

Maintenance Rule 개발을 통한 PSA 모델 개선사항 연구

서미로

한전전력연구원, 대전시 유성구 문지동 103-16

mrseo@kepri.re.kr

1. 서론

발전 사업자가 성능기준에 따라 발전소의 상태를 설정된 성능 기준치 이상으로 유지시키기 위하여 효율적인 정비를 수행하도록 하는 정비규정 개발 과제가 현재 울진 3,4 호기와 고리 3,4 호기를 대상으로 수행 중에 있다.

본래의 정비규정 프로그램은 성능기반 프로그램으로 확률론적 안전성 평가(PSA)를 통한 리스크 정보를 반영하여 위험도 정보-성능기반 정비규정을 개발하게 된다. 정비규정 프로그램에서 리스크 정보를 반영할 수 있는 단계는 위험 중요도 결정 단계와 성능기준 수립단계이며, 이중 위험 중요도 결정 단계에서는 PSA 모델의 기본사건을 중요도 순으로 분류하여 정비규정의 기능 분류와 매핑하게 된다. 이러한 매핑작업을 수행하다 보면 PSA 수행 시에는 문제되지 않았던 PSA 모델의 취약점이 도출되게 되며, 이는 정비작업에 따른 사전 위험도 평가 수행을 의무화하고 있는 a(4) 조항의 만족을 위해 반드시 개선되어야 할 사항으로 고려된다.

2. PSA Basic Event Mapping

PSA 기본사건 매핑은 성능기반 프로그램인 정비규정에 위험도 정보를 반영하는 작업으로 PSA 중요도 분석을 통하여 Risk Achievement Worth 가 2 이상이거나 Risk Reduction Worth 가 1.005 이상, 혹은 누적 CDF 90%이상에 해당하는 모든 기본사건을 위험 중요도가 높은 것으로 분류하게 된다. 분류 과정에서 각 기본사건의 위험중요도 값을 비교하게 되며, 정비규정 관점 특히 a(4) 조항의 관점에서 기본사건에 모델링 된 각 기기의 중요도를 검토하게 된다. PSA 는 발전소의 안전성을 확인하기 위하여 사고해석 위주로 발전소를 모델링하고 있으므로 정비관점에서 보는 시각과 차이가 발생하게 된다. 즉, PSA 수행 목적인 안전성 분석 결과에는 영향이 거의 없는 가정 및 모델링이 PSA 결과를 활용하는 연구, 특히 정비규정 a(4)에서 요구하고 있는 Configuration Risk Management Program 과 같은 분야에서는 문제가 될 수

있음이 매핑과정을 통해 나타났다. 이는 향후 PSA 모델 개선작업을 통하여 수정되어야 할 것으로 판단된다.

3. PSA 모델 개선사항

3.1 다중 계열 모델링

원자력발전소는 안전성 확보를 위해 다양성과 다중성의 심층방어철학에 의해 설계되어 있다. 즉, 동일한 기능을 수행하는 설비가 A,B 계열로 평행하게 설계되어 있으며 이러한 경우 PSA에서는 A 계열만 모델링 하는 경우가 많아 모델링 되어 있지 않은 기기들이 다수 파악되었다. 사고 해석 측면에서는 B 계열의 작동 불능 상황을 가정하기 때문에 중요도가 높은 기기라 하더라도 B계열 기기의 경우 모델링이 필요없지만 정비관점에서는 A 계열의 기기가 정비중일 경우 B 계열 기기의 운전가능성이 보장되어야 하기 때문에 중요도가 높은 기기들은 양 계열 모두가 모델링이 필요하게 된다. 또한 PSA 사고 분석을 위한 가정사항으로 B 계열이 운전 불가능 상황을 고려하므로 동일 기기의 경우에도 중요도가 다르게 계산되어 A 계열의 위험도는 중요하게 나오고 B 계열의 중요도는 낮게 나오는 경우가 있다. 이러한 경우에도 운전 불가능 상황이 어느 계열에서 발생할지 모르기 때문에 A,B 계열 동일 기능의 기기들은 중요도를 동일하게 맞춰주어야 한다. 그림 1은 보조급수 계통의 단순화된 P&ID이다. 그림에서 Train B MDP PP02B의 Suction Manual Valve 1001B은 위험도가 높은 것으로 나타나나 A 계열인 V1001A은 모델링되지 않은 것으로 나타나고 있다. 또한, Train A V1003A의 중요도가 Train B V1003B 보다 낮게 나타나고 있다. 그러나, 이러한 대칭성 문제를 고려할 경우 두 계열이 주기능 및 보조기능이 완전하게 동일한 것임을 확인해야 한다.

3.2 Surrogate Basic Event

PSA 기술적인 한계로 상세 모델링이 어려운 경우 PSA 에서는 하나의 중요 기본사건이나 공통원인 고장, 초기사건에 총 사고확률을

대입하여 처리하고 있다. 주로 원자로 보호 계통과 같은 제어 시스템을 모델링 할 경우 이러한 방법을 사용하는데, 이러한 경우 전기 및 제어계통에 대한 중요도를 파악할 수가 없어 정비시 위험도 순위를 결정하기 힘들게 된다.

3.3 계통 모델링 보완

그림 1 에서 CST 간의 공통 모관인 V1197 과 V1168 은 모델에서 제외되어 있으며, 운전 절차서에도 demineralizer 로의 전환운전만 기술되어 있다. 그러나, A 계열의 CST 가 정비중일 경우 공통모관을 확보한다면 CST 간 상호 교차 운전이 가능해져 또다른 수원을 확보할 수 있게 된다. 이러한 경우 a(4)에서의 위험도 평가 결과가 달라지기 때문에 PSA 모델링에 반영하는 것이 타당하다.

또한, V1048/1049 는 Fail to open 만이 중요도가 높은 것으로 나타나고 있으며 이는 PSA 에서 보조급수 공급에 결정적인 기능을 하기 때문이다. 그러나 이 밸브는 고장난 증기발생기 격리라는 중요한 기능을 가지고 있다. 따라서 Fail to close 모드도 반영되는 것이 타당하다.

4. 결론

국내의 경우도 리스크 정보를 반영한 응용 연구가 활성화 될 것으로 예상되며 이에 따라 PSA 품질에 대한 논의가 활발해지고 있다. 정비규정은 리스크정보를 활용한 연구의 성능을 감시할 수 있는 프로그램으로 활용될 뿐만 아니라 PSA 품질을 향상시킬 수 있는 정보를

제공하고 있다. 위에 기술한 PSA 모델 개선 사항은 PSA 를 실제 발전소 상황을 반영할 수 있게 함으로써 리스크 정보 활용 연구의 폭을 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

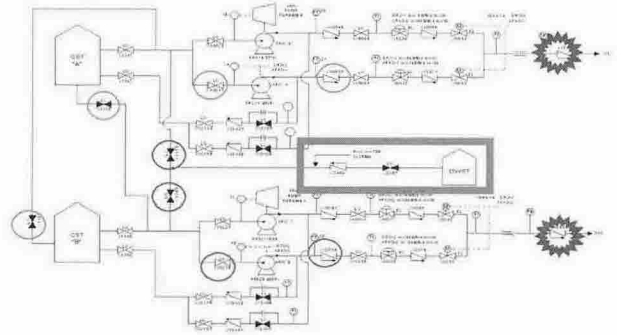


그림 1. 단순화된 보조급수 계통 P&ID

REFERENCES

- [1] U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR 50.65, "Requirement for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants", 1991. 7
- [2] Nuclear Management and Resource Council, NUMARC 93-01, Rev.3, "Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev.2", 2000. 7
- [3] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.160, "Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev. 1", 1995
- [4] KAERI, KAERI/TR-1788/2001, "A Study on Maintenance Rule Program and Its Application at Korean NPP", 2001