

원자력 시설의 물리적방호 개념설계 및 특성분석

최영, 송대용, 신희성, 김호동

한국원자력연구원, 305-353 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

ychoi@kaeri.re.kr

1. 서론

최근 후쿠시마 원전사고에서 알 수 있듯이 단순한 자연재해(쓰나미)로 시작된 전원상실 등의 기능 상실은 매우 심각한 중대사고를 초래할 수 있다. 유사하게 사보타지 행위로 비롯된 물리적 시설의 핵물질 또는 원자력 시설과피는 직원의 방사능 피폭 위험 내지는 대중과 환경의 잠재적인 방사능 누출을 야기할 수 있다. 본 연구에서는 주요 원자력시설의 물리적방호차원의 기본개념과 설계 특성을 파악하고 최소 시설방호를 위한 개념설계를 제시하고자 한다.

2. 본론

파이로시설을 비롯한 선진핵주기시스템을 성공적으로 구축하기 위해서는 핵주기공정관련 단위시설의 핵확산저항성 특성과 안전조치 및 물리적 방호 시스템의 특성을 분석하고 이를 근간으로 핵확산저항성을 강화하는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 그동안 초보연구단계인 물리적 방호/보안(Physical Protection, Security) 기본 개념을 제시하고자한다.

2.1 물리적방호의 기능성

핵주기 시설의 핵확산성 평가시 물리적 평가척도는 크게 1)침투성공 가능성 2)유발된 사고결말 3) 물리적 방호 적절한 대처방안 등이다. 이에 따른 물리적 방호기능 설계고려 사항은 다음과 같다.

- 탐지: 1) 외부/ 내부 침투감지 2)경보능력평가
- 3)경보알림 및 디스플레이 4) 출입통제계통 등
- 지연: 접근 지연능력
- 대응: 1)대응전력 2)대응전력 통신

2.2 효과적 물리적 방호의 특성분석

앞에서 기술한 효과적인 물리적 방호를 위해서 하드웨어가 설치되고, 잘 운영되어야 하며 그리고 유지/보수되어야 한다. 성공적으로 설계된 물리적 방호시설은 다음 3가지 공학적 특성을 갖추어야

한다. 1)심층방호 2)부품고장에 의한 최소결말 3)균형적인 방호

○ 심층방호

침투를 방어하는 심층방호 수단은 다양한 방호장치를 유지하는 것이다. 효과적인 심층방호를 위해서는 1) 침투가 용이하지 못하도록 복잡한 시스템에 불확실성을 증가시키고 2) 침투실행하기 전에 파중한 준비를 필요하게 하며 3) 침투가 실패하도록 보다 많은 추가 단계를 만들어야한다.

○ 부품고장에 의한 최소결말

물리적 방호같이 복잡한 시스템은 수명기간중에 고장이 발생할 수밖에 없다. 물리적 방호에 관련된 부품고장원인은 다양하고 또한 예상되는 외부 침투로부터 유발되는 환경적인 요인에 의해 비롯된다. 특정 시스템 고장으로부터 정상기능회복을 위하여 단위부품고장이 어떠한 영향을 미치는지를 파악하는 것은 중요하다. 그러나 성공적인 물리적 방호에 있어서 더욱 중요한 것은 기능회복을 위하여 응급대치능력을 제공하는 것이다.

○ 균형적인 방호

어떤 특정 물리적 위협에 대비한 설계특성이 너무 과도하게 설계되었을 지라도 다른 물리적 위협을 방호하기에 적절할 수가 있다. 그러므로 적절한 방호 요소가 균형을 이루어야 한다. 모든 가능한 물리적 위협을 대비하기 위해서는 비용, 안전, 구조적 건전성을 균형적으로 고려해야한다.

2.3 설계기준

물리적 방호의 개념은 하드웨어(보안 장치들), 절차 및 시설 설계(배치 포함)의 종합된 개념이다. 어떤 시스템을 설계를 위하여 설계요소의 성능기준이 필요하다. 물리적 방호기능을 위한 성능 고려 사항은 다음과 같다.

- 탐지기준: 1)탐지확률, 2)통신 및 평가시간 3)경보알림 주기 4)출입통제계통
- 지연기준: 장애극복시간

- 대응기준: 1)대응군 정확한 통신능력 2)통신시간, 3)침투지역에 대한 대응군 배치확률 3)대응배치시간 4) 대응군의 효과성
- 추가 보완사항

앞에서 고려한 사항 외에 효과적인 물리적방호를 위해서는 사람, 절차서 그리고 장비등 종합적으로 연계한 시스템으로 융합할 필요가 있다.

특히 절차서는 아무리 강조해도 지나침이 없을 정도로 중요하다. 비록 소규모 및 저급 수준의 공격에도 방어 할 수 있는 구체적인 절차서를 개발하여야 한다. 절차서 개발 및 활용은 비용효과 측면에서 매우 유용한 도구이다. 절차서는 정상시의 운영, 유지보수뿐 만 아니라 외부침투시의 적절한 방어하는 대응훈련내용을 포함 시켜야한다.

2.4 설계 모의분석

핵주기시설등 주요 원자력시설의 핵심구역 파악을 위한 모델은 임의의 부위에 대한 파손이 동일한 사고결말(예, 계통기능 상실, 공정계열 상실 등)을 갖는 하드웨어의 일정 부분으로 정의될 수 있으며, 각 세그먼트 정의의 작업은 각 계통에 포함된 부품과 계통의 중요성을 평가하기 위해 수행한다. 핵심구역 파악을 위한 분석의 효율성을 높이기 위해서 핵심구역 파악을 위한 전형적인 수행 모델은 그림 1과 같다.[1]

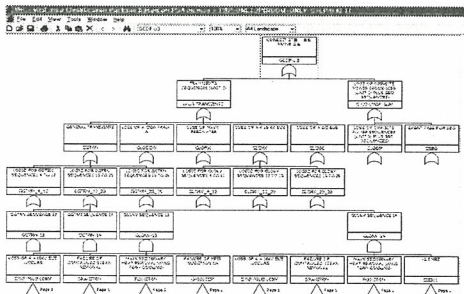


Fig. 1. vital area identification initial model based on PSA technique.

그림2에서와 같이 물리적 방호차원에서 핵심구역 파악은 고장수목분석을 위한 고속실행 알고리즘을 활용하여 시설의 설계가 가능하다는 것을 제시한다.[1] 일반적으로 핵확산성 및 물리적방호 평가는 사용후 핵연료 입고에서 가공공장으로서의 출고 까지를 대상으로 하지만 종합적인 평가는 사용후 핵연료 출/입고에서 핵주기사이클, 그리고 재활용 연료를 사용할 미래원전시스템까지 확대하여 분석할 필요가 있다.

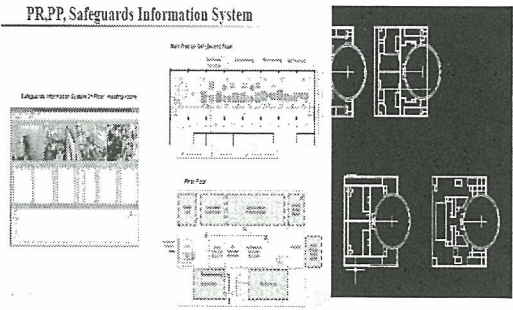


Fig. 2. A Proto-type Display of Primary Building on VAI Results.

3. 결론

최근 IAEA등 국제사회에서는 핵주기시설에 대한 핵확산저항성과 3S(Safeguards, Safety, Security)를 종합적으로 적용할 수 있는 3S 통합시스템 기술을 개발에 방향을 제시하고 있다. 이에 따른 예비 모의분석에 따르면 방사능 위험은 위협과 핵물질의 형태, 핵물질 및 기타 핵분열성 물질의 재고량, 시설이나 핵물질 포장의 설계 그리고, 이들의 안전 특성(safety features)에 크게 좌우된다. 현재 사용한 핵심구역파악에 적용한 관리시스템은 사보타지로 발생하는 사고완화, 훈련 및 위험도를 관리하는 유용한 tool이 될 것이다. 결과적으로 사보타지 가능성과 방사선적 영향과 관련하여 시설의 고유 설계 또는 포장 설계를 구체적으로 수행할 필요가 있다. [2]

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었다.

5. 참고문헌

[1] C.K. Park, W.S. Jung, J.E. Yang, H. G. Kang, "A PSA-based vital area identification methodology development," Reliability Engineering and System Safety, 82, pp. 133-140, 2003.
 [2] S.H. Han, "PC-Workstation Based Level 1 PRA Code Package-KIRAP," Reliability Engineering and System Safety, Vol.30, pp.313-322, 1990.