

## 국내 공통원인고장 데이터베이스 개발 필요성 고찰

황미정, 양준언

한국원자력연구소, 대전 유성구 덕진동 150 번지

E-mail: mjhwang@kaeri.re.kr

### 1. 서론

본 논문의 목적은 국내 공통원인고장 (Common Cause Failure; CCF) 데이터베이스 개발의 필요성을 제시하는데 있다. 아울러, 현재 대두되고 있는 확률론적 안전성평가 (Probabilistic Safety Assessment; PSA) 표준 모델 개발을 위해 공통원인고장 분야에 대한 ASME PRA Standard<sup>[1]</sup> 등급 II의 요건을 만족시키기 위한 방안을 국내 현실을 고려하여 제시하고자 한다. CCF에 대한 ASME 등급 II의 요건을 만족시키기 위해서는 최신의 CCF 데이터 사용이 필요하다. 그러나 현재, 국내에는 이 요건을 충족시킬 수 있는 데이터베이스가 존재하지 않는다. 현재, 얻을 수 있는 최신의 데이터는 미국 NRC(Nuclear Regulatory Commission)에서 제공하고 있는 데이터인데, Raw Data를 제공하지 않고 단지 일반 CCF factor만을 사용할 수 있도록 하고 있다<sup>[3]</sup>. 그러나 이 일반 CCF factor는 미국내 모든 발전소 자료를 모아 선별 과정이 없이 평가한 것이므로 이 자료를 사용할 경우, CCF 고장 확률값이 과다해질 가능성이 크다.

### 2. 방법 및 결과

#### 2.1 NRC 일반 CCF factor의 문제점 파악

NRC 일반 CCF factor의 문제점은 과거 발생한 모든 자료를 통합하여 factor를 평가했다는 데서 기인된다. 미국의 원전은 국내 원전에 비해 오래된 원전이 많고 설계 형태도 다양하다. 그러나 국내 원전은 대부분이 신규원전이므로 개선된 설계 변경사항들을 많이 반영하고 있다. 그러므로 NRC의 일반 CCF factor를 사용할 경우, 계통의 설계 특성에 따라 CCF 확률값의 차이가 많이 날 것으로 예상된다.

#### 2.2 일반 CCF factor 문제점의 예

ESW(Essential Service Water)의 경우를 살펴 보면, 미국의 발전소는 펌프 흡입수원이 강물, 냉각탑, 바닷물 등으로 다양하다. 참고문헌 [2]에 의하면, 실제 ESW 펌프 흡입구 및 흡입 환경이 CCF에 미치는 영향을 보여주고 있다. NRC CCF 데이터를 검토한 결과, 타 계통의 펌프와 흡입구를 공유하는 ESW 펌프가 많은 CCF 사건의 원인이었다. 다음은 'fail to start'와 'fail to

run'사건에 대한 CCF 사건의 검토 결과이다:

- (1) 7번의 'fail to start' CCF 사건은 모두 흡입구 저압력 신호와 관련된 사건이었다. 이런 사건을 일으킨 발전소의 계통 설계를 자세히 검토해 본 결과, ESW 펌프와 흡입구를 공유하는 타 계통 펌프의 운전에 의해 영향을 받아 트립되었음을 확인하였다.
- (2) 13번의 'fail to start' CCF 사건은 냉방계통 냉각기로의 유량이 증가했을 때, 모든 ESW 펌프가 트립된 사건이었다. 이런 사건을 일으킨 발전소의 계통 설계를 자세히 검토해 본 결과, ESW 펌프가 냉각기 condenser 펌프와 흡입구를 공유하고 있음으로 인해 기인된 사건이었다.

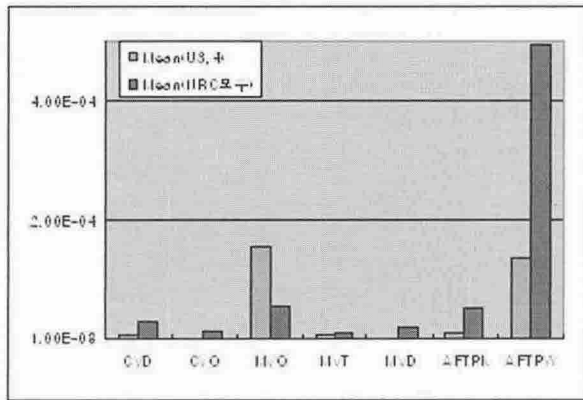
그러나 분석 대상 발전소의 ESW 펌프 흡입구는 suction well에 직접 연결되어 있고, 공통의 흡입관을 갖지 않으므로, 위에 언급된 20개의 CCF 사건은 대상 발전소의 CCF 분석 시에는 선별 제거되어야 한다. 이 외에도 분석 대상 발전소의 설계에 없는 Elevated Water Storage Tank(EWST) 수위와 관련된 사건도 선별 제거하였다. 하지만, 앞에 언급된 사건들을 대상 발전소의 CCF 분석에 모두 포함시켰다면 ESW 펌프의 CCF 확률값이 높게 평가되었을 것이다. 그리고 'failure to run' CCF 사건 중 많은 사건의 원인이 흡입수에 포함된 모래, debris나 기타 물질에 의한 사건이었다. 그러나 분석 대상 발전소의 설계를 검토해본 결과, 발전소마다 방지 기능이 매우 다름을 확인할 수 있었다. 한 발전소는 흡입구를 자연 환경으로부터 완전히 격리한 흡입수원에 ESW 펌프 흡입구가 있어서 이물질에 의한 막힘으로 인해 CCF 사건이 발생할 수 없는 완벽한 조건을 갖추고 있었다. 그러나 다른 두개의 발전소는 강물에 직접 연결된 intake bay에서 ESW펌프의 흡입을 취하고 있어 상대적으로 이물질에 의한 막힘으로 인한 CCF 사건이 발생할 가능성이 더 높은 것으로 판단되었다. 그러므로 분석 대상 발전소의 운전 환경을 고려하여, CCF 분석을 수행하는 것이 필요하다. 그러므로 선별하지 않은 CCF 사건을 가지고 평가한 일반 CCF factor의 사용은 바람직하지 않은 것으로 판단된다. 또한, NRC 일반 CCF factor 평가 과정을 살펴 보면, MOV(Motor Operated Valve) 같은 경우는 독립적인 사건이 분명한데 발생 시기가 비슷하다는 이유로 CCF로 분류한 경우가 있다. 또한, CV(Check Valve)쪽은 steam line과 water line에 있는 CV에

대한 factor를 구분하는 것이 바람직하지만 분리되어 있지 않다<sup>[2]</sup>.

2.3 NRC 일반 CCF factor 적용 예

울진 3,4호기 CCF 사건에 대한 CCF 확률값을 NRC 일반 CCF factor로 평가해 본 결과 50% 정도가 기존의 CCF 확률값에 비해 높게 평가되었다. 그림 1은 MOV와 CV 및 보조급수계통 터빈구동 펌프에 대하여, 울진 3,4호기 PSA의 CCF 확률값과 비교 예를 보여주고 있다<sup>[4][5]</sup>.

그림 1. CCF 고장 확률값 비교 예



2.4 CCF 문제 해결 방안 제안

현 상황에서 NRC CCF factor에 대한 Raw data를 얻을 수 없으므로, 일반 CCF factor 계산에 어떤 사건들이 포함되어 있는지를 모두 파악하기 어렵다. 따라서, ASME<sup>[1]</sup> 요건을 그대로 적용하여 PSA 표준 모델을 평가할 경우, CCF 부분에 대해서는 등급 II를 만족시킬 수 있는 방법이 없다. 그러므로 규제 차원에서 PSA 모델에 대한 품질 평가 결과가 사용되어야 한다면, CCF 요건에 대해서는 국내 현실을 반영한 새로운 요건의 개발이 필요할 것이다. 그리고 국내 상황을 고려한 합리적인 CCF 모수 사용에 대한 지침이 필요할 것이다. 예를 들면, 설계 측면이나 환경 측면에서 비슷한 것으로 판단되는 계통에 대해서는 NRC 일반 CCF factor를 그대로 사용하고 설계 및 환경이 상이한 계통에 대해서는 대체 factor를 찾는 것이 바람직할 것이다. Diesel Generator의 경우와 같이 ICDE(International CCF Data Exchange) 데이터를

이용할 수 있는 경우는 이를 활용하고, 또한 EPRI 자료<sup>[6]</sup>도 활용할 것을 제안한다. 이와 같이 국내 발전소 설계 및 환경을 고려한 CCF factor를 개발하여 CCF 데이터베이스를 활용할 수 있을 때까지 사용하도록 하는 방안이 필요할 것이다.

3. 결론

NRC에서 제공한 일반 CCF factor를 사용하여 CCF 확률값을 계산하면, 실제보다 높은값으로 계산될 가능성이 크다. 그러므로 발전소의 설계 및 환경 특성을 고려하여 분석 대상 발전소에 대한 CCF factor를 분석하여 사용하는 것이 바람직하다. 하지만, 분석 대상 발전소에 대한 CCF factor를 계산할 데이터베이스가 국내에는 없으므로, 국내 상황을 고려한 방법을 구상해보는 것이 필요할 것이다. 그리고 향후 NRC의 CCF Raw Data를 사용할 수 있는 방법을 모색해 보고, ICDE와 같은 국제 협력 프로그램을 적극적으로 활용하는 것도 필요할 것이다. 아울러, 규제 측면에서 PSA 모델 등급을 평가할 필요성이 있을 경우, CCF 요건에 대해서는 ASME 요건을 그대로 따르기보다는 국내 여건을 반영한 새로운 요건을 개발할 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] ASME, "Standard for PRA for NPP Applications," Rev. 15, 2003  
 [2] Jo, Y.G., "Insights from Plant Specific Common Cause Failure Analysis", Proceedings of ICONE12, 2004  
 [3] Marshall, F.M., Mosleh, A., and Rasmunson, D.M., "Common-Cause Failure Database and Analysis System," NUREG/CR-6268, US NRC, 1998  
 [4] Mosleh, M., Rasmunson, D.M., "Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment," NUREG/CR-5485, US NRC, 1998  
 [5] Hwang, M., Han, S., Yang, J., "Guidelines for Common Cause Failure Analysis," KAERI/TR-2444, KAERI, 2003  
 [6] EPRI, "A Database of Common Cause Events for Risk and Reliability Applications," EPRI-TR100382, 1992