

## 모델 파이로시설에 대한 안전조치성 분석

안성규, 송대용, 한보영, 김영수, 신희성, 김호동

한국원자력연구원, 305-353 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

skahn76@kaeri.re.kr

### 1. 서론

한국원자력연구원은 파이로 시설에 대한 안전조치 방안 개발을 지원하기 위한 IAEA 회원국지원프로그램을 통해서, 공학규모의 모델 시설(REPF)을 설정하고 이에 대한 안전조치 방안을 개발해 왔다<sup>[1]</sup>. 적용된 안전조치 방안을 평가하고 개선점 및 향후 연구 방향을 제안하기 위해서, INPRO와 GIF에서 개발해 온 핵확산저항성 평가방법을 활용하였으며, 그 결과를 바탕으로 파이로 시설의 안전조치성에 대한 분석을 수행하였다. 결과는 IAEA 회원국지원프로그램 보고서 및 학술대회를 통해 발표했으며<sup>[2]</sup>, 본 연구에서는 이를 요약하여 소개하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 모델 시설 설정 및 안전조치 방안

공학규모의 기준 파이로 시설(Reference Engineering-scale Pyroprocessing Facility: REPF)은 안전조치 방안 개발을 위해 가상으로 개발된 개념이다. 실제 동일 규모의 시설을 위해 KAERI에서 개발한 설계 개념, 자료 및 공정 특성 자료를 기반으로, 안전조치 분석을 위해 필요한 일부 사항은 임의로 가정하거나 단순화 시켰다. 시설 및 공정은 연간 10톤 규모의 사용후핵연료를 처리할 수 있으며, 최종 생성물은 U/TRU 잉곳, U 잉곳, 고체 및 염 폐기물이다. 동 시설의 배치설계를 포함해서 핵물질 흐름과 이동, 이를 위한 계량 방안 및 비파괴분석 측정 장치, 격납감시 방안을 설정했다. 계량관리를 위해서는 파괴분석 결과를 기본적으로 적용할 수 있으며, 준실시간 계량(NRTA) 정보 제공을 위해서 비파괴분석을 활용하며 이때 큐텀 비율 기법(큐텀 중성자를 측정해 플루토늄을 간접적으로 계량)을 활용한다.

#### 2.2 핵확산저항성 분석

본 연구에서 분석을 위해 적용한 INPRO 핵확산저항성 평가방법론<sup>[3,4]</sup>은, 5개의 사용자요구조건(User Requirement: UR)을 통해 핵확산저항성을

평가하고 시스템 설계에 반영하도록 구성되어 있다. 이들 중 UR-2, UR-3가 대상 시스템의 핵물질, 기술 및 안전조치성에 관한 항목이다. 평가를 위해서 시설의 세분화, 전용 대상지점 및 대상물질 설정, 전용 경로 도출, 전용경로 검토, 대표 전용경로에 대한 핵확산저항성 인자 상세분석 순으로 수행하였다. 표 1은 전용대상 물질로서, 모델 파이로 시설에서 취급되는 핵물질 포함 공정물질과 특성을 보여준다. 각 전용 대상물질에 대한 전용 경로를 도출하여 개략적인 분석을 통해 가장 민감하고 매력적인 물질 및 경로로서, 공정 최종 생성물인 U/TRU 잉곳 3개의 전용 시나리오를 설정하고, 이에 대한 상세 분석을 INPRO 핵확산저항성 평가방법을 통해 수행하였다.

Table 1. Diversion Target Description.

Target ID	Target Description	Target Material Character
TM1	Spent Fuel Cask	Irradiated <sup>235</sup> UandTRU(oxide) 1 Cask = 125FA = 8.4 SQ
TM2	Spent Fuel Assemblies	Irradiated <sup>235</sup> UandTRU(oxide) 1 FA = 0.688 SQ
TM3	Spent Fuel Rods	Irradiated <sup>235</sup> UandTRU(oxide) 1FA=236 rods, 1SQ=343 rods
TM4	Spent Fuel Rod-Cuts	Irradiated <sup>235</sup> U & TRU(oxide) 1 SQ = 900 kg-Rod-Cuts
TM5	SF Powder	Irradiated <sup>235</sup> U and TRU(oxide)
TM6	Reduced Metal	Irradiated <sup>235</sup> U & TRU(metal)
TM7	U/TRU metal	TRU metal (85% Pu) 1 Ingot(6kg)=0.45SQ
TM8	U metal	Irradiated <sup>235</sup> U
TM9	UCl <sub>3</sub>	<sup>235</sup> U in UCl <sub>3</sub>
TM10	Waste	TRU metal (85% Pu)

#### 2.3 안전조치성 분석

시설에 대한 안전조치 방안의 성능은 (1)핵물질 계량관리성(측정능력 및 불확도), (2)격납 감시 수단 적용성, (3)시설 및 핵물질에의 접근성, (4)시설 설계 및 공정의 투명성, (5)계량 및 안전조치 관련 운전데이터 가용성, (6) 시설, 공정, 장비, 핵물질 모니터링 적용성, (7)데이터 정보의 원격 수집성 등의 특성으로 정리할 수 있다<sup>[5]</sup>. 핵확산

저항성 분석결과 및 시설 설계에 대해서 상기 특성의 관점에서 안전조치성을 분석하고, 필요한 개선사항 및 연구 방향을 도출할 수 있다.

2.4 분석 결과

파이로 공정물질의 핵물질 특성 및 제조, 이동, 보관 관점에서, 계량의 정확도 및 측정의 용이성은 일반적인 수준보다 낮을 것으로 예측되나 대상 시설의 용량을 고려할 때 안전조치 목적 달성은 가능할 것으로 보인다. 이 때 비파괴분석을 이용한 계량방안을 위해 큐륨 비율이 일정하게 유지된다는 가정에 대한 검증이 필요하다. 고방사선 방출로 인한 자체보호(self-protection)나 방사선 감시수단에 의한 안전조치는 기존 사용후핵연료 처리 기술(시설)보다는 강점을 가진다.

고방사능 물질을 염을 이용해 화학공정하기 때문에 차폐 및 높은 기밀성 유지가 필요한 파이로 공정의 특성은 높은 격납 감시 적용성과 직결된다. 또한 원격 자동화 운전은 전용 행위를 극도로 어렵게 하고 탐지를 용이하게 하며, 운전 정보의 가용성 및 원격 수집 가능성을 보장할 수 있는 장점이 된다.

3. 결론

안전조치 관점에서 파이로 공정의 특성은 계량관리 적용을 어렵게 하는 단점으로 작용하기도 하지만, 강건한 격납수단을 제공하고 감시 장비의 적용을 용이하게 하는 한편, 핵물질로의 접근성을 낮춤으로서 안전조치 목적 달성에 장점으로 작용하기도 한다. 한 가지 주목해야할 사실은 안전조

치의 목적은 핵물질의 전용을 적시에 탐지하고 이러한 탐지 위협으로 인해 전용을 방해하는 것이다. 핵물질을 측정 계량하는 행위는 이러한 안전조치 목적 달성을 위한 주요 수단일 뿐, 최종 목표가 아님을 상기할 필요가 있다.

기술한 파이로 공정 및 시설의 특성을 장점으로 적극 활용한다면 안전조치 목적을 효과적이고 효율적으로 달성할 수 있을 것으로 평가한다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었다.

5. 참고문헌

[1] H. S. Shin, et al., , "Progress of a Member State Support Program (MSSP) for the Development of a Safeguards Approach for a Pyroprocessing Facility," 51st INMM, July, 2010.  
 [2] S. K. Ahn, et al., "A Proliferation Resistance Analysis for a Reference Engineering Scale Pyroprocess Facility," 52nd INMM, July, 2011.  
 [3] IAEA, TECDOC-1575 Rev. 1, Nov. 2008.  
 [4] H. L. Chang, et al., "Update of the INPRO Methodology for Evaluating Proliferation Resistance," 51st INMM, July, 2010.  
 [5] E. Hass, "Implementation of IAEA Safeguards," BNL Workshop, 8-9 July, 2009.

Table 2. Characteristics of Safeguardability of the REPF.

Characteristic	Discussion	Feature
Accountability	+ MUF uncertainty of DA(small enough), NDA(1.6~3.2 kg) - Should be able to verify the Cm ratio	MUF uncertainty
C/S Applicability	+ Easily applicable of appropriateness of C/S on a acquisition pathway	Hot-cell operation C/S system design
Accessibility	+ Accessible during the transport and at the storage area - Difficult during operation in a hot-cell	Storage cell Hot-cell operation
Transparency	+ After DIV and operation starts, very high cost, long time with high risk of detection for modification + Willingness of the operator or the state	Hot-cell operation Automated process
Data Availability	+ NRTA system data is available for inspection + Operational data is available.	NRTA
Monitoring Applicability	+ High applicability of radiation & process monitoring - Quantitative monitoring of in-process monitoring	High n, l emission Remote operation
Remote Acq. Possibility	+ The collected information can be directly transferred to the safeguards verification authority	NRTA & C/S data