

기기검증용 냉각재상실사고 질량 및 에너지 방출 해석방법론 개발 (Development of LOCA M/E Release Analysis Methodology for Equipment Qualification)

김철우, 최한림, 한기수, 송중효, 박찬억
한국전력기술(주) 원자로설계개발단 안전해석처, 대전광역시 유성구 덕진동 150, 305-353
cwkim@kopec.co.kr

1. 개요

최신 안전해석 기술을 반영한 내환경 기기검증을 위한 새로운 냉각재상실사고(LOCA) 질량 및 에너지 (M/E) 방출 해석방법론 개발은 가동 중인 국내 가압경수로에의 적용 가능성을 확인하여 내환경 기기검증을 위한 독자적인 기술적 기반을 확립하기 위한 것이다.

원전의 기계·전기기기의 내환경 검증을 위해서는 제한적인 가상사고시의 환경인자 거동에 대한 보수적이거나 사실적인 사고해석방법론이 요구된다. 현재 국내에서 보유하고 있는 내환경 기기검증용 해석방법론은 CE 방법론으로서 원전 건설 당시의 기술 수준 및 인허가 기준을 반영하고 있다. 그러나 주기적안전성평가에서의 최신 안전해석 기술 및 인허가 기준의 반영 요구 그리고 울진 3,4 호기 이후 APR1400 형인 신고리 3,4 호기에 이르기까지 이루어진 운전성 및 안전성 제고를 위한 설계 변경과 강화된 발전사업자요건 등으로 인하여 기존 해석방법론으로는 기기검증용 격납건물 압력 및 온도 이력곡선관점에서 안전여유도가 충분하지 않다.

2. 연구개발 내용 및 결과

원전 기기검증용 LOCA M/E 방출 해석방법론 개발의 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

2.1 전산코드체계 구축

분석에 사용된 전산코드는 KREM 에서 사용한 전산코드 체계인 원자로냉각재계통 (RCS)의 열수력 해석을 수행하는 RELAP5/MOD3.1/K 와 격납건물 배압 해석을 수행하는 CONTEMPT4/MOD5 를 결합한 전산코드를 M/E 방출 해석을 위해 열수력 모델 수정 및 장기냉각 모델을 추가하고 PC 환경에서도 수행되도록 수정한 배압연계해석 전산코드 체계로서 취출 단계에서 취출후 단계까지 뿐만 아니라 장기냉각 단계까지의 M/E 방출 해석 및 격납건물 P-T 의 통합해석을 수행할 수 있다[1]. 이와 같이 LOCA 취출 및 취출후 단계를 1 회 통합계산이 가능한 전산코드 체계를 사용함으로써 계산시간 및 인력의 감소 그리고 코드연계 과정에서 수반되는 불필요한 가정 및 과도한 보수성을 제거하였다.

2.2 장기냉각 모델

재관수후 단계 종료 이후 장기냉각 단계의 M/E 방출을 계산하기 위해서 재관수후 단계 종료시점 및 장기냉각 단계의 초기조건에 대해서는 재관수후 단계 종료 시점 이전의 계통 열수력 거동 등에 대한 감시논리를 이용하여 기존의 수계산에서 가정한 별도의 단순화된 계통 증기발생 모델인 완전증발 (boil-off) 모델을 적용하였다.

2.3 기존 방법론과의 비교·평가 결과

개발된 본 해석방법론의 원전 적용성 평가를 위해 KSNP 인 울진 3,4 호기에 대해 LOCA 시 내환경 기기검증을 위한 M/E 방출 해석과 격납건물 P-T 해석을 수행하였다. 분석에 사용된 기본 가정 및 초기조건은 기존 해석방법론[2]과 같이 가정하였다.

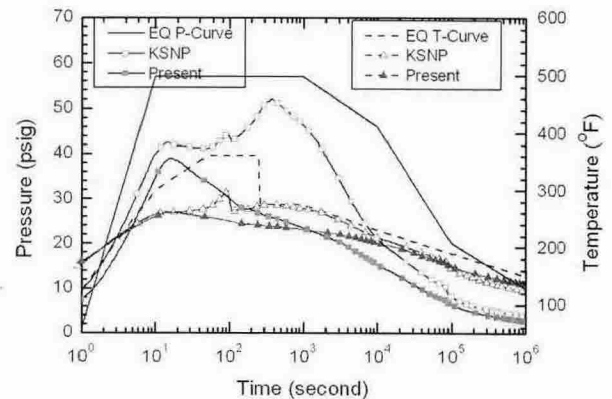


그림 1 울진 3,4 호기 저온관 LBLOCA P-T 비교

본 해석방법론과 기존 해석방법론의 적용성을 비교해 본 결과, 그림 1 과 같이 침투 압력 및 온도는 취출 단계에서만 나타났고 재관수 및 재관수후 단계에서는 전반적으로 낮은 압력 및 온도를 나타내었으며 장기냉각 단계에서는 격납건물 압력은 기존 방법론과 서로 비슷하거나 낮은 거동을 보였고 온도는 전반적으로 낮게 나타났다. 또한, 취출 단계에서의 격납건물 침투 압력 및 온도는 기존의 보수적인 방법론과 유사하게 나타났으나 취출후 단계에서의 M/E 방출량은 기존 모델과 달리 격납건물 P-T 에 미치는 영향이 크게 나타나지 않았다. 이는 최적평가 모델을 사용한 본 방법론에 비해 기존 방법론에서는 취출후 단계에서 과도한 보수성을 고려한 모델을 사용한 것이기 때문으로 판단된다.

본 기기검증용 LOCA M/E 방출 해석방법론의 결과는 기기검증 이력곡선관점, 특히 장기냉각

단계의 온도관점에는 여유가 있는 것으로 나타났다.

2.4 열수력 모델 평가

기존 해석방법론[2]과 본 해석방법론에서의 평가 모델별 규제요건 구현 방법을 비교한 결과, 열수력 모델의 보수성 검토 항목으로 도출한 주요항목인 노심 및 증기발생기의 열전달, 노심과 노심 상부공간 및 고온관에서의 액적편입, 파단방출 계수, 격납건물의 응축 열전달 계수, 파단누출 모델에 대한 검토 및 평가가 구체적으로 이루어졌으며 재충수 단계의 영향 평가, 노심 재관수 단계에서의 CRF(Carry-over Rate Fraction) 및 세부모델 평가, 장기냉각 단계 시작시점 및 장기냉각 모델, 격납건물 P-T 해석 모델 및 초기조건에 대한 민감도 분석 등 해석방법론상의 인허가 주요변수에 대한 평가가 추가로 수행되었다.

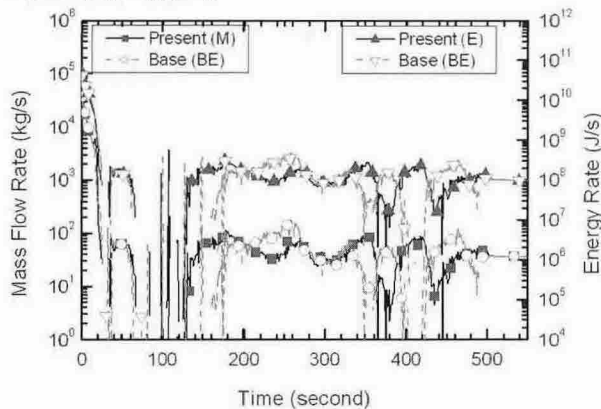


그림 2 열수력 세부모델평가 (1) - M/E 방출량

열수력 세부모델 중 벽면열전달 계수 증배 계수 (2.0), 상간면적 증배 계수(2.0) 및 파단방출 계수 증배 계수(1.5)의 영향 평가 결과는 그림 2 및 그림 3 과 같다. 그림 2 는 재관수후 단계까지의 M/E 방출량을 나타낸 것으로서 보수적인 열수력 세부모델의 증배 계수를 사용할 경우 약간 높게 나타나나 큰 차이가 없다. 즉, 노심 건전성 및 비상노심냉각능력 평가를 위한 LOCA PCT (Peak Cladding Temperature) 분석에 비해 노심 열전달이 M/E 방출에 미치는 영향이 크게 나타나지 않았다. 이는 LOCA PCT 해석과 달리 M/E 방출 측면에서는 노심 열전달의 영향이 크지 않음을 보여주는 것이다. 또한 그림 3 에서 보는 바와 같이 이러한 M/E 방출량의 차이가 격납건물 P-T 에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 M/E 방출 해석에서는 열수력 세부모델에 의한 영향이 크지

않을 뿐만 아니라 본 해석방법론에서는 보수적인 증배계수를 도입하였으므로 인허가 시현성에 문제가 없을 것으로 판단된다.

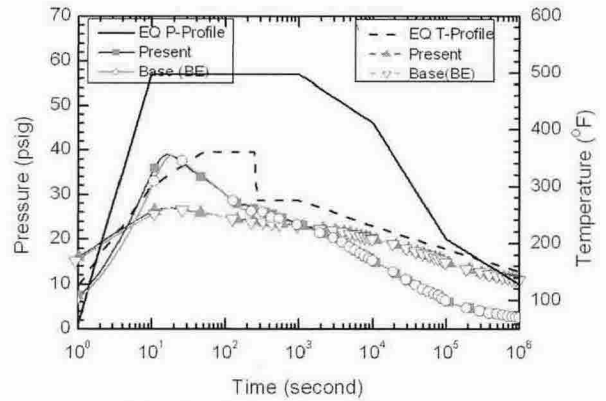


그림 3 열수력 세부모델 평가 (2) - P-T 결과

3. 결론

배압연계 해석 그리고 취출 및 취출후 단계의 1 회 통합계산이 가능한 전산코드 체계를 사용한 본 기기검증용 LOCA M/E 방출 해석방법론을 올진 3,4 호기에 적용한 결과, 취출 단계에서의 M/E 방출량 그리고 첨두압력 및 온도는 기존 방법론과 유사하게 나타났으며 취출 단계 이후에는 기존 해석방법론과 달리 압력 및 온도의 첨두현상이 발생하지 않았다. 장기냉각 단계의 M/E 방출 해석은 기존의 수계산에서 가정한 완전증발(boil-off) 모델을 coding 하였으므로 기존과 유사한 결과를 나타내었다. 따라서 장기냉각 단계 말까지 기기검증용 이력곡선 측면에서 기존 해석방법에 의한 결과보다 더 여유가 있는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 최적평가모델 등의 최신 안전해석 기술이 반영된 새로운 기기검증용 LOCA M/E 해석방법론은 국내 가동원전에 적용 가능한 것으로 사료되며 기존 해석방법론이 갖고 있는 과도한 보수성의 제거로 인해 향상된 안전여유도는 가동원전의 주기적안전성평가 및 후속 호기의 설계변경 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 최한림 외, "고리 1 호기 내환경 기기검증을 위한 소형 냉각재상실사고의 질량 및 에너지 방출해석," 2003 추계학술발표회, 한국원자력학회, 10.30-10.31, 2003.
- [2] 올진 3,4 호기 FSAR, 한국전력공사.