

파이로시설 설계를 위한 안전조치방안 예비개념

안성규*, 권은하, 김봉영, 김호동, 서희, 신희성, 송대용, 원병희, 이채훈, 조광호, 박세환, 박근일
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*skahn76@kaeri.re.kr

1. 서론

시스템 설계란 명시된 요건을 만족시키기 위해 요건을 분석하고 시스템의 구조와 구성요소를 정의하고, 필요한 하드웨어와 소프트웨어를 구축하는 행위를 뜻한다. 핵물질을 취급하는 원자력시스템에서는 안전조치 목표를 만족시키기 위해 물질수지구역(MBA), 주요측정지점(KMP), 그에 따른 계량관리체계와 격납감시체계를 정의하고 측정 및 감시 장비와 데이터 획득 및 검·교정 등의 운전·유지보수 절차를 확보하여 안전조치시스템을 구축한다.

본 연구에서는 안전조치시스템 설계를 위한 세부요건 도출 과정에서 필요한 시스템 개념을 개발하고 있다. 현재까지의 안전조치시스템 구성을 소개하고자 한다.

2. 본론

지난 연구[1]에서 10톤 규모 시설 안전조치성에 대한 평가 결론은 주요 핵물질의 계량 불확도가 이슈이나 DA분석을 포함한 계량관리 기반의 안전조치가 가능하며 격납·감시 수단의 적용성이 우수하다는 것이었다. 이를 기반으로, 30톤 규모의 시설에서도 단위 공정의 배치용량은 동일하다고 가정하고 안전조치시스템의 개념을 다음과 같이 수립한다.

- 입력물질, 출력물질 및 주요재고지점 핵물질을 대상으로 DA 또는 NDA를 통해 계량관리 한다.
- 파이로 공정의 특징을 장점으로 활용하여 격납 및 감시를 최대한 적용한다.

2.1 물질수지구역, 주요측정지점 및 핵물질계량시스템

계량관리를 위한 물질수지구역 및 주요재고측정지점, 그리고 각 지점의 핵물질 계량 시스템을 다음과 같이 구성한다.

- 3 MBA (전처리 + 주공정 + 저장소), 10 IKMPs, 6 FKMPs
- 입력 SF분말, TRU생성물 및 주요재고지점 계량을 위한 시료채취·이송·분석시스템
- U생성물, 폐기물 출력물 계량을 위한 NDA 분석시스템

- U생성물, 폐기물 출력물 계량 검증을 위한 시료채취 후 DA분석
 - 준실시간계량관리(NRTA)를 위해 주요재고지점 및 TRU생성물 NDA 분석 시스템
- 세부적인 측정지점과 계량 및 검증 방안은 발표 시 소개하고자 한다.

2.2 격납감시모니터링 (C/S&Monitoring) 시스템

계량관리를 위한 주요측정지점 이외의 전략지점(Strategic Point)을 전용시나리오에 따른 경로분석을 통해 도출할 수 있다. 각 전략지점에 격납·감시 및 모니터링 기술을 적용하여, 모든 전용경로가 안전조치수단에 의해 보호됨으로써 안전조치목표를 달성할 수 있도록 한다. 격납·감시 및 모니터링 수단은 핵물질, 시료, 장비의 이동에 관한 정보의 검증, 또는 안전조치 관련 자료의 건전성 보존을 목표로 삼는다[2]. 시설 및 장치의 오용을 탐지하는 것 또한 격납·감시 및 모니터링의 주요 목표이며 특별히 파이로 공정의 특성을 반영한 공정모니터링 기술을 적용한다면 공정장치 및 추후 세부적인 전용경로분석을 통해 필요한 지점을 추가할 수 있다는 가정을 두고, 우선적으로는 일반적인 관점에서 전략지점을 설정하였으며, 각 지점에 적용할 격납·감시 및 모니터링 수단을 함께 도출 하였다.

공정모니터링은 핵물질이 계획된 지점에 존재 또는 계획대로 이동하는지 여부를 보장하는 수단이다. 공정모니터링이 효과적으로 적용될 경우 비정상적인 공정 상태나 운전을 탐지하거나 계획된 물자재고 시점보다 먼저 이전에 핵물질의 전용(손실)을 탐지하는데 유용한 기법이다.

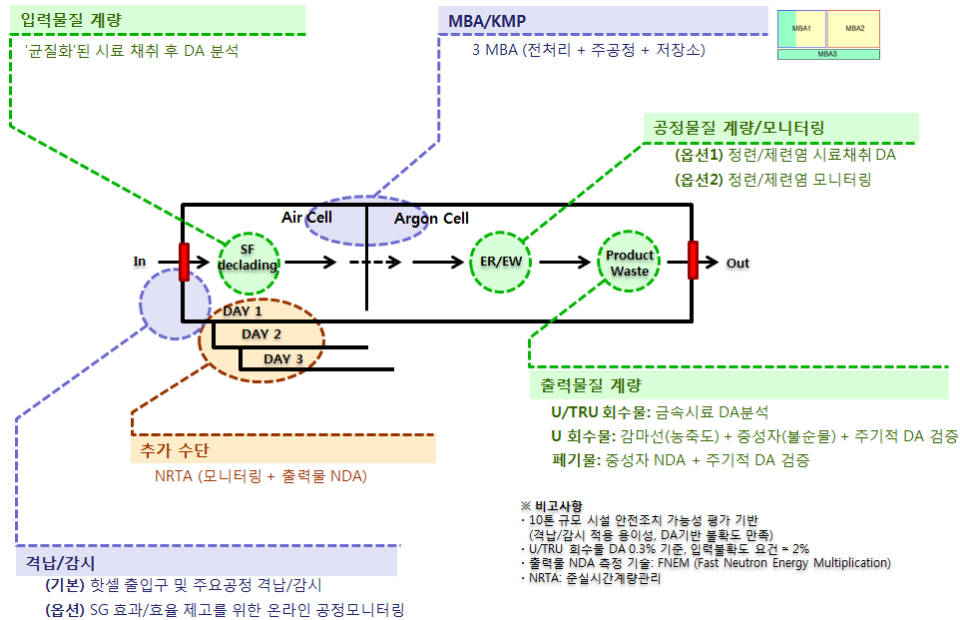


Fig. 46. Conceptual schematic for pyroprocessing facility safeguards system.

2.3 IAEA 사찰검증 지원을 위한 기준 고려

IAEA 안전조치매뉴얼의 안전조치기준(criteria)에는 연간물자재고검증(PIV) 또는 중간사찰검증(IIV)을 수행할 때 검증할 수 없는 물질이 있는 경우 그 제한치와 사찰목표의 정량적 요소를 어떻게 수정하는지에 대한 지침이 포함되어 있다. IIV 시 검증할 수 없어서 검증하지 못하는 핵물질 양의 최대 허용치는 0.6 SQ이다. 기본적인 접근은 검증 가능하면 검증하는 것이다. PIV 시에는 0.3 SQ가 미검증량 최대허용치이다. 검증 시 이 수치는 샘플링 계획에 영향을 미친다. 각 핵물질 재고지점에서는 이러한 검증 요건 제한을 만족할 수 있는지, 공정 운전 상 만족하기 어렵다면 추가적인 방법을 미리 고려하여 설계해야 한다.

3. 결론

상기 기술한 안전조치시스템의 주요 특징은 다음과 같다.

- 입력물질 계량을 위한 시료의 대표성 확보를 위해 균질화 혼합 과정 포함
- 적시적 탐지목표 만족을 위해 NDA 및 기타 수단 적용을 통한 준수시간계량(NRTA) 포함 또한 예비개념설계 단계에서 확정할 수는 없지만 다음과 같은 특징을 포함할 수 있다. 이러한 특징은 핫셀 내 방사선 준위를 평가하고 차폐설계 성능 평가를 수행한 후 확정할 수 있을 것이다.
- 다양한 수단으로 주요 공정에 광학감시 수단을 적용한다.

- 주요핵물질을 NDA 측정할 수 있는 별도의 영역을 포함한다.

시설설계와 공정운전설계를 고려한 안전조치시스템 요건을 도출하고, 이를 만족시킬 수 있는 시스템에 대한 예비개념설계를 2016년도 까지 완료할 계획이다.

4. 감사의 글

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

5. 참고문헌

- [1] Hee-Sung Shin, et al., "Progress of a Member State Support Program (MSSP) for the Development of a Safeguards Approach for a Pyroprocessing Facility," Proceedings of INMM 51st Annual Meeting, Baltimore, MD, July 11-16, 2010.
- [2] IAEA Safeguards Glossary 2001.
- [3] U.S. DOE Standard, DOE-STD-1194-2011 Change 3, "Nuclear Material and Accountability," paragraph 6.2.4.5 (2013) (from Ben Cipiti 발표).
- [4] IAEA, Safeguards Manual, SMC 14, Section 3.1 in Annex 5, Section 3.2 in Annex 6.