

최적코드를 이용한 복수기진공상실 사고의 보수적 해석

정해용[†]

세종대학교

(2015년 7월 2일 접수, 2015년 9월 10일 수정, 2015년 9월 10일 채택)

Analysis of Loss of Condenser Vacuum Accident using a Conservative Approach with a Best-Estimate Code

Hae-Yong Jeong[†]

Sejong University

(Received 2 July 2015, Revised 10 September 2015, Accepted 10 September 2015)

요 약

발전소 안전성 평가 시 최적해석 코드를 사용함으로써 코드 모델의 보수성을 최소화하고, 해석 조건의 보수성을 확보하도록 다양한 범위의 초기조건을 표본 추출하여 결정하는 방법을 수립하였다. 제시된 방법론의 적용성을 확인하기 위하여 국내 경수로를 참조발전소로 선정하고 첨두 압력이 주요 안전기준이 되는 복수기 진공상실사고에 대한 안전성평가를 수행하였다. MOSAIQUE 프로그램을 이용하여 100가지 다른 초기조건을 생성하고, 자동적으로 과도해석을 수행함으로써 가장 보수적인 결과에 대한 첨두 압력을 얻을 수 있었다. 새로운 방법론에 의해 얻어진 안전여유도는 기존의 방법론과 유사한 수준을 가졌는데, 안전성 평가를 위해 소요되는 시간과 노력을 획기적으로 줄일 수 있음을 확인하였다.

주요어 : 평가 방법론, 안전여유도, 보수성, 안전해석

Abstract - A methodology to determine the most conservative initial condition based on random sampling of operation parameters is established, in which a best-estimate computer code is adopted to minimize the conservatism in code models. To validate the applicability of the suggested method, safety evaluation for a transient of loss of condenser vacuum in a pressurized water reactor is performed. One-hundred different initial conditions are generated by MOSAIQUE program automatically and the peak pressure for the most conservative case is determined from transient analyses. The safety margin obtained with the new approach is almost equivalent to the values determined with the existing methodologies. It is found that the time and human resources required for the safety evaluation could be reduced with the suggested approach.

Key words : Evaluation Methodology, Safety Margin, Conservatism, Safety Analysis

1. 서 론

원자력발전소의 건설 및 운영을 위해서는 다양한 운

전 조건, 그리고 그 가능성은 낮지만 발생이 가능한 것으로 예상되는 사고 조건에서도 해당 설계가 충분한 안전여유도를 확보하고 있음을 입증하여야 한다. 원자력 발전소의 안전여유도는 설정된 인자에 대해서 특정 값을 초과하는 경우 관련 계통이나 부품이 기능을 상실하게 되는 한계값과 실제 발전소가 가지는 값과의 차이 또는 비율로서 정의된다. 그러므로 발전소가

[†]To whom corresponding should be addressed.
Sejong University, 209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul,
Korea 143-747.
Tel : 02-3408-4465 E-mail : hyjeong@sejong.ac.kr

충분한 안전여유도를 유지하면서 운전하게 되면, 어떤 운전 조건에 있더라도 그 발전소는 안전한 상태에 있음을 보증할 수 있게 된다. 경수로의 안전여유도는 방사성 물질 누출에 대한 방벽의 건전성을 확인하는 핵비등이탈율(DNBR) 또는 핵연료 및 피복재 온도, 원자로냉각재 계통의 건전성 유지에 필요한 압력 또는 스트레스, 격납계통의 온도 및 압력, 그리고 환경에 미치는 방사선량 등으로 설정된다. 안전에 영향을 미치는 여러 인자에 대한 제한치는 다양한 방법으로 평가할 수 있으므로, 현실적으로 안전여유도는 법적으로 규정된 허용 기준과 실제 발전소의 상태 값과의 차이로 이해될 수 있다.

발전소 설계자는 개발된 설계에 대한 안전해석을 수행하여 안전여유도를 정량화하며, 이를 위해 입력 조건과 모델을 보수적으로 선정하는 보수적 평가 방법론, 또는 최적모델을 이용한 해석과 불확실도 평가를 수행하는 최적 평가 방법론을 선택적으로 사용할 수 있다. 기존의 보수적 방법론은 확보할 수 있는 안전여유도를 충분히 활용하지 못하는 단점을 가지게 되고, 완전한 최적평가 방법론은 불확실도를 정량화하는데 필요한 데이터의 제약으로 인해 쉽게 채택할 수 없는 한계를 가지는 것이 현실이다. 국제원자력기구(IAEA)는 원자력발전소 안전해석 방법론을 네 가지 범주로 분류하고, 최적 코드를 이용한 보수적 방법론이 최근 전세계적으로 활발히 사용되고 있음을 언급한 바 있다. 하지만 지금까지 건설된 국내 발전소에 대한 안전해석은 대부분 보수적 코드와 보수적 평가 방법론을 사용하여 수행되며, 규제자는 인허가 심사 시 안전성 평가에 사용된 방법론의 보수성이 타당하게 확보되었는지 면

밀하게 검토하고 있다. 그림 1은 원자력발전소의 안전성 평가를 위해 보수적 안전해석 방법론과 최적 안전해석 방법론을 적용하는 경우 그 결과에 의해 결정되는 안전여유도의 일반적인 개념을 제시하고 있다[1].

우리나라는 최근 고유의 중소형원자로인 스마트 설계에 대한 인허가가 완료되었으며, 전 세계적으로 활발히 진행되고 있는 다양한 중소형 원자로와 미래형 원자로 개발에 대한 수요와 필요성이 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라, 단기적으로는 가동 중인 가압경수로형 원전의 설계 변경과 개량형 가압경수로 개발에 따른 규제 기관의 인허가 부담이 증가할 것이며, 장기적으로는 중소형 원자로와 미래형 원자로 개발 및 건설을 위한 인허가 필요성이 대두될 것이다. 이와 같이 원자력발전소 규제 업무의 증대에 따라 설계자가 제시한 보수적 평가방법론과 이를 이용한 안전해석 결과의 타당성을 효율적으로 확인함으로써 규제자의 부담을 최소화하는 방안이 필요하다. 그리고 제4세대 원자로 등의 미래형 원자로의 인허가 심사 시 새로운 설계에 내재될 수 있는 절벽 효과 (Cliff-edge effect)를 배제할 수 있도록 여러 조건에 대한 면밀한 안전해석이 필요하다. 향후 다양한 미래형 원자로 개발 시 불확실도 평가 자료의 부족으로 당분간 최적 평가방법론보다는 보수적 방법론이 사용될 것이며, 이 경우 다양한 보수적 방법론의 타당성이 효과적으로 검증되어야 한다[2]. 그러므로 규제자는 국내에서 개발되는 가압경수로 및 미래형 원자로 설계에 대한 보수적 안전해석 방법론의 타당성을 효과적으로 확인할 수 있는 기법이 필요하며, 원자로 개발자는 완결성 있는 최적코드 기반 보수적 안전해석 방법론을 개발하는 것이 필요하다.

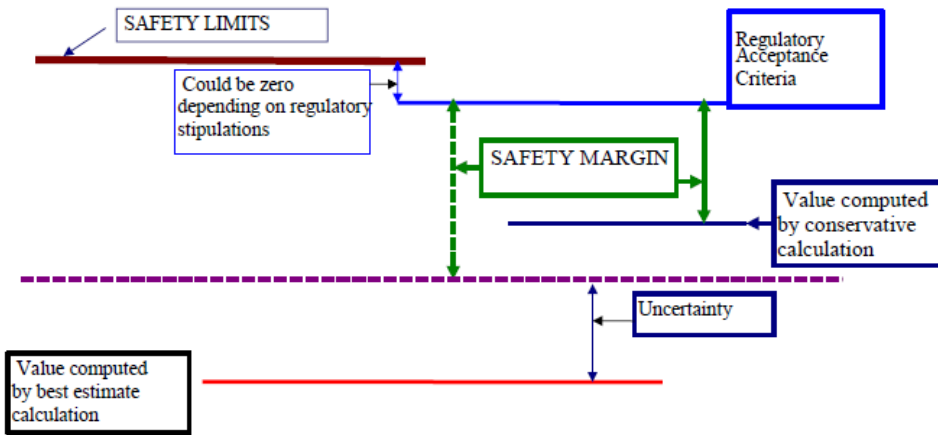


그림 1. 안전해석 방법론에 의한 안전여유도 결정[1]

보수적 평가방법론의 근간은 전문가의 경험에 의한 민감도 변수의 선정과 분석 범위 구성으로 볼 수 있으며, 이는 최근 제시된 최신 반응표면 구성 방법 또는 표본 선정 기술에 의해 완결성을 가지도록 재구성하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 입력 변수 표본 추출에 의해 다양한 조건에서의 안전해석을 수행하고, 이를 근거로 보수적인 방법론에 의한 안전여유도를 평가하는 적용 방법을 확립하였다. 대상 발전소는 국내 가압경수로이며, 대상 사고로는 과도 사고의 하나인 복수기진공상실 (LOCV)를 선정하였다. 계통 해석을 위해서 MARS-KS 코드[3]를 사용하였다.

2. 해석모델

2-1. 발전소 모델링

새롭게 제시된 방법론의 평가를 위해서는 기존 방법론에 의해 얻어지는 결과와 비교하고 이를 통해 그 방법론의 타당성을 확인하는 것이 중요하다. 그러므로 대상 설계는 기존의 보수적 방법론을 충분히 적용한 경험이 존재하는 요건을 만족시킬 수 있어야 한다. 국내 표준형 가압경수로로는 발전소 설계자가 제시한 보수적 방법론뿐만 아니라 새로운 안전성 평가 방법론인 KNAP[4]과 iSAM[5] 등 다양한 방법론에 대한 인

허가 경험이 있으므로 가장 적합한 참조 노형으로 볼 수 있다. 참조 노형의 일차계통은 2개의 고온관과 증기발생기, 그리고 4개의 저온관과 4개의 일차냉각재 펌프를 가지는 2-루프 형태를 가진다. 일차계통의 압력 조절 기능을 담당하는 가압기는 하나의 고온관에 연결되어 있다. 대상 노형의 주요 계통설계 특성과 제원은 표 1에 정리되어 있다.

참조 노형에 대한 복수기진공 상실사고 해석을 위해서는 대상설계의 기준 조건에 대한 정상상태 입력을 개발하여야 하며, 복수기 진공상실사고를 해석할 수 있는 과도 상태 입력이 준비되어야 한다. 정상상태 입력에는 일차 냉각재 계통을 구성하는 원자로용기와 내부 유로, 가압기와 가압기 안전밸브, 원자로 냉각재 펌프, 고온관 및 저온관, 증기발생기 및 안전방출밸브, 주급수 및 주증기 계통등을 포함하도록 모델링하였다. 충전수 계통(Charging)과 취출수 계통(Letdown)을 포

표 1. 참조 발전소 주요 제원

항목	참조 노형 설계
열출력	2,815 MW
증기발생기	U-자형 2대
원자로냉각재 펌프	4대
공칭 일차계통 압력	2,250 psia

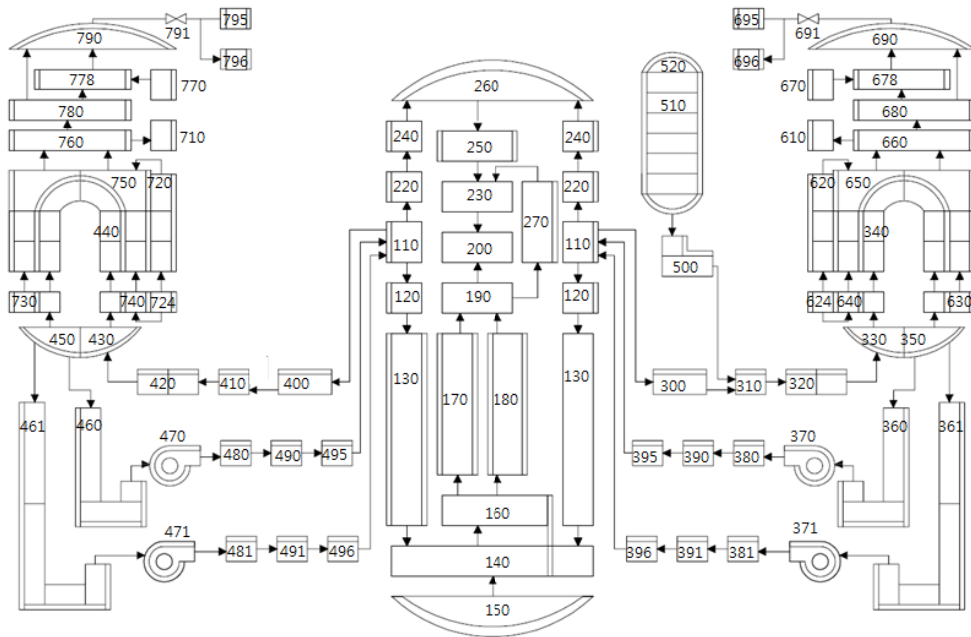


그림 2. 참조발전소 과도 해석을 위한 노드 구성

함하는 가압기수위제어계통과 가압기압력제어계통은 MOSAIQUE 프로그램[6]을 이용한 다양한 정상상태 입력 조건을 생성하기 위해서 필수적으로 모델링되어야 한다. 증기발생기 수위를 조절하는 급수제어계통(FWCS) 또한 정상상태 모의를 위해 모델링된다. 원자로 정지 모의를 위해서는 가변과출력(VOPT), 가압기고압력(HPP), 가압기저압력(LPP), 증기발생기 고수위(HSGL), 증기발생기 저압력(LSGP) 트립 등이 포함되어야 한다. 또한 정상상태에서 동작하지는 않지만 과도 사고 전개에 따라 다양하게 작동하는 가압기 안전밸브(PSV), 주증기 안전밸브(MSSV), 보조급수계통(AFWS) 등도 정상상태 입력에 포함되었다.

2-2. 정상 상태 해석

작성된 기준 조건에 대한 MARS-KS 입력이 원하는 초기 조건을 얻을 수 있는지 1,000초 동안의 정상

상태 해석을 수행하여 확인하였다. 그림 3에서 그림6은 1000초 동안 MARS-KS로 얻어진 정상상태 해석 결과 증 원자로 출력, 노심 입출구 온도, 가압기 압력, 그리고 증기발생기 압력을 보이고 있다. 이 계산에는 충전수 계통(Charging), 취출수 계통(Letdown)을 포함하는 가압기 수위 제어 계통과 가압기 압력 제어 계통, 그리고 주급수 제어계통 등이 모델링됨으로 인해 가압기 압력 및 수위, 증기발생기 수위 등이 미세하게 변화하고 있으나, 전체적으로 참조발전소의 계통해석을 수행하기에 충분한 수준으로 모델링되었다고 판단된다.

표 2는 최종안전성분석보고서(FSAR)에 제시되어 있는 정상상태에서의 주요 계통 변수와 본 연구에서 MARS-KS 계산을 통해 얻어진 값들을 비교하고 있다. 최종안전성분석보고서에 제시된 값들은 100% 정격출력인 노심출력 2,815 MWt에 대해 얻어진 조건인 반면, MARS-KS는 102% 출력인 2,871.3 MWt의 노심

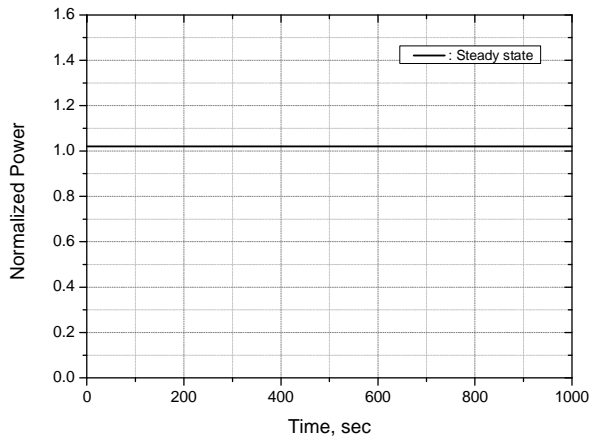


그림 3. 정상상태 원자로 출력 (Normalized)

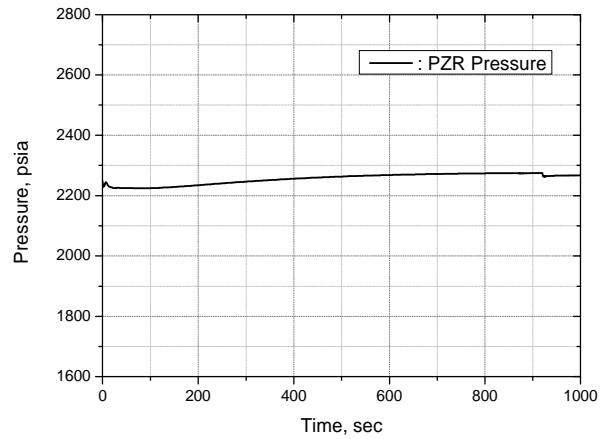


그림 5. 정상상태 가압기 압력

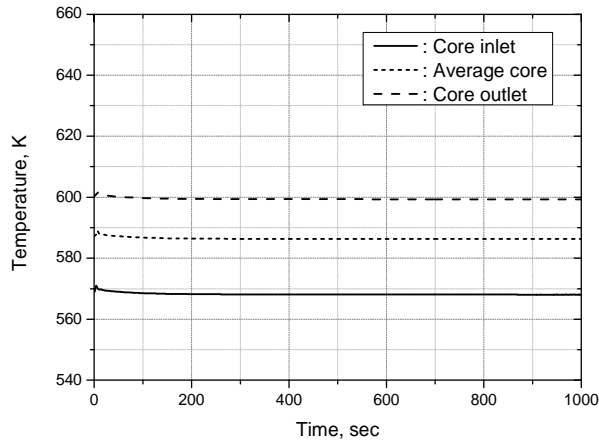


그림 4. 정상상태 노심 입출구 온도

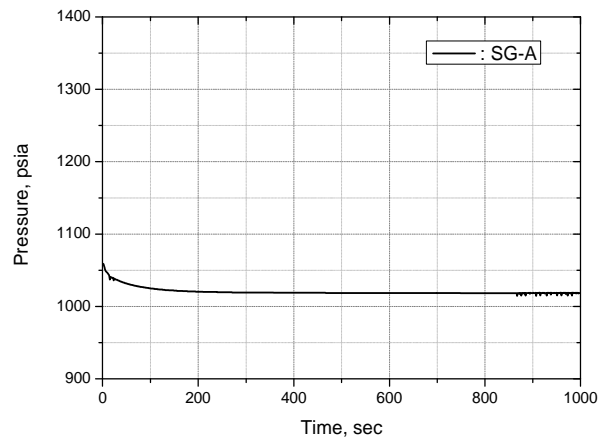


그림 6. 정상상태 증기발생기 압력

표 2. MARS-KS 정상상태 해석 결과

계통변수	FSAR	MARS-KS
원자로 출력, MWt	2,815	2871.3
저온관 유량, kg/s	3,824.4	3946.5
고온관 온도, °C	327.33	326.15
저온관 온도, °C	295.83	294.90
가압기 수위, %	52.60	52.04
가압기 압력, MPa (pisa)	15.51 (2250.0)	15.63 (2267.2)
증기발생기 압력, MPa (pisa)	7.37 (1070)	7.02 (1018.8)
증기발생기 광역수위, %	79	79.2

출력에 대해 얻어진 결과이다. MARS-KS 결과는 증가된 출력으로 인해 원자로냉각재 유량이 증가되었고, 가압기 압력 또한 약간 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 이차계통의 압력은 약간 감소되는 결과를 보였다. 노심 입출구 온도, 가압기 수위, 그리고 증기발생기 수위 등은 타당하게 모의된 것으로 볼 수 있다.

3. 복수기 진공상실사고 안전여유도 평가

3-1. 평가 방법론

국내 경수로 과다사고 안전성평가는 설계자들이 개발한 보수적 안전해석 코드 체계를 이용하여 주로 수행되어 왔으며, 최근에는 최적해석 코드로 분류되는 RETRAN 코드를 사용하는 방법론이 개발되어 그 적용성을 확보하고 있다. 하지만 설계자들이 사용하는 코드들은 일반적인 관련 연구나 인허가 심사에서는 소유권 등의 문제로 직접적으로 사용되는 것이 제한되고 있는 실정이다. 현재 국내에서 안전해석 관련 연구와 규제 검증용으로 활발하게 사용되고 있는 코드는 RELAP5 코드와 MARS-KS, TRACE 등의 최적 코드이다. 본 연구에서는 코드 사용에 제약이 존재하지 않고, 수년간 규제 검증용 코드로 체계적으로 개발되어 온 MARS-KS 코드가 채택되어 사용되었다.

보수적 방법론을 이용하여 복수기진공상실에 대한 발전소의 안전여유도를 평가하기 위해서는 일차계통의 침투 압력을 가장 크게 유발시키는 초기조건의 조합을 결정하여야 한다. 기존 방법론은 이 조건을 결정하기 위해서 보통 주요 변수들을 최대, 최소, 정상운전

조건에 대해 변화시키면서 이 조합을 찾는 과정을 거친다. 참조발전소에 대한 보수적 방법론을 기준으로 할 때 과도해석 사고결과에 영향을 미치는 주요 변수로는 일차계통 냉각재 유량, 노심 입구 온도, 가압기 압력, 가압기 수위, 증기발생기 수위 등을 들 수 있다.

CESEC-III 코드를 사용하는 ABB-CE 방법론과 RETRAN 코드를 이용하는 KNAP 방법론 개발 시 수행한 민감도 분석 결과에 따르면, 복수기진공상실 시 가장 높은 침투 압력이 얻어지는 조건은 원자로 정지 시점, 가압기 안전밸브 개방 시점, 그리고 주증기 안전밸브 개방 시점에 크게 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉, 일차 계통의 압력이 가압기 안전밸브 및 주증기 안전밸브 개방 설정치까지 최대한 근접하는 시점까지 원자로정지가 늦어지고, 가압기 안전밸브가 주증기 안전밸브보다 약간 먼저 개방되는 경우 가장 높은 침투 압력이 얻어지는 것으로 알려져 있다.

그런데 위의 방법론은 입력 변수에 대해서 최대, 최소, 정상 3가지 조건에 대해서 변수 별 조합을 구성하므로, 최종적으로 가장 보수적인 침투 압력이 얻어진 초기조건이 정상상태 노심입구 온도, 최대 원자로냉각재 유량, 최소 증기발생기 수위, 정상상태 가압기 압력, 정상 상태 가압기 수위로 결정되었다. 이 방법론은 과도 사건에 대한 해석방법론 개발 초기에 광범위한 민감도 분석이 수행되어 이를 토대로 구성되었다고 볼 수 있다.

제시된 방법론의 타당성을 객관적으로 확인할 수 있는 방법 중의 하나는 해석 결과에 영향을 미치는 민감도 입력 변수의 범위를 선정하고, 이 범위 내에서 표본 추출을 통하여 다양한 입력 조건을 구성한 후 각 경우에 대한 해석을 수행하여 침투 압력이 얻어지는 초기조건의 타당성을 확인하는 것이다. 다양한 초기조건을 얻기 위한 방법은 입력변수를 직접적으로 표본 추출하는 방법이 가능할 것이다. 하지만 MARS-KS 코드를 사용하는 경우 이 방법은 많은 시간과 인력을 요구하므로 비효율적이 된다. 즉, MARS-KS 코드로 참조 발전소의 안전해석을 수행하기 위해서는 원하는 다양한 초기 조건의 조합에 대한 정상상태 해석을 통하여 각각의 초기 조건을 확보하는 것이 선결되어야 하는데, 각 조합에 대해서 독립적인 정상상태 입력을 개발하여야 하므로 시간과 인력의 제한이 따르게 된다. 이것을 회피할 수 있는 효과적인 방법이 발전소의 제어계통을 모델링하고 관련 제어변수를 적절히 조합으로써 원하는 조건을 얻는 간접적인 방법이다.

본 연구에서는 다양한 초기 조건을 얻을 수 있는 간접적 표본 추출 방법을 개발하여 사용하였다. 이 방법은 대상 입력 변수에 지배적으로 영향을 미치는 설계 인자를 도출하여 이 인자의 허용 범위 내에서 무작위 추출하는 방법을 의미한다. 이와 같은 방법은 간접적 설계 인자의 변화가 대상 입력 변수에 영향을 미치는 정도가 다르게 나타날 수 있으므로 적절한 분포를 선정하여야 하는 과정이 필요하며, 입력 변수의 변화 범위가 제한되는 경우가 나타날 수 있다. 하지만 간접적 방법은 적절한 방법을 선정할 경우 다양한 조건에 대한 정상 상태를 자동적으로 생성할 수 있으므로 시간과 인력의 투입을 최소화할 수 있는 이점이 있다. 복수기 진공상실사고 해석을 위한 발전소 초기 조건 선정은 냉각재 펌프 정격 유량, 가압기 압력 제어 설정치, 가압기 수위제어 설정치, 증기발생기 수위제어 설정치 등의 4개 변수에 대해 동시에 100번 표본 추출하는 방법을 사용하여 수행하였다.

3-2. 복수기 진공상실사고 해석 결과

정상상태 입력으로부터 얻어진 발전소 초기 조건으로부터 복수기진공상실사건 해석을 수행하였다. 복수기진공 상실이 발생하면 터빈으로 공급되는 증기유량이 차단되고, 동시에 증기발생기로의 급수유량 또한 차단된다. 그러므로 복수기진공 상실은 약 100초경에 발생하여 터빈(TBN) 트립과 주증기격리밸브(MSIV)가 동작하는 것으로 모델링하였다. 증기우회제어계통(SBCS)와 원자로출력감발계통(RPCS)은 수동상태에 있는 것으로 가정하여 이 계통들에 의한 지속적인 출력 운전은 없는 것으로 하였다.

복수기진공 상실에 의해 이차측으로의 열전달이 급

격하게 감소하고, 주증기계통의 압력이 증가하게 되므로 허용범위를 초과해서 지속적으로 주증기계통 압력이 증가하는 것을 제한하기 위해 주증기안전밸브가 개방된다. 복수기진공상실 사건 시 일차 계통에서 형성되는 침투 압력의 크기는 원자로 정지 시점, 가압기 안전밸브 개방시점, 주증기 안전밸브 개방시점과 밀접한 연관이 있다. 즉 원자로 정지 원인에 따라 각각 다른 결과를 얻을 수 있다. 따라서 소외전원상실이 수반되는 경우 사건 초기 원자로냉각재펌프의 속도 감소로 인해 펌프축 저속도 원자로정지신호 발생 시점이 다른 요인에 의한 원자로정지 시점보다 빨라지므로 소외전원상실을 가정하지 않는다. 또한, 초기 증기발생기 수위가 낮은 경우 증기발생기 저수위에 의한 원자로정지가 빨라질 수 있으므로, 보통 복수기진공 상실 해석에서는 보수적인 결과를 얻을 수 있도록 증기발생기 저수위에 의한 원자로정지를 고려하지 않는다. 이 가정을 적용함으로써 일차계통의 압력 상승률을 높일 수 있다.

증기발생기 저수위에 의한 원자로정지를 고려하지 않는 경우에 대한 100 번의 표본 추출을 통하여 100 개의 초기 조건을 생성하고, 각 경우에 대한 정상 상태 해석과 과도 상태 해석을 수행하였다. 표 3은 100 가지 경우 중 가장 높은 침투 압력을 가지는 경우의 사건 진행 경위를 정리한 것이다. 최대 침투 압력을 가지는 조건은 표에서 주어진 바와 같이 원자로 정지 시점, 가압기 안전밸브 개방시점, 그리고 주증기 안전밸브 개방시점이 근접하여 있고, 가압기 안전밸브가 주증기 안전밸브보다 약간 먼저 개방되고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 이전의 타 연구에서 얻어진 것과 일관성을 가진다.

표 3. 보수적 조건에서의 복수기진공 상실사건의 진행 경위

주요 경위	조건	발생 시간 (초)
복수기 진공 상실	-	100.00
원자로 정지	2,421 psia (가압기고압력)	108.40
PSV 개방	2,540 psia	111.01
최대 RCS 압력	2,650 psia	111.21
MSSV 개방	1,277 psia	111.61
최대 증기발생기 압력	1,322 psia	117.81
보조급수 시작	27.55 kg/s	146.31

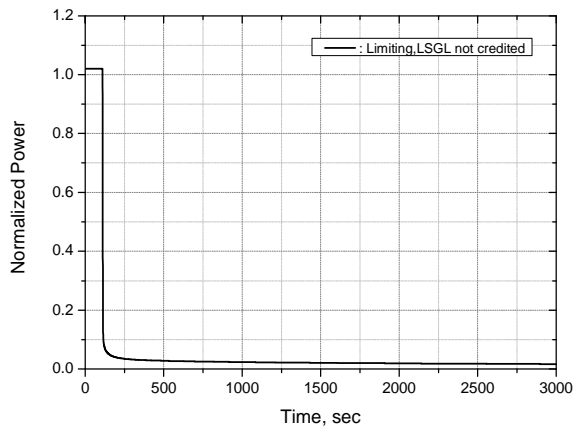


그림 7. 가장 보수적인 경우의 노심 출력

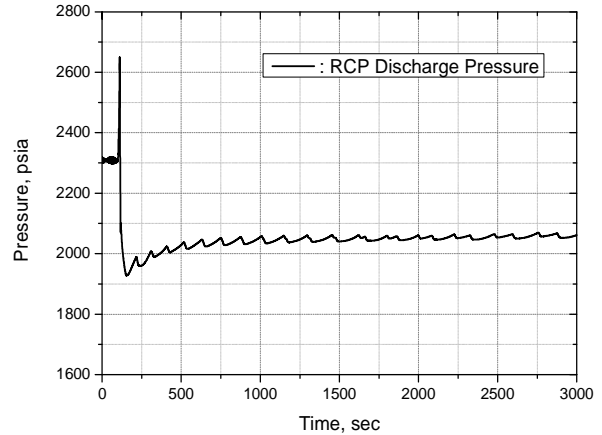


그림 9. 가장 보수적인 경우의 일차계통 압력

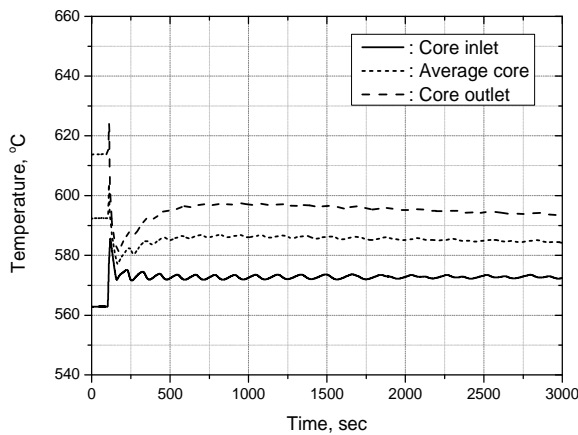


그림 8. 가장 보수적인 경우의 노심 입출구 온도

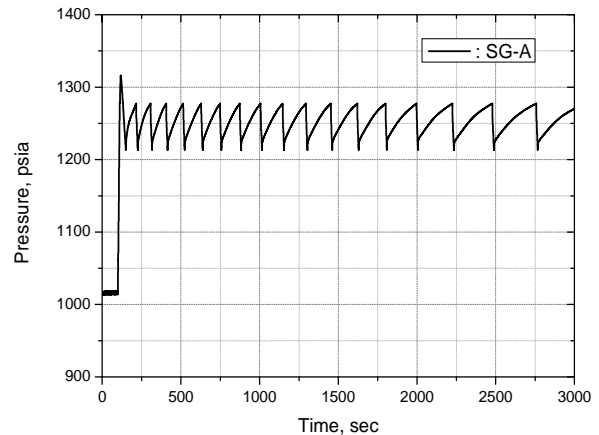


그림 10. 가장 보수적인 경우의 증기발생기 압력

100 가지 다른 초기조건에 대한 복수기진공상실 해석 결과를 정리해 보면, 침두 압력의 범위는 2,589~2650 psia로서 증기발생기 저수위 정지를 고려하는 경우보다 높은 침두 압력값으로 치우치는 결과를 볼 수 있다. 가장 높은 침두 압력을 가지는 경우 일차냉각재 펌프 출구 배관에서 약 2650 psia 정도의 압력이 얻어졌는데, 이 압력은 증기발생기 저수위를 고려하는 경우의 침두 압력보다 약 14 psia 정도 높은 값이다. 그림 7에서 그림 10은 MARS-KS 코드로 얻어진 가장 보수적인 복수기 진공상실 경우에 대한 계통 변수들의 개별 거동을 보여주고 있다. 전체적인 경향은 기준조건에서 얻어진 결과와 유사하나, 가압기 수위와 증기발생기 재고량에 대한 초기 조건이 상당히 차이를 보이고 있다. 그 결과 일차 계통과 이차 계통의 침두 압력이 상당히 증가하는 방향으로 안전계통이 동작하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

원자력발전소의 안전여유도 평가를 위해서는 입력 조건과 모델을 보수적으로 선정하는 보수적 평가 방법론, 또는 최적모델을 이용한 해석과 불확실도 평가를 수행하는 최적 평가 방법론을 선택적으로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 발전소 안전성 평가 시 최적해석 코드를 사용함으로써 코드 모델의 보수성을 최소화하고, 해석 조건의 보수성을 확보하도록 다양한 범위의 초기조건을 표본 추출하여 결정하는 방법을 수립하였다.

제시된 방법론의 적용성을 확인하기 위하여 국내 경수로를 참조발전소로 선정하고 침두 압력이 주요 안전기준이 되는 복수기 진공상실사고에 대한 안전성평가를 수행하였다. MOSAIQUE 프로그램을 이용하여 100 가지 다른 초기조건을 생성하고, 자동적으로 과도해석을 수행함으로써 가장 보수적인 결과에 대한 침두 압력

을 얻을 수 있었다. 새로운 방법론에 의해 얻어진 안전 여유도는 기존의 방법론과 유사한 수준을 가졌는데, 안전성 평가를 위해 소요되는 시간과 노력을 획기적으로 줄일 수 있음을 확인하였다.

수립된 방법론은 가동 중인 가압경수로형 원전의 설계 변경과 개량형 가압경수로 개발 시 설계자가 제시한 보수적 평가방법론과 이를 이용한 안전해석 결과의 타당성을 확인하는데 사용되어 규제자의 부담을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 향후 다양한 미래형 원자로 개발 시 불확실도 평가 자료의 부족으로 최적 평가방법론보다는 보수적 방법론이 사용될 수 있으므로, 이 경우 새로운 설계에 내재될 수 있는 절벽 효과를 배제할 수 있도록 여러 조건에 대한 면밀한 안전해석을 수행하는 기반이 될 것이다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 한국연구재단의 지원에 의한 연구논문입니다.

References

1. IAEA, Safety margins of operating reactors: Analysis of uncertainties and implications for decision making, IAEA-TECDOC-1332, IAEA, Jan. 2003.
2. L. L. Briggs, Uncertainty Quantification Approaches for Advanced Reactor Analyses, ANL-GenIV-110, ANL, Sep. 30, 2008.
3. KAERI, MARS code manual, KAERI/TR-3042/2005, Dec. 2009.
4. KHNP, Korea Non-LOCA Analysis Package, TR-KHNP-0009, 2007.10 (in Korean).
5. Jang, C. and Um, K., Applications of Integrated Safety Analysis Methodology to Reload Safety Evaluation, *Nucl. Eng. Technol.*, Vol. 43, No. 2, April 2011.
6. KAERI, MOSAIQUE Users Guide, Korea Atomic Energy Research Institute, 2014.6.