

## 원전에서의 동시 다수 지역 화재 발생 리스크 검토

오해철·김형택·지문학·신정민  
한국수력원자력(주) 중앙연구원

후쿠시마 원전 사고 후 극한자연재해 및 광역재해에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 그동안 원전화재 리스크 평가시 단일지역 화재를 가정하여 평가해온 관례와 다르게 동시에 원전 다수 지역에서 발생한 사례 및 사고결말에 대하여 검토한 후 다수 지역 화재를 고려하는 방법에 대하여 기술하였다.

### 1. 서론

원전에서의 화재 PSA 및 화재방호 분석의 관례는 임의의 시간에 단일지역에서의 화재 발생을 가정해서 평가해오고 있다. 후쿠시마 원전 사고 후 광역재해에 대한 관심이 높아지고 있는 데, 본 논문에서는 그동안 발생했던 해외 원전 화재 중 단일지역이 아닌 다중지역에서의 동시 발생했던 화재사례들을 살펴보고 원전 리스크 평가시 이를 고려하는 방법에 대하여 기술하였다.

### 2. 동시 다수 지역 화재 발생 사례 검토

해외 원전에서 실제 동시 다수 지역 화재 발생 사례는 지진 발생 후 지진유발화재가 발생한 경우와 지진과 상관없이 정상운전 중에 동시 다수 지역 화재가 발생한 사례들이 있다. 두 가지 사례들을 나누어서 검토하였다.

#### 가. 정상운전중 동시 다수 화재 발생 사례[1]

정상운전 중 단일원인에 의해 동시에 다수 지역에서 화재가 발생한 몇몇 사례가 있다. Calvert Cliffs 원전과 Palo Verde 원전에서는 회로 단락으로 인해 상당히 멀리 떨어져있지만, 동일한 고장 회로로 연결된 두 개의 지역에서 스파크와 연기가 발생하였다. 비록 크게 전파되지는 않고, 소규모 화재로 그쳤지만, 두 화재 모두 주제어실 운전엔 영향을 주었다. H. B Robinson 원전의 경우 계획예방정비기간 동안 정비원의 실수로 고압수소가스가 발전소공기계통에 연결되었고, 그 영향으로 터빈빌딩내 여러 지역에서 동시에 작은 화재들이 발생하였다. Armenia 원전에서는 전력회로의 불량 차단기에 의해 전력케이블이 과열되면서 여러 지역에서 화재가 발생하였고 인접한 두 곳으로 급속히 전파되어 많은 전력케이블 및 계측제어 케이블이 손상되었다. Kalinin 원전에서는 3개의 지역에서 3개의 서로 다른 점화원에 의해 화재가 발생하였다. 제어회로와 차단기가 손상되면서 해수냉각펌프 모터가 오동작 되었고, 스파크가 발생하여 근처의 케이블 화재로 연결되었다. 또한 스위치가 어 냉각기에도 화재가 발생하였다. 그리고 터빈빌딩내 6 kV 전력케이블을 따라 여러 지역에서 화재가 동시에 발생하였다. Shearon Harris 원전의 경우, 주변압기 B 근처에서 지락사고로 두 개 지역에서 3개의 서로 다른 화재가 발생하였는데, 3개중 2개는 동시화재, 1개는 이차화재로 간주되었다. 지락사고로 변압기내부의 저전압 부싱이 과손되어 변압기오일 누설이 발생하여 화재가 점화되었다. 앞에서 몇몇의 화재 사건들을 통해서 살펴본 것처럼 다수 지역 화재 발생 빈도는 예전에 무시되었던 만큼 낮은 것은 아니기 때문에 다수지역 화재를 야기하는 상황에 대해 상세한 원인조사와 잠재적 리스크 영향을 정확하게 정의하고, 단일지역이 아닌 다수지역 화재시 진압능력을 재평가할 수 있는 방법론을 개발할 필요가 있다.

#### 나. 지진 유발 화재 사례

지진발생 이후에 원전에서 동시 다발적으로 여러 지역에서 화재가 발생한 사례가 보고 되지는 않았지만, 지진으로 인해 특정지역에 화재가 발생함과 동시에 다른 지역에 위치한 화재방호계통의 손상

으로 이어진 몇몇 사례가 있다. 2007년 일본의 가시와자키 가리와 원전에서 리히터 규모 6.6의 지진이 발생한 후 부지내 운전 중이던 모든 호기들이 자동 정지되었지만, 3호기에서는 스위치야드내 변압기에서 화재가 발생하였고, 2시간에 진화되었지만 지진으로 인해 화재방호계통 배관 손상이 동시에 발생하였다[2]. 2011년 3월 일본 Onagawa 원전에 진도 9 지진과 대형 쓰나미가 발생한 후 스위치기어 캐비닛에 지진으로 유발된 arcing fault가 발생 (6.9 kV)하여, 기동변압기 실패, 디젤 발전기 손상 및 케이블 손상이 발생하였고, 캐비닛 안의 arching fault에 의해 화재가 발생하였지만, 지진 및 해일로 접근경로가 방해되고 짙은 연기로 소내 소방대가 화재 구역을 식별 및 도달하는 데 상당한 어려움을 겪었고, 화재는 7시간동안 지속되었다[3]. 이상의 사례에서 보듯이 지진후 발생하는 화재에서는 화재진압경로의 접근성과 화재방호계통의 가용성을 장담할 수 없는 특징이 있다. 일반화재와 달리 지진 후 화재에 대한 리스크 평가시 이를 고려할 필요가 있다.

### 3. 동시 다수 지역 화재 리스크 평가 방법 제안

본 논문에서 제안하는 원전에서 동시 다수 지역 화재 발생에 관한 리스크를 평가하는 방법은 지진 발생 후 지진유발화재가 발생한 경우와 지진과 상관없이 정상운전 중에 동시 다수지역 화재가 발생하는 경우에 대해 리스크를 평가하는 방법은 아래와 같은 정성적 평가방법론을 적용할 수 있다. 단, 동시에 3개 이상 지역 화재를 고려하는 경우, 분석범위가 방대함으로 다수지역 화재는 2개 지역 화재를 한정하여 분석한다.

#### 가. 일반 동시 다수지역 화재 평가 방법

- 1 단계 : 동시 화재 가능성이 높은 2개 방화지역 조합군 선정
- 2 단계 : 2개 지역 동시화재시 안전정지기능 영향 평가
- 3 단계 : 2개 지역 동시진압에 따른 화재진압계통 용량 가용성 평가
- 4 단계 : 2개 지역 동시진압에 따른 인적오류가능성 평가
- 5 단계 : 개선점 도출 및 문서화 작업

#### 나. 지진 유발 동시 다수지역 화재 평가 방법

- 1 단계 : 지진으로 2개 화재 유발 가능 방화지역 조합군 선정
- 2 단계 : 2개 지역 화재에 따른 안전정지기능 영향 평가
- 3 단계 : 지진시 화재진압계통 기능 저하를 평가
- 4 단계 : 가짜 화재 감지 신호의 잠재적 영향을 평가
- 5 단계 : 화재진압계통 오작동의 잠재적 영향을 평가
- 6 단계 : 화재 수동진압시 지진으로 인한 잠재적 영향을 평가
- 7 단계 : 개선점 도출 및 문서화 작업

### 4. 결론

후쿠시마 원전 사고 후 다수호기 또는 다수지역 손상 등 광역재해에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 현재까지의 원전 설계 및 운영에서 적용되고 있는 단일 방화지역 화재 가정대신 2개 이상의 지역에서 동시 화재발생시 또는 어느 한 지역에서의 화재 발생 과 어느 한 지역에서의 화재방호계통상실을 가정하여 평가할 수 있는 방법을 제안하고 있다. 본 방법론은 다수지역 화재 PSA 모델 개발 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. NUREG/CR-6738, Risk Methods Insights Gained From Fire Incidents (2001.9)
2. INPO/SEN-296, Earthquake at Kashiwazaki-Kariwa, (2007.10)
3. NRC, ML121450226, Search for Information on Seismically Induced Fires and Floods (2012.12)