로 결정함.
- (필요성) 국내 화재 PSA 수행 및 발전소 이행과 관련하여 현안 및 문제점 현황을 파악하고 향후 필요 기술개발/제도화 방안을 모색하기 위함.
 - 7인의 산학연 관계기관 전문가/위원으로 구성
 - 2021년 2월부터 2024년 12월까지 활동

1.2 활동계획서 협의 및 작성

- (개요) 착수회의를 통해 현재 우리나라의 화재 PSA 현안을 논의하고 활동 방향을 활동계획서에 기술함. (부록 1 및 부록 2 참조)
- (활동 범위 확정) 화재 PSA 현안 중 그 중요성, 시급성 등을 감안하여 단기 대상과 장기 대상으로 구분함.
- (단기 대상 업무 항목) 최종적으로 총 8개 항목을 선정함.
 - (1) 화재 PSA 초기사건 정량화 (국내 표준화 방안 포함)
 - (2) 정량적 화재구역 선별기준 (국내 표준화 방안 포함)
 - (3) 점화원 화재발생빈도 평가 (국내 표준화 방안 포함)
 - (4) 사고후 인간신뢰도분석 (국내 표준화 방안 포함)
 - (5) 다중 오동작분석 (국내 표준화 방안 포함)
 - (6) 회로분석 (국내 표준화 방안 포함)
 - (7) 최신 화재 PSA 방법론 적용 방안 (화재 PSA Standard 세부항목별 국내 적용성 평가 포함)

- (8) 상부 개방지역 (격납건물 및 중수로 원전) 화재 모델링
- (장기 대상 업무 항목) 최종적으로 총 10개 항목을 선정함
 - (1) 국내 고유 화재 PSA 데이터베이스 구축
 - (2) 화재 PSA 전산프로그램 개발
 - (3) 국내 고유 화재탐지·진압설비 신뢰도 평가
 - (4) 국내 고유 화재 물성치(디지털 케이블, 캐비닛 등) 데이터 구축
 - (5) 화재시 벽체 내의 케이블 등 건전성 평가
 - (6) 국내 고유 화재관련 사건의 정량적 평가 체계 구축
 - (7) 화재 PSA를 활용한 결정론적 화재방호 현안 해결 또는 성능기반 화재방호 일환으로 화재 PSA 적용
 - (8) 화재 PSA 결과를 활용한 최적 화재 비정상 운전절차서 개발
 - (9) 화재 PSA 인력 양성
 - (10) 4차산업(기계학습)의 화재 PSA 적용
- (향후 계획) 단기 및 장기 대상 업무 목록 중에서 발표 가능한 항목을 선정하여 제1차 워크숍 개최를 통해 발표하기로 함. 한편, 제1차 워크숍에서는 “화재 PSA Overview 및 국내 현황” 과 관련하여 주제 발표하고 논의하기로 함.

1.3 활동계획 구체화

- (개요) 화재 PSA 특위 활동 지속화, 구체화 및 제1차 워크숍 추진계획에 대해 논의함. (부록 3 참조)
- (최신 화재 PSA 방법론 논의) NUREG/CR-6850 방법론의 국내 적용과 관련하여 현재 국내외 추진방향과 향후 검토사항을 확인함.
 - NUREG/CR-6850 방법론 개관 및 국내 적용방안
 - NUREG/CR-6850 이후의 방법론 변경사항 확인
 - EPRI 방법론 대비 NUREG/CR-6850의 주요 차이점 확인

- (향후 계획) 제1차 워크숍은 단기 대상 업무 항목을 중심으로 논의 주제를 선별하
되, 필요시 장기 대상 업무 항목도 추가하기로 함.

1.4 제1차 워크숍 개최

- (목적) 화재 PSA 분야의 주요 현안들의 현황을 논의하고 고찰사항을 공유하며, 향
후 추진방향을 논의하고자 함. (부록 4 참조)
- (논의 주제) 착수회의에서 단기 및 장기 대상 업무 목록 중에서 다음의 발표 가능
한 항목을 선정함.
 - 화재 PSA 초기사건 정량화 방안
 - 정량적 화재구역 선별기준
 - 점화원 화재발생빈도 평가
 - 화재 사고후 인간신뢰도분석
 - 다중 오동작 시나리오분석 방안
 - 회로분석 방안
 - 화재 PSA 전산프로그램 개발
- (기타) 화재 PSA 분야에 대한 비전문가의 이해를 돕기 위해 전반적인 화재 PSA 수
행 방법론에 대해서도 소개함.

1.5 제2차 워크숍 개최

- (목적) 최근까지의 국내 원전 화재 PSA의 수행결과를 고찰하고 최신 정보를 공유
하며, 향후 활동 방향을 논의하고자 함. (부록 5 참조)
- (논의 주제) 국내 원전 화재 PSA 고찰 관련 2건 및 화재 PSA 신규 정보 관련 3건
의 주제를 선정함.
 - 전 원전 AMP 화재 PSA 현황 및 고찰
 - 국내 원전 화재 PSA 신규 방법론 적용 현황 및 고찰
 - ASME/ANS PRA Standard 신규 요건 검토
 - 통합분석 화재 안전성 평가기술 개발
 - HEAF(고에너지아크손상) 분석방법론 검토
- (기타) 화재 PSA 제2차 워크숍은 “PSA 워크숍 2023”의 일환으로 진행되었으며,

1일차 세션을 담당함. (2일차 세션은 지진 PSA 발표/논의).

1.6 활동 결과 정리

- (개요) 화재 PSA 특위 활동을 마무리하기 위해 최종 특위 결과물을 도출하고 구체화하기 위한 주제들을 논의함. (부록 6 참조)
- (활동 현황 정리 및 특위 결과물 논의) 지난 3년간의 특위 활동내용이 목적 대비 충실하였는지 여부를 재확인하고 화재 PRA Standard 최신판의 국내 원전 적용성 평가와 관련하여 결과물 도출 방안을 논의함.
 - 화재 PRA Standard 2022년판 요건 관련 작성 방안을 마련함.
 - ① 각 요건의 기존 번역본 검토 및 보완
 - ② 각 요건 내용에 대한 해설서 작성 and/or 예제 제시
 - ③ 각 요건에 대한 NUREG 등 관련 참고자료 기술
 - 상기 사항에 대한 각 위원들의 업무분장과 평가양식을 정함
- (기타) ASME/ANS RA-Sa-2009 및 RA-Sb-2013의 요건과 현재 2022년판 요건의 비교 평가를 하여 Remark Column에 추가 포함하도록 함. 이와 더불어, 가능한 경우, 2022년판 적용과 관련한 특이사항에 대해 제시하도록 함.

2. 주요 주제/쟁점 논의

2.1 화재 초기사건 정량화

- (배경) 화재 리스크 정량화 과정에서는 초기사건 발생의 영향과 완화계통 실패의 영향을 동시에 고려하여야 함.
- (현황1) 화재 기인 초기사건은 내부사건과 유사하게 과도사건군과 LOCA군으로 구분할 수 있으며, 화재로 인한 영향이 없기 때문에 내부사건 목록 중에서 고려되지 않는 초기사건들(예: 증기발생기세관파단사고)도 있음.
- (현황2) 기존 EPRI 방법론에서는 각 화재구역의 화재 유발 초기사건에 대한 모델링을 고려하지 않고 가장 심각한 초기사건의 발생을 가정하여 CCDP를 평가하였음.
- (현황3) 기존 EPRI 분석 방법은 모든 사고 시나리오를 정량화해서 비교를 하여야 정확한 CCDP 평가결과가 나옴.
- (현황4) NUREG/CR-6850[3] 등에서는 다중 오동작 시나리오가 반영된 초기사건들을 모델링하여 평가함.
- (쟁점1) 최신 방법론에서 복수의 초기사건을 고려하는 것은 화재시나리오 전부를 포괄하여야 하는 ASME 표준지침 취지에는 맞지만, 다양한 초기사건별 시나리오를 하나의 One-top 고장수목으로 모델링하는 구현 상의 어려움이 있으며, subsume을 수행하여도 CCDP가 보수적으로 나올 수 있음.

2.2 정량적 화재구역 선별기준

- (배경) 화재 리스크 정량화의 복잡성으로 인해 기존 방법론에서는 화재구역의 정성적/정량적 선별분석과정을 수반함.
- (현황1) 현재 KINS 규제지침에 따르면 선별분석시에 선정기준의 근거 제시와 선정된 중요 화재구역에 대한 설명을 포함하도록 요구함. 또한, 선별 제거된 화재구역의 리스크 영향이 무시할만한 수준인지 확인토록 요구함.
- (현황2) 개별 화재구역에 대한 선별기준은 월성 3,4호기 까지 $1.0E-6/\text{yr}$ 를, 그 이후의 원전에 대해서는 $1.0E-7/\text{yr}$ 를 적용함.

- (현황3) 선별 제거된 화재구역의 리스크 영향이 무시할만한 수준인지 확인하기 위하여 새울 3,4호기 이전 원전에 대해서는 AMP 수행과정에서 최소한 ASME/ANS standard(2009) QNS-C1 요건의 범주 I을 따르도록 함. 새울 3,4호기 원전의 경우는 모든 화재구역이 정량적으로 선별 제거되지 않음.
- (쟁점1) 개별 화재구역에 대한 선별기준의 전 원전 표준화, 선별 제거된 화재구역들의 리스크 누적 영향에 대한 평가, 화재방호체 선별치 등 적용 인자의 표준화 등에 대한 일관된 적용이 필요함.

2.3 화재 발생빈도 평가

- (배경) 각 점화원의 화재 발생빈도는 EPRI TR-105928(1995)[2] 이후 그 동안의 운전경험과 평가방법 개선내용을 반영하여 지속적으로 변경되어 왔음.
- (현황1) 기존 EPRI 방법론에서는, 예로서 전기케비닛의 경우, 점화원 크기에 따른 구분이나 선별제거기준이 없었음.
- (현황2) NUREG/CR-6850 이후에는 점화원 분류를 약 40개로 체계화하고 원자로냉각재펌프 등 새로운 점화원 유형을 추가함.
- (쟁점1) 임시점화원(transients) 3종의 화재 발생빈도 평가를 위한 영향인자(influencing factors) 선정과 적용에 대한 표준지침이 필요함.
- (쟁점2) 국내 화재 시나리오 평가 및 적용과 관련하여, 소방설비(감지기, 진압설비)에 대한 신뢰도 데이터를 확보하는 것이 중요함.

2.4 화재 사고후 인간신뢰도분석(HRA)

- (배경) 화재 발생 후 주제어실 내·외부에서 수행되는 운전원 작업 및 이와 관련된 post-initiator HFE(human failure events)와 복구조치를 명확히 식별하여야 함.
- (현황1) 기존 EPRI 방법론에서는 내부사건 HFE를 반영하되, 화재로 인한 영향을 감안하여 조치시간에 따른 배수(5배, 3배)를 부여함.
- (현황2) NUREG-1921[11] 등에서는 화재 HRA를 위한 성능특성인자(performance shaping factor)들을 선정하고 정량화 과정에서 선별분석, scoping 분석 및 상세분석을 단계적으로 수행함.
- (쟁점1) 국내 원전 PSA를 위한 화재 HRA 방법론 정립이 요구되며, 이에 K-HRA

기반의 상세 화재 HRA 기술 확보가 포함됨. 또한, 이에 따른 진압실패확률(NSP) 평가기술 확보도 필요함.

2.5 다중 오동작 시나리오분석

- (배경) 1997년도경에 미국 NRC는 안전정지 유지에 필요한 관련 기기의 (다중) 오동작을 일으킬 수 있는 화재 유발 전기회로 고장을 고려하여야 함을 확인함.
- (현황1) 미국 NRC는 가동 원전에 대한 화재 안전정지분석시 화재로 인한 기기들의 다중 오동작(multiple spurious operation; MSO) 분석과 안전정지경로 확보를 위한 운전원수동조치(operator manual action; OMA)의 실행 가능성의 입증을 요구함.
- (현황2) 미국 산업체는 NEI 00-01을 통해 공통/일반의 MSO 목록을 선정함.
- (쟁점1) 상세 회로분석 결과를 활용한 각 원전의 MSO 가능 시나리오를 파악하고 이로 인한 리스크 변화 영향에 대한 확인이 필요함.

2.6 회로분석

- (배경) 화재방호 분야의 결정론적 회로분석 결과를 바탕으로 특정 케이블의 고장 모드로 발생할 수 있는 회로 및 기기의 잠재적인 영향(오동작 확률 등)을 파악하여야 함.
- (현황1) 기존 EPRI 방법론에서는 화재 PSA 수행시 회로분석 없이 오동작 확률 0.1을 일률적으로 부여함.
- (현황2) 결정론적 회로분석 방법으로 Jensen-Hughes 방법(Hot Probe 방법)과 EPM (소프트웨어) 방법을 사용함.
- (현황3) NUREG/CR-6850[3], NUREG/CR-7150[15] 등에서는 오동작 확률을 0.2~0.8로 차등적으로 적용함.
- (논점1) 결정론적 회로분석 결과를 화재 PSA에 사용하는 방안과 오동작 확률의 정확성 평가에 대한 표준화 방안 마련이 필요함.

3. ASME PRA Standard 논의

3.1 개요

- (배경) 국내 PSA는 평가 목적에 적합한 수준의 품질을 확보하기 위한 일환으로 ASME/ANS PRA Standard를 참조하여 왔음. 이 Standard에 대해서는 주로 ASME/ANS RA-S-2008 (R2009)판[4]에 기반하여 왔으나 최근 2022년판이 발간됨.
- (목적) 개정된 ASME/ANS PRA Standard 2022년판[5]의 주요 내용을 살펴보고 그 적용성에 대한 논의가 필요함을 공감함.

3.2 활동 방향

- (목적) ASME/ANS PRA Standard 2022년판의 화재 PSA 각 요소별 내용을 확인(번역)하고 적용상 주요 논점을 제시하며, 이전 버전과의 차이점을 파악함.
- (현황 확인) ASME/ANS PRA Standard 2022년판의 화재 PSA 부분은 이전 버전과 비교하여 다음과 같은 변경사항들이 있음을 확인함.
 - Capability Category III 부분이 삭제됨.
 - 서로 다른 분야의 유사 요건 사이를 참조하도록 적극 유도함.
 - 정량적 선별분석(QNS), 지진 유발 화재(SF), 불확실성 분석(UNC) 부분을 삭제하고 관련 내용을 다른 요소로 이동함.
 - 모델 불확실성 및 가정사항을 파악하고 문서화하도록 추가 요소를 부가함.
 - 현장 실사(walkdown)를 통해 확보가 요구되는 정보를 구체화함.
- (방법) 각 위원별 업무분장을 통해 결과물을 작성하고자 함. 필요시 외부 인력도 활용함. 결과물 초안 취합 후 논의를 통해 최종 결과물을 해설집(별첨 참조)의 형태로 제시하고자 함.

4. 결 언

- 미국 IEEE 요건[1] 제정 이후 국내 화재 PSA 수행이 시작되었음.
- 국내의 화재 리스크 평가는 오랜 기간에 걸쳐 EPRI 방법론[2]을 적용하여 왔으며, 최근에 EPRI와 NRC가 공동으로 개발한 NUREG/CR-6850[3]을 기반으로 하는 새로운 방법론을 국내 새울 3,4호기에 처음으로 적용하고 인허가 과정에서 검토되는 단계에 있음.
- 신규 방법론에 따른 리스크 변화가 예상되고 있으며, 이는 주로 회로분석, 다중오동 작분석, post-fire HRA, 정량적 선별기준, 상세 화재 거동 모델링 등의 기술 수준 증진에 따르는 것으로 보임.
- 신규 방법론과 비교하여 국내의 경우는 PSA 수행 방법의 일관성, 데이터 처리, HRA 방법 적용 등에 아직까지 개선해야 할 부분이 많은 것으로 생각됨.
- PSA의 목적은 주요 고찰사항을 찾고, 안전목표 만족 여부를 확인하고, 의사결정에 활용하기 위해서임. 국내 발전소 화재 PSA 수준이 어느 정도이고 문제가 무엇인지 다루어 주었으면 하는 바램과 요청이 있었으므로 이에 대한 사안도 본 특위에서 논의하였음.
- 특히, 신규 방법론에 따른 (과거에 보수적으로 취급되었거나 간과되었던) 주요 쟁점/현안들에 대해 본 특위에서 약 4년에 걸쳐 논의하여 왔음.
- 하지만 앞으로 이 신규 방법론의 적절한 국내 적용을 위한 실무 지침 개발 및 연구에는 많은 시간과 노력이 필요할 것임.
- 국내는 사고관리계획서 도입 이후 PSA 결과의 타당성을 확인하기 위해 PSA 품질에 대해 확인하여야 하며, 생각 이상의 높은 품질 수준을 요구할 수 있음. 이런 측면과 관련하여, ASME/ANS standard의 개정에 따른 기술적 요소들의 국내 적용 방향에 대해서도 본 특위에서 논의하였음.
- 다중 오동작(MSO), 고에너지아크손상(HEAF) 등의 일부 최신 쟁점과 장기 논의 대상 항목들과 관련하여 충분한 논의가 이루어지지 못한 것 같아 아쉬움이 있음.
- 향후 본 특위의 활동 결과를 바탕으로 국내 원전 화재 PSA의 보다 나은 기술적 향상이 있기를 기대함.

참고 문헌

- [1] “Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities,” Generic Letter 88-20, Supplement 4, US NRC, June 28, 1991.
- [2] Fire PRA Implementation Guide, EPRI TR-105928, Dec. 1995.
- [3] EPRI/NRC-RES Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities, NUREG/CR-6850, EPRI TR-1011989, Sep. 2005.
- [4] Standard for PRA for NPP Applications, a joint ASME-ANS publication, ASME/ANS RA-Sa-2009.
- [5] Standard for Level 1/Large Early Release Frequency PRA for NPP Applications, ASME/ANS RA-S-1.1-2022.
- [6] 강대일, 이상규 외, 국내 원자력시설의 화재방호 기술동향과 발전방안, KAERI/TR-6756, KINS/RR-1673 (2017)
- [7] 정용훈, 강대일, 고장수목을 활용한 화재유발 초기사건 PSA 모델 구축과 정량화, KAERI/TR-7286 (2018)
- [8] 강대일, 정용훈, 화재 PSA를 위한 다중 오동작 시나리오 연구, KAERI/TR-7315 (2018)
- [9] 강대일, 정용훈 외, 화재 PSA 모델 구축을 위한 다중 오동작 시나리오 분석 시범 연구, KAERI/TR-7359 (2018)
- [10] 최선영, 강대일, 정용훈, 국내 원전 화재 인간신뢰도분석 방법론 개선 - 주제어실 포기 관련 인적실패사건의 정량화방법 및 화재 반영 수행영향인자 선정 규칙 보완, KAERI/TR-8401 (2020)
- [11] EPRI/NRC-RES Fire Human Reliability Analysis Guidelines, Final Report, NUREG-1921, EPRI 1023001, July 2012.
- [12] Nuclear Power Plant Fire Ignition Frequency and Non-Suppression Probability Estimation Using the Updated Fire Events Database, NUREG-2169, EPRI 3002002936, Jan. 2015.
- [13] 이창주 외, Confirmation for Proper Quantitative Screening of Domestic Fire PSA, Trans. of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Jeju, Korea, July 9-10, 2020.
- [14] 강대일, 정용훈, 열방출 변화에 따른 화재 리스크평가 및 상세 심사지침 기술개발, KINS/HR-1861, Vol.2 (2022)

- [15] Joint Assessment of Cable Damage and Quantification of Effects from Fire (JACQUE-FIRE), NUREG/CR-7150, EPRI 1026424, Oct. 2012.

부 록 1

특위 활동계획서

원자력리스크연구회 특위 활동 계획서 (2021, Rev.0)

특위명	화재 PSA 특별위원회
목적 및 필요성	국내 화재 PSA 수행 및 발전소 이행과 관련하여 현안 및 문제점 현황을 파악하고 향후 필요 기술개발 사안 및 제도화 방안을 모색함.
특위 대상 범위	<p>(단기 대상 범위)</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 화재 PSA 초기사건 정량화 (국내 표준화 방안 포함) (2) 정량적 화재구역 선별기준 (국내 표준화 방안 포함) (3) 점화원 화재발생빈도 평가 (국내 표준화 방안 포함) (4) 사고후 인간신뢰도분석 (국내 표준화 방안 포함) (5) 다중 오동작분석 (국내 표준화 방안 포함) (6) 회로분석 (국내 표준화 방안 포함) (7) 최신 화재 PSA 방법론 적용 방안 (화재 PSA Standard 세 부항목별 국내 적용성 평가 포함) (8) 상부 개방지역 (격납건물 및 중수로 원전) 화재 모델링 <p>(장기 대상 범위)</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 국내 고유 화재 PSA 데이터베이스 구축 (2) 화재 PSA 전산프로그램 개발 (3) 국내 고유 화재탐지·진압설비 신뢰도 평가 (4) 국내 고유 화재 물성치(디지털 케이블, 캐비닛 등) 데이터 구축 (5) 화재시 벽체 내의 케이블 등 건전성 평가 (6) 국내 고유 화재관련 사건의 정량적 평가 체계 구축 (7) 화재 PSA를 활용한 결정론적 화재방호 현안 해결 또는 성능기반 화재방호 일환으로 화재 PSA 적용

	<p>(8) 화재 PSA 결과를 활용한 최적 화재 비정상 운전절차서 개발</p> <p>(9) 화재 PSA 인력 양성</p> <p>(10) 4차산업(기계학습)의 화재 PSA 적용</p>
예상 결과물 (사용자)	워크숍 결과보고서
운영 방안	<p>(1) 현안 파악 및 해결 방안 도출을 위한 회의 개최</p> <p>(2) 해결 방안 모색을 위한 워크숍 개최</p> <p>(3) 워크숍 결과보고서 발간</p>
일정 (성과 vs. 시간)	<p>(1) 회의 개최: 최소 분기당 1회</p> <p>(2) 워크숍 개최: 2021년 11월</p> <p>(3) 워크숍 결과보고서 발간: 2022년 1월</p>
희장단	이창주(KINS), 허균영(경희대)
참여 위원	강대일(KAERI), 정용훈(KAERI), 김명수(KHNP), 김동규(KEPCO E&C), 한진규(PNE)
필요 예산 및 조달 방안	회의 및 워크숍 개최와 관련 필요시 기관(KINS 등) 지원 요청으로 재원 충당

부 록 2

회의록 (착수회의)

화재 PSA 특위 착수회의 회의록

2021. 5.

원자력리스크연구회

화재 PSA 특위 착수회의

I. 회의 개요

- 화재 PSA 분야의 국내 전문가 의견 수렴을 통한 저변 확대와 공감대 형성 등을 위한 원자력리스크 연구회 특위 결성에 따른 착수 회의

II. 일시 및 장소

- 2021. 5. 28(금) 14:00 ~ 16:40, 대전 KINS 세미나1실

III. 참석자

- 위원 : 이창주(KINS), 허균영(경희대), 강대일(KAERI), 정용훈(KAERI), 김명수(KHNP), 김동규(KEPCO E&C), 한진규(PNE)
- 관계자 : 김아름(KINS), 양준언(KAERI)

IV. 회의 결과

- 참석자 소개 및 인사
 - 참석자 전원 각자 본인의 관련 경력 등 소개 (별첨 1)
- 특위 활동계획서 검토 및 보완
 - 활동계획서(Rev.0) 검토결과 현재 수정 필요사항 없음
- 단기 활동 대상/주제 논의 (첨부 1 및 별첨 2)
- 장기 활동 대상/주제 논의 (첨부 1 및 별첨 2)
- 향후 활동 계획/방향
 - 1차 워크숍을 잠정 11월 중 개최하기로 함
 - 워크숍 발표주제 선정결과는 첨부 1 참조 (“화재 PSA 개요 및 국내 현황(잠정)” 관련 발표[담당: 한진규 위원] 포함)
- 차기 회의일정
 - 2021. 8. 23 ~ 8. 27 사이에 개최, 장소 미정

[첨부 1]

화재 특위 활동 대상 및 범위에 대한 논의결과

구분	번호	대상 범위	논의결과 (요약)	차기 W/S 발표주제 여부	담당
단기	1	화재 PSA 초기사건 정량화 (국내 표준화 방안 포함)	- 다중 초기사건 등 관련 문제이며, 기존 EPRI 방법론 보완 필요 (별첨 2 참조)	○	KEPCO E&C
	2	정량적 화재구역 선별기준 (국내 표준화 방안 포함)	- AMP 심사 현안 관련 문제이며, 표준지침 마련 필요 (논의 생략)	○	KINS
	3	점화원 화재발생빈도 평가 (국내 표준화 방안 포함)	- 국내 임시점화원 화재발생빈도 등에 현재 NUREG 자료 적용성 논의 필요	○	KEPCO E&C
	4	사고후 인간신뢰도분석 (국내 표준화 방안 포함)	- K-HRA 기반 방법론에 화재 환경 스트레스 등 근거 확보 필요	○	KAERI
	5	다중 오동작분석 (국내 표준화 방안 포함)	- 결정론적 MSO 방법론에 PSA 관점 추가 적용 문제 논의 필요	○	KHNP
	6	회로분석 (국내 표준화 방안 포함)	- 기존 FHA 회로분석결과 활용시 문제 논의 필요 (별첨 2 참조)	○	PNE
	7	최신 화재 PSA 방법론 적용 방안 (화재 PSA Standard 세부항목별 국내적용성평가 포함)	- 논의 생략	X	
	8	상부 개방지역 (격납건물 및 중수로 원전) 화재 모델링	- 상부 개방지역의 방화벽 분류 등 문제로 논의 필요 (별첨 2 참조)	X	
장기	1	국내 고유 화재 PSA 데이터베이스 구축	- 논의 생략	X	
	2	화재 PSA 전산프로그램 개발	- 논의 생략 (KAERI 과제 수행 중)	○	KAERI

3	국내 고유 화재탐지·진압설비 신뢰도 평가	- 별첨 2 참조	X	
4	국내 고유 화재 물성치(디지털 케이블, 캐비닛 등) 데이터 구축	- 별첨 2 참조	X	
5	화재시 벽체 내의 케이블 등 건전성 평가	- 별첨 2 참조	X	
6	국내 고유 화재관련 사건의 정량적 평가 체계 구축	- 별첨 2 참조 (KAERI 과제 수행 중)	2차 W/S 주제	KAERI
7	화재 PSA를 활용한 결정론적 화재방호 현안 해결 또는 성능기반 화재방호 일환으로 화재 PSA 적용	- 별첨 2 참조	X	
8	화재 PSA 결과를 활용한 최적 화재 비정상 운전절차서 개발	- 별첨 2 참조	X	
9	화재 PSA 인력 양성	- 논의 생략	X	
10	4차산업(기계학습)의 화재 PSA 적용	- 별첨 2 참조	X	

부 록 3

회의록 (제2차 회의)

화재 PSA 특위 2차회의 회의록

2021. 10.

원자력리스크연구회

화재 PSA 특위 2차회의

I. 회의 개요

- 화재 PSA 특위 활동 지속화, 구체화 및 제1차 워크숍 추진계획 논의를 위한 모임

II. 일시 및 장소

- 2021. 10. 15(금) 14:30 ~ 17:00, 대전 애트 회의실

III. 참석자

- 위원 : 이창주(KINS), 허균영(경희대), 강대일(KAERI), 정용훈(KAERI), 김명수(KHNP), 한진규(PNE)
※ 김동규(KEPCO E&C) 위원은 회사 일정(해파)으로 불참

IV. 회의 결과

- 제1차 화재 PSA 워크숍 프로그램 검토 및 보완
 - 개최 일시/장소, 발표 주제, 발표자 선정 등 논의 (첨부 1)
- NUREG/CR-6850 방법론 적용 관련 추진방안 논의
 - NUREG/CR-6850 방법론 개관 및 국내 적용방안
 - NUREG/CR-6850 이후의 방법론 변경사항 확인
 - EPRI 방법론 대비 NUREG/CR-6850의 주요 차이점 확인
- 향후 활동 계획/방향
 - 제1차 워크숍은 잠정 내년 1월 13~14일 개최
 - 워크숍 개최 이후, 워크숍 후속조치 논의 및 향후 활동계획 수립을 위한 3차 회의 예정 (일시 미정)

부 록 4

제1차 워크숍 프로그램

[PROGRAM]

제1차 화재 PSA 워크숍

The First Workshop for upgrading Domestic Fire PSA

○ 일시 : 2022. 6. 16(목) ~ 6. 17(금)

○ 장소 : 대천 파로스 (한화리조트)

○ 주최 : 원자력리스크연구회 (KANRR)

○ 주관 : 한국원자력안전기술원 (KINS)

순서	시간	발표 주제	담당 기관	발표자
1st Day - 사회 : 허균영(경희대)				
	13:30~13:40	인사말 및 프로그램 취지 설명	KANRR	회장
1	13:40~14:10	화재 PSA 개요	PNE	한진규
	14:10~14:20	질의 답변		
2	14:20~14:45	화재 PSA 초기사건 정량화 방안	KEPCO E&C	강태욱
	14:45~15:00	토의 및 권고사항 도출		
3	15:00~15:25	정량적 화재구역 선별기준	KINS	이창주
	15:25~15:40	토의 및 권고사항 도출		
Coffee Break				
4	16:00~16:25	점화원 화재발생빈도 평가	KEPCO E&C	김흥기
	16:25~16:40	토의 및 권고사항 도출		
5	16:40~17:05	화재 사고후 인간신뢰도분석	KAERI	최선영
	17:05~17:20	토의 및 권고사항 도출		
6	17:20~17:30	1st Day Wrap-up		
2nd Day - 사회 : 이창주(KINS)				
7	09:30~09:55	다중 오동작 시나리오분석 방안	KHNP	김명수
	09:55~10:10	토의 및 권고사항 도출		
8	10:10~10:35	회로분석 방안	PNE	설진환
	10:35~10:50	토의 및 권고사항 도출		
9	10:50~11:15	화재 PSA 전산프로그램 개발	KAERI	강대일
	11:15~11:30	토의 및 권고사항 도출		
10	11:30~11:40	2nd Day Wrap-up		

【문의】 KINS 김남영 선임연구원 (042-603-3002, nykim@kins.re.kr)

부 록 5

제2차 워크숍 프로그램

[PROGRAM]

PSA 워크숍 2023

- 일시 : 2023. 8. 24(목) ~ 8. 25(금)
- 장소 : 한화리조트 대천파로스 1층 코럴베이
- 주관 : 원자력리스크연구회(KANRR), 한국원자력연구원
- 후원 : 한국원자력학회, 한국수력원자력

순서	시간	의제	발표기관	발표자
세션 1: 원전 화재 PSA 고찰 - 좌장: 이창주(KINS)				
1	13:30~14:15	전 원전 AMP 화재 PSA 현황 및 고찰	KHNP	이한설
		<ul style="list-style-type: none"> - AMP 전체 내용 소개 - 전체 분석결과 고찰 - 규제대응 관련 항목 내용 정리 		
2	14:15~15:00	국내 원전 화재 PSA 신규 방법론 적용 현황 및 고찰	KEPCO E&C	김흥기
		<ul style="list-style-type: none"> - NUREG/CR-6850 적용 내용 소개 - NUREG/CR-6850 적용 문제점 및 향후 개선 방향 등 		
Coffee Break (15:00 ~ 15:30)				
세션 2: 화재 PSA 최신 현황 - 좌장: 허균영(경희대)				
4	15:30~16:00	ASME/ANS PRA Standard 신규 요건 검토	KAERI	정용훈
		- 2009년판 및 2013년판 대비 차이점 소개 등		
5	16:00~16:30	통합분석 화재 안전성 평가기술 개발	KAERI	정용훈
6	16:30~17:00	HEAF(고에너지아크손상) 분석방법론 검토	KAERI	강대일

부 록 6

화재 PSA 특위 제3차 회의 회의록

화재 PSA 특위 2024년 회의 회의록

2024. 2.

원자력리스크연구회

화재 PSA 특위 2024년 회의결과

I. 회의 목적

- 화재 PSA 특위 활동 마무리, 결과물 도출 방향 및 추진계획 논의

II. 일시 및 장소

- 2024. 2. 6(화) 15:00 ~ 17:00, 대전 KINS 회의실

III. 참석자

- 위원 : 이창주(KINS), 허균영(경희대), 강대일(KAERI), 정용훈(KAERI), 김명수(KHNP), 한진규(PNE), 김상현(KEPCO E&C, 代 김동규)
- 업저버 : 양준언(KAERI)
- 지원 : 김남영(KINS)

IV. 회의 결과

- 특위 활동계획서 재확인
 - 지난 3년간의 특위 활동내용이 목적 대비 충실하였는지?
 - 특위 대상 범위별 현안과 문제점 파악을 적절히 하였는지?
 - 예상 결과물을 기존 계획에서 수정할 필요는 없는지?
- 화재 PRA Standard 최신판의 국내 원전 적용성 평가 관련 논의
 - 결론적으로 가동중 원전 및 신규 원전 모두 적용성 평가가 어려우며, 평가 방향 및 방식의 전환이 필요함을 인식
- 특위 활동 마무리를 위한 수정 제안(안)에 합의

- 화재 PRA Standard 2022년판 요건 관련 다음 작성 사항을
각 위원별 업무분장을 통해 수행 (별첨 표 sample 참조)
 - ① 각 요건의 기존 번역본 (정용훈 위원 작성) 검토 및
보완
 - ② 각 요건 내용에 대한 해설서 작성 and/or 예제 제시
 - ③ 각 요건에 대한 NUREG 등 관련 참고자료 기술
- 상기 사항에 대한 업무분장 (존칭 생략)
 - PP : 김명수(한수원)
 - ES : 강대일(KAERI)
 - CS : 김동규(KEPCO E&C)
 - QLS : 정용훈(KAERI)
 - PRM : 한진규(PNE)
 - FSS : 정용훈(KAERI)
 - IGN : 이창주(KINS)
 - CF : 김동규(KEPCO E&C)
 - FHR : 최선영(KAERI, 용역)
 - FQ : 이창주(KINS)
- 향후 일정
 - 결과물 초안 제출: 5월 14일
 - 결과물 초안 취합본에 대한 검토 회람: ~ 6월 중순 (잠정)
 - 결과물 초안 취합본 검토결과 논의: 6월 말 (잠정)

[별첨: 작성 결과물 Sample]

TE	HLR	HLR_Desc	SR ID	CC-I	CC-II	해설서 and/or 예제	NUREG 등 참고자료
FSS (Internal Fire Scenario Selection and Analysis)	FSS-C	<p>The internal fire PRA shall characterize the factors that will influence the timing and extent of fire damage for each combination of an ignition source and damage target sets selected per HLR-FSS-A.</p> <p>[화재분석 수행] 내부화재 PRA는 요건 HLR-FSS-A에 따라 선정된 점화원 및 손상 목표물군 조합 각각에 대해, 화재 손상의 시점 및 범위에 영향을 미칠 인자들을 특성화해야 한다.</p> <p>①</p>	FSS-C1	<p>For fire scenarios selected in accordance with HLR FSS-A and HLR-FSS-B, SPECIFY intensity and duration characteristics to the ignition sources that are conservative or bounding.</p> <p>[점화원 화재 특성 설정] HLR FSS-A 및 FSS-B 요건에 따라 선정된 화재시나리오들에 대해, 리스크 기여도의 상한치를 포괄할 수 있는 수준으로 혹은 보수적으로 점화원의 화재 강도 및 지속시간을 명시하라.</p> <p>①</p>	<p>For ignition sources that are risk-significant contributors and where supported by the current state of practice, PROVIDE a probabilistic representation of (a) the effects of ignition source type and location (b) the range of fire heat release rate profiles (c) the contribution of low-likelihood but potentially more challenging fires For fire scenarios that are risk-significant contributors where a probabilistic representation of the ignition source is not available, SPECIFY the basis for the characterization of the fire-ignition source used in the analysis.</p> <p>①</p> <p>[점화원 화재 특성 설정] 리스크 기여도가 높은 점화원들에 대해, 현재 기술수준(관행)으로 가능한 경우에 한하여 아래에 대한 확률론적 표현을 제공하라: (a) 점화원 종류 및 위치 효과 (b) 화재 열발출률 프로파일 범위 (c) 발생가능성은 낮지만 잠재적으로 더 위협적인 리스크 기여도. 반면, 점화원에 대한 확률론적 표현이 가능하지 않은, 리스크 기여도가 높은 화재시나리오들에 대해서는,</p>	②	③

안 내 문

1. 이 보고서는 원자력리스크연구회에서 논의 결과를 바탕으로 작성되었습니다.
2. 이 보고서에 포함된 내용은 연구 목적을 위한 참고 자료이며, 이 보고서에서 표현된 견해는 연구회 또는 연구자 소속기관의 공식 입장이 아닌 개별 연구자의 분석과 해석에 따른 것입니다.
3. 이 보고서의 일부 또는 전체를 인용하거나 배포할 경우, 출처를 명확히 밝혀야 합니다.