

파이로시설의 핵물질 계량 및 안전조치 설계 방안 분석

신희성, 이태훈, 박광준, 안성규, 주준식, 정정환, 엄성호, 김승현, 홍종숙, 김호동

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045

shinhs@kaeri.re.kr

1. 서론

안전조치(Safeguards)란 원자력의 평화적 이용에 수반되는 핵물질, 장비, 시설 등이 핵무기나 기타의 핵폭발장치의 제조에 전용되지 못하도록 검증하는 일련의 활동을 의미하며, 안전조치의 주요 대상은 평화적 목적의 원자력활동에 수반되는 핵물질, 장비, 시설, 기술 및 이들에 의하여 파생되는 물질 등이라고 규정하고 있다. 안전조치(Safeguards)를 행하는 구체적인 주요 수단은 사찰(Inspection)이며, 해당국가가 제공한 핵물질 보고서를 확인하고 검증하는 것으로서, 핵물질 계량(Accounting), 격납(Containment) 및 감시(Surveillance) 등을 통하여 이루어진다. 그러나 현재 국내에서 연구가 활발히 진행되고 있는 파이로공정에 대한 안전조치 접근방안은 세계적으로 정립되지 않는 상태다. 이에 따라 IAEA는 한국에 회원국지원 프로그램(member state support program : MSSP)을 요청하였고, 정부의 승인을 거쳐서 파이로시설의 안전조치에 대한 한-IAEA 양자간 MSSP를 2008년 8월부터 3년간의 수행하기로 합의하였다. 이 공동연구는 기준파이로시설을 설정하고, 개념적인 안전조치 설계 및 안전조치성 분석을 수행하는 것이 주요내용이다. 이를 수행하는 첫 단계로 본 연구에서는 핵물질 계량방안에 주안점을 두고, IAEA로부터 시설부록(facility attachment)을 받음으로써 안전조치 접근방안이 정립된 차세대 종합공정 실증시험시설(Advanced spent fuel Conditioning Process Facility : ACPF)에 적용한 안전조치 설계 및 핵물질 계량기술을 기준으로 공학규모 파이로시설에 적합한 핵물질 계량 및 안전조치 설계(design of safeguards approach) 방안을 도출/분석하였다.

2. 본론

실험실 규모인 ACPF는 사용후핵연료를 분말화 및 전해환원 공정을 통하여 사용후핵연료의 금속전환을 실증하는 시설로서 단일 물지수지역(Mass Balance Area : MBA)이 설정되어 있으며, 이 시설의 입출입 지점에 4개의 유동(flow) 주요측정지점(Key Measurement Point : KMP)이 설정되어 있고, 시설 내부의 단위공정 위치에 5개의 재고(inventory) 주요측정지점(KMP)이 설정되어 있다[1]. ACPF에 비해 공학규모 파이로시설은 대용량으로서 사용후핵연료 수납/저장시설, 파이로공정시설, 우라늄과 TRU 잉곳 제조/저장시설, 폐기물 저장시설이 독립시설로 운영될 것임으로 각 시설에 별도의 MBA를 설정해야 하고 시설간의 입출입 지점에 유동 KMP를 설정해야 한다. 파이로공정시설은 공기셀과 알곤셀로 분리되며, 공기셀에는 사용후핵연료 절단 및 탈포복/분말화 공정이 있고, 안전조치 관점에서 사용후핵연료 분말혼합공정을 추가해야 하고, 이들 각 단위공정 위치에 재고 KMP를 설정해야 한다.

ACPF의 핵물질 계량관리를 위해서 개발된 중성자 동시 계수기(ACP Safeguards Neutron Counter : ASNC)[2]는 피동형 중성자 계수기로서, 사용후핵연료와 그의 변환물질을 대상으로 하며, 핵물질에 포함되어 있는 주요한 중성자 선원인 Cm을 측정하고 Cm 비율(U-235/Cm 혹은 Pu/Cm 비율)을 사용하여 특수핵분열성물질(special fissionable material : U-235, Pu)의 양을 결정하는 ACPF 전용 핵물질 계량장비다. 공학규모 파이로시설에는 전해정련/제련공정이 추가되며, 이 공정에서는 우라늄이 먼저 회수되고, 나머지 TRU는 정제되어 SFR의 핵연료로 만들어진다. 회수되는 우라늄의 계

량을 위해서는 능동형중성자 계수방법을 도입해야 하며, TRU에 포함되어 있는 Pu의 측정시, Cm 비율이 일정하게 유지될 경우에는 기존의 피동형 중성자 계수방법을 사용할 수 있고, 이 비율이 일정하게 유지되지 않을 경우에는 직접 측정방법이 도입되어야 한다. 핵물질량이 미량 포함되어 있는 폐기물에도 능동형 중성자 계수방법이 적합하며, 사용후핵연료 수납시설에는 감마-중성자 통합측정시스템이 적합하다. 이외 개발 중에 있는 레이저유도분광기(Laser Induced Breakdown Spectroscopy)와 중성자 자체 흡수도 측정(Self Indication Neutron Resonance Densitometry : SINRD) 방법 등이 성능 입증 결과에 따라 파이로시설의 유용한 핵물질 계량장비로 활용될 수 있을 것이다.

Cm 비율을 사용하여 핵물질을 계량하는 ASNC와 같은 피동형 중성자 계수방법에서는 시료 내의 핵물질의 균질한 분포를 전제한다. 사용후핵연료 경우에는 이 균질의 지표가 연소도이다. 적은 양의 사용후핵연료를 취급하는 ACPF에서는 연소도가 균질한 연료봉을 택할 수 있고, 또한 연소도가 균질한 연료봉 중심부분만을 시료로 취할 수 있기 때문에 시료의 연소도 불균질 문제를 쉽게 극복할 수 있다. 그러나 연간 10 톤의 사용후핵연료를 처리하고 배치당 100 kg 정도를 취급하는 공학규모 파이로시설에서는 배치 내 시료의 불균질이 핵물질 계량에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 분말혼합공정이 반드시 필요하고, 혼합공정을 통해 균질화된 분말에 대해 모든 수단을 동원해 정확한 핵물질 계량이 수행되어야 한다. 이를 통하여, 발전소에 제공하는 핵물질량을 정밀 검증해서 파이로공정에서 형질변경이 시작되기 전에 발전소와 파이로시설의 인수/인도 차이(Shipper-Receiver Difference)를 결정할 수 있고, 이를 IAEA의 인정을 받아 정보의 연속성(Continuity Of Knowledge : COK)을 유지할 수 있다. 또한, 파이로공정에 입력된 사용후핵연료의 초기제고량을 확정하여 파이로공정의 물질수지 기준값으로 활용할 수 있고, 특수핵분열성물질(U-235, Pu)의 초기값을 확정하여 핵물질 계량관리의 기준값으로 활용할 수 있을 것이다. 아울러, 정확한 핵물질량 계량으로 미계량물질량(Material Uncounted For : MUF)을 저감시켜 빈번한 재고조사로 인한 파이로공정 작업 중단 등의 부담을 최소화할 수 있을 것이다.

3. 결론

ACPF에 적용한 안전조치 설계 및 핵물질 계량기술을 분석하고 이를 기준으로 공학규모 파이로 시설에 적합한 핵물질 계량방안 및 안전조치설계(design of safeguards approach) 방안에 대해서 살펴보았다. 이를 통하여 공학규모 파이로시설에 대한 MBA 및 KMP를 설정하였고, 발전소와 파이로 시설간의 SRD 결정 및 파이로시설의 사용후핵연료 기준값 결정을 위해서 분말화공정시스템이 반드시 필요함을 확인하였으며, 파이로의 단위공정별 발생하는 핵물질의 특성에 따라서 적합한 핵물질 계량방안을 도출하였다. 아직 파이로공정 안전조치기술로 IAEA 공인된 기술이 없기 때문에 한-IAEA 양자간의 회원국지원 프로그램(MSSP)을 통하여 IAEA의 파이로시설 안전조치 기술기준을 마련하고, 파이로시설의 안전조치 설계와 핵심적인 핵물질 계량 개발을 병행해 나가야 할 것이다.

사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김호동 외, 사용후핵연료 관리.이용 기술개발, 한국원자력연구원 보고서 KAERI-RR-2772/2006.
- [2] T. H. Lee, H. D. Kim, K. J. Jung, S. W. Park, Development of a Neutron Coincidence Counter for the Advanced Spent Fuel Conditioning Process, J. Korean Phys. Soc., Vol. 48(2), p. 218, 2006.