

파이로시설 격납/감시시스템 설계 절차 적용 및 고려사항

조광호*, 안성규, 송대용, 박세환, 박근일

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jokh@kaeri.re.kr

1. 서론

핵물질 안전조치는 핵물질 계량 기록의 독립적인 확인과 격납/감시 장비의 적용과 같은 핵물질 계량 측정 기법에 크게 의존하고 있다. 사용후핵연료 처리시설 또는 고준위폐기물 처리/처분 시설에 반입되는 핵물질은 주로 해체된 사용후핵연료 및 처리 폐기물과 유리화된 폐기물로 구성되어 있다. 또한 사용후핵연료 또는 그 처리 폐기물은 실질적으로 일반적인 접근이 용이하지 않은 상태로 보관되는 경우가 대부분이다. 따라서 IAEA 안전조치를 이행함에 있어서 사찰관이 재고를 확정하거나 주기적으로 재고 계량을 위한 측정을 시행하기 어려울 수 있다. 특히, 비정상적인 상태에 대한 경고에 대해 재확인 활동이나 보충 측정을 실시하는 것이 현실적으로 어렵다. 이에 따라 격납/감시 시스템의 적용을 통한 충분한 확인을 통해 이러한 재측정의 필요성을 경감시킬 수 있는, 체계적인 격납/감시 시스템의 수립이 중요하다. 본 연구에서는 실증 규모의 시설 설계 시, 격납/감시시스템 설계를 위한 절차를 수립하고 격납/감시 시스템 설계 시, 3S (Safeguards, Safety, Security) 측면에서 고려되어야 할 사항을 정리하고자 하였다.

2. 본론

원자력시설에서 격납 경계를 통한 핵물질 전용 감시 기능을 제공하는 격납/감시 시스템의 설계 절차는 다음과 같다.

- 1) 격납 경계의 설정
- 2) 격납 경계 경로의 확인
- 3) 격납/경계 설계에 의한 전용 경로의 최소화
- 4) 특정 경로를 통한 핵물질 전용 가능성 분석
- 5) 적절한 감시 장비의 설정
- 6) 감시 장비의 성능 인자 설정
- 7) 시스템 성능의 정량화

현재 파이로 시설은 건물의 구성 및 배치 연구를 진행 중에 있다. 구체적인 설계가 이루어지기전에 격납/감시 시스템 설계 절차 적용하여, 그 결과를 토대로 실제 설계 시 요건에 반영할 수 있도록 하여야 할 것이다.

2.1 격납 경계의 설정

파이로 시설의 주 건물은 지하 1층, 지상 6층의 철근콘크리트 구조물로 설계를 고려중이며, 주 건물 1층에는 전처리셀, 파이로셀, 지원시설 등이 위치하고 지하 1층에는 사용후핵연료 임시저장구역, 폐기물처리셀 등이 위치한다.[1] 시설의 격납 체계는 2단계로 구성된다. 내부의 1차 격납은 공정 라인을 둘러싸고 있는 생물학적 차폐 방벽이며, 외부의 2차 격납은 건물 외부 벽체이다.

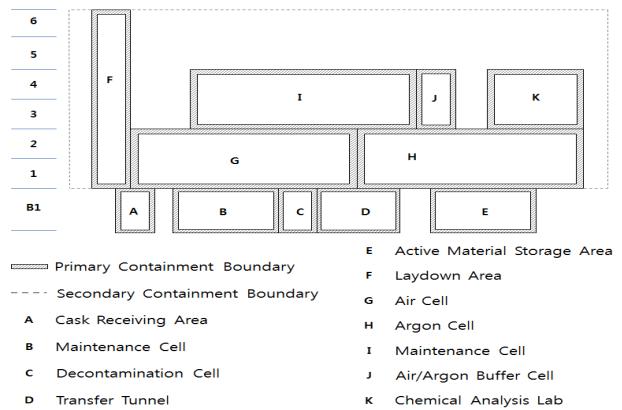


Fig. 1. Containment Boundary design.

2.2 격납 경계의 전용 경로

격납 경계에서의 모든 경로를 분석하기 위해서는 체계적인 절차가 적용되어야 한다. 일반적으로 경로의 분석과 각 경로에 대한 적절한 감시 도구의 결정을 위해 논리 수목도 기법이 적용된다. 그러나 대규모 시설의 경우에는 논리 수목이 불필요하게 매우 방대해지고 복잡해지기 때문에 각 격납방벽에서의 경로를 나열하고, 이 경로에 대한 시설의 설계 정보를 분석하여 결정하는 절차를 적용한다.

2.3 핵물질 전용 흐름 네트워크 구성

핵물질 전용 흐름 Network는 전용 경로를 구성하는 모든 가능한 경로의 조합을 도식화하는데 편리한 기법이다. 대부분의 전용경로는 1차 격납 구역에서 시작해서 외부로 연결되는 라인으로 구성되며, 일부는 1차 격납 구역에서 외부로 단일 경로로 구성되는 경우도 있다. 파이로 시설의 경우 공정라인을 둘러싸고 있는 생물학적 차폐 방벽이 필요한

구역을 1차 격납 구역으로 설정하였다. 이 중, Air Cell과 Argon Cell로 한정하여 network 경로를 구성하였다.

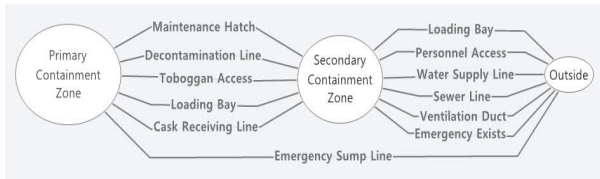


Fig. 2. Air-Cell Diversion Flow Network.

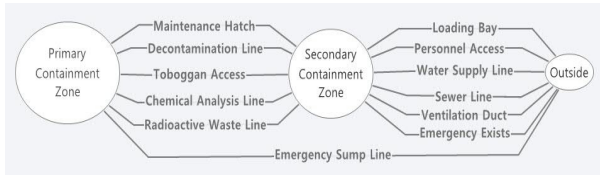


Fig. 3. Argon-Cell Diversion Flow Network.

일반적으로 격납 경계에 설정된 모든 경로를 통해 핵물질 전용이 가능하다고 예상할 수 있으나, 특정한 경로의 경우에는 핵물질 전용이 기술적으로 매우 어렵거나 비용이 많이 소요되어 실질적인 실현 가능성이 희박한 경우가 많다.

2.4 고려사항

원자력시설의 설계 시, 3S (Safeguards, Safety, Security)를 반영하고 통합하여 잠재적인 시너지 효과를 만들고자 하고 있다. 이에 따라, 격납/감시 시스템 설계를 함에 있어 3S 측면에서 대표적으로 고려해야 할 사항은 다음 절과 같다.

2.4.1 출입구

안전조치 측면에서 전용가능성을 낮추기 위해서는 가장 내부의 격납 경계부터 최종 외부 격납 경계까지의 경로들 중 핵물질의 전용을 위해 사용 가능한 출입구 등의 수를 최소화 하고자한다. 그러나 안전측면에서는 사람의 안전보호를 위해 비상상황 시 탈출 할 수 있도록 최소한 한 개 이상의 탈출로를 만들어야 한다고 명시되어 있다.[2]

물리적방호 측면에서 안전조치와 “출입구 수의 최소화해야한다.” 라고 같은 맥락에 있으나, 등급 I 핵물질 취급/저장 구역이 있는 파이로시설[1]은 내부구역(inner area)에서의 핵물질 탈취행위를 막기 위하여 적절한 지연시스템을 추가적으로 설치하여야 한다.[3]

2.4.2 격납의 구조

파이로시설은 유지보수셀과 공정셀을 분리하는 방식을 취하고자 한다. 공정셀과 유지보수셀의 기능을 분리하여 핵물질 이동, 장치 변환 가능성(전용 가능성)을 낮추고, 격납/감시 시스템을 단순화 할 수 있는 격납구조이다. 물리적방호 측면에서 격납의 구조가 복잡해질수록 핵물질 탈취 시, 경로의 복잡성으로 인해 접근이 어렵다는 장점이 있으나, 감시의 사각지대가 생길 수 있다. 감시시스템(CCTV)를 통해 경보발생 시 적시평가가 실시되어야 하므로 방호구역에서의 사각지대가 생기지 않도록 하여야 한다.

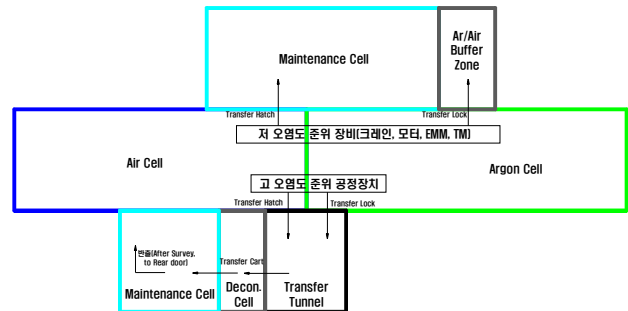


Fig. 4. Pyroprocessing Facility Maintenance Concept.

3. 결론

종합파이로시설의 안전조치접근방안 중 하나인 격납/감시 시스템에 대한 전용경로 분석 및 설계 시 반영되어야 할 요건들을 도출 중에 있다. 추후 파이로 시설설계의 구체화에 따라 격납/감시 시스템의 위치, 공간에 따른 요건, 핫셀 내부에(내방사선) 격납/감시 시스템 설치를 위한 요건, 3S 측면에서 고려사항 등을 통해 세분화된 요건을 도출하고 설계에 반영하고자 한다.

4. 감사의 글

이 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었다 (원자력기술개발사업, NRF-2012M2A8A5025947).

5. 참고문헌

- [1] 가상 공학규모 파이로시설의 물리적방호시스템 예비개념설계요건, KAERI/TR-5278/2013.
- [2] Safety of Nuclear Power Plants : Design, IAEA Safety Standards.
- [3] Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Security Series No.13.