

원전 화재 확률론적 안전성분석 방법론

배용범 · 금오현
한국원자력안전기술원

Methodology of Fire Probabilistic Safety Analysis in Nuclear Power Plants

Bae, Young Bum · Keum, O Hyun
Korea Institute of Nuclear Safety

요 약

원전 화재 안전정지 기능 확보를 위해 내화성능이 있는 방화벽을 설치, 관련 기기 이설 혹은 보호체 시공을 통하여 해결해 왔으며, 부분적으로 성능기반적인 분석방법을 활용하여 충분히 화재격리 할 수 있음을 입증하여 왔다. 본 논문에서는 부분적으로 적용되었던 성능기반적인 분석방법을 보완하기 위한 방법론으로 화재 확률론적 안전성분석방법론을 소개하고 국내외 적용 현황 및 향후 방안을 제시하였다.

1. 서 론

원자력발전소에 있어서 화재방호 목적은 화재발생으로 인해 원자로 안전정지 기능이 저해되지 않도록 설계하고 유지관리 하는 것이다. 이를 위해서 원자력발전소는 심층방어 설계 개념에 따라 두 개의 안전정지 기능을 수행하는 계열을 내화방벽으로 화재격리하고 신속히 화재를 감지 및 진압할 수 있도록 설계되어진다. 그러나 이러한 설계개념이 도입되기 이전의 구형 원자력발전소는 하나의 방화지역에 다중 안전정지 계열의 기기 및 케이블 등이 존재함으로써 화재발생시 원자로의 안전정지 기능을 상실 할 수 있는 문제점이 있다. 지금까지 이러한 문제점은 화재격리 불만족 지역의 화재 안전정지 기능을 확보하기 위해 내화성능이 있는 방화벽을 설치하거나 기기, 케이블 등을 이설 혹은 보호체 시공을 통하여 해결해 왔으며, 부분적으로 성능기반적인 분석방법을 활용하여 충분히 화재격리 할 수 있음을 입증하여 왔다. 본 논문에서는 부분적으로 적용되었던 성능기반적인 분석방법을 보완하기 위한 방법론으로 화재 확률론적 안전성분석방법론을 소개하고 국내외 적용 현황 및 향후 방안을 제시하였다.

2. 화재 확률론적 안전성분석 방법의 국내외 적용현황

미국 원자력발전소 화재방호는 1979년을 기준으로 1979년 이후 지어진 원자력발전소는 한 지역에서 화재발생시 원자로 안전정지 기능을 상실하지 않도록 화재격리가 비교적 잘 이루어지도록 설계되었다. 그러나 1979년 이전에 지어진 원자력발전소는 원자로 안전정지 기능을 수행하는 다중 계열의 기기 및 케이블이 혼재되어 있으므로 인해 한 지역에서 화재발생시 원자로의 안전정지 기능이 모두 상실되는 문제점을 앓고 있었다. 이러한 화재격리 문제점을 해결하기 위해 초기 원자력발전소는 기기 및 케이블의 이설, 부분 격리, 진압 및 감지설비 추가, 화재감시 등의 방법을 활용하였으며, 현실적으로 화재격리가 어려운 상황에서는 규정을 상당히 완화하는 것을 허용하였다. 초창기 결정론적인 방법을 개선하기 위해 전산유체역학을 활용한 화재분석모델의 개발 및 검증, 확률론적 안전성분석의 방법론 및 자료(DB) 구축 등 활발한 연구가 수행되었다. 이러한 기반을 바탕으로 미국 규제기관은 경수로원전 화재방호에 대한 성능기반 기준(NFPA805)[7]을 채택하여 위험도정보 성능기반 화재방호 규정체계를 적용하기 시작하였다. 원자로 안전정지 기능의 중요 문제점에 집중하기 위해 화재 확률론적 안전성분석을 수행하고 이를 바탕으로 성능기반 방법이 적용되었다. 현재 50여개의 원전이 NFPA805 규정체제로 이행을 진행 중에 있으며, 이에 따라 화재 확률론적 안전성분석 방법론, 자료구축, 화재분석모델 적용 관련 연구가 활발히 수행되고 있다.

국내 원자력발전소는 1979년 이후 화재방호 기준에 따라 지어진 발전소가 대부분이기 때문에 화재격리가 비교적 잘 되어있다. 그러나 구형발전소는 원자로 안전정지 기능을 수행하는 다중 계열의 기기 및 케이블의 혼재로 인한 화재격리 요건을 충족시키지 못하는 문제점을 가지고 있으며 이러한 문제점은 결정론적 방법을 최대한 적용하고 부분적으로 성능기반방법론을 적용하여 보완하고 있다. 구형원전의 성능기반 화재방호 적용을 위해 발전소 전체의 화재 확률론적 안전성분석의 수행은 필수적이며, 향후 계속운전 원전의 증가에 따라 관련 규정이 국내 원자력발전소 화재방호 개선을 위해 요구되고 있다.

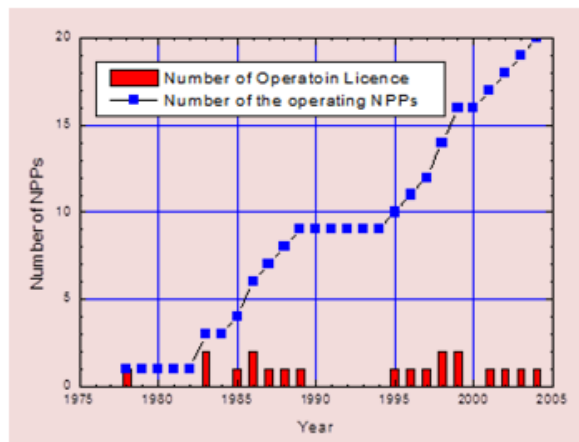


그림 1 국내 원자력발전소 증가추이 및 운영허가 시점

3. 화재 확률론적 안전성분석 방법론

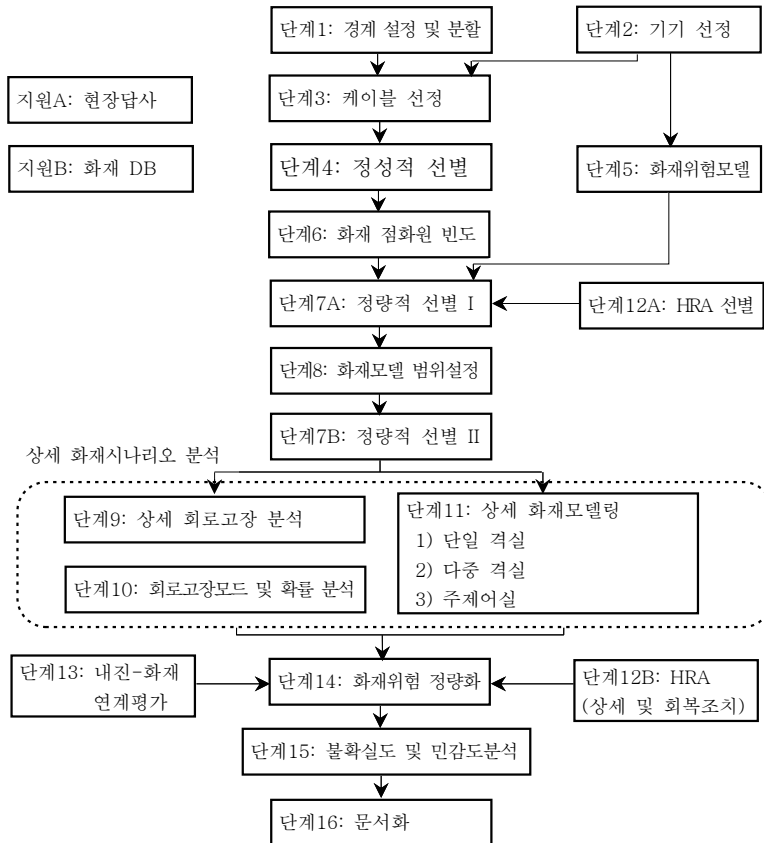


그림 2 화재 확률론적 안전성평가 단계 [8]

4. 화재 확률론적 안전성분석 방법의 향후 적용 방안

화재 확률론적 안전성분석 방법의 적용을 위해 화재방호 관련 규제체계에 경수로원전 화재방호에 대한 성능기반 기준(NFPA805) 및 제한사항이 규정되어야 하며, 화재 확률론적 안전성분석에 대한 상세 평가방안이 필수적으로 요구된다. 특히, 상세 화재모델링 분석, 분석결과와 불확실도 및 민감도 분석, 운전원 회복조치 신뢰도 분석, 점화 빈도 자료 신뢰도 등의 검증에 위한 평가방안의 정립이 요구된다. 이러한 화재 확률론적 안전성분석 방법의 적용은 구형원전의 원자로 안전정지 기능 보완 측면에서 우선적으로 필요하며, 관련 규정의 재정립이 수행되어 향후 계속운전 대상원전에 적용되어야 한다.

5. 결 론

국내 원자력발전소의 화재발생시 안전정지 기능 확보를 위해 내화성능이 있는 내화방벽을 설치, 관련 기기 이설 혹은 보호체 시공 등의 결정론적 방법이 적용되어 왔다. 또한 현실적으로 결정론적 방법의 적용이 어려운 경우에 다중 계열의 화재격리를 위해 부분적으로 성능기반적인 분석방법을 활용하여 결정론적 방법과 동일 이상의 화재격리 성능이 있음을 입증해 왔다. 이렇게 부분적으로 적용되었던 성능기반적인 분석방법을 보완하기 위한 방법론으로 화재 확률론적 안전성분석방법론을 소개하고 미국 원자력발전소 적용 현황 및 국내현황을 제시하였으며, 향후 국내 화재 확률론적 안전성분석방법의 적용은 계속 운전 대상원전의 화재 안전정지 성능 개선을 위해 필수적일 것으로 판단된다.

참고문헌

1. NUREG-1934, "Nuclear Power Plant Fire Modeling Application Guide", U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC(Jan. 2010)
2. NUREG-1824, "Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications", U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC(Jan. 200)
3. NEI 04-02, "Guidance for Implementing a Risk-Informed, Performance-Based Fire Protection Program Under 10CFR50.48(c) Revision 2
4. Regulatory Guide 1.189, Fire Protection for Nuclear Power Plants
5. Le Saux W., "PRISME DOOR programme PRS D6 test report, DPAM/SEREA-2007-122 , PRISME-024", 2007
6. Regulatory Guide 1.205, Risk-Informed, Performance-Based Fire Protection for existing Light-Water Nuclear Power Plants
7. NFPA-805, Performance-Based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants
8. NUREG/CR-6850, Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities.