

품목계수 및 중량취급이 혼재된 연구용원자로의 안전조치 적용방안을 위한 계량관리 특성 분석

김현조*, 이성호, 정주앙, 박을재

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*keiki@kaeri.re.kr

1. 서론

진단용 동위원소 중 80% 이상을 차지하고 있거나 전량 수입되고 있는 Mo-99 및 그 외 방사성동위원소 생산, 전력반도체 생산에 필요한 중성자 도핑 용량 증대 및 연구용원자로 수출역량 강화를 위한 국내실증을 위해 기장 연구용원자로 건설이 추진 중에 있다[1,2].

기존 우리나라의 연구용원자로는 모두 품목계수 시설로서 핵물질이 조사만 될 뿐 그 이외의 물리·화학적 변화가 일어나지 않았다. 그러나 부산 기장군에 건설 예정인 기장 연구용원자로의 국내 기존 연구용원자로와 달리 Fission Mo를 생산하기 위한 공정이 같이 존재하고 있으며 공정 중 핵물질의 물리·화학적 변화가 발생되므로 기존 연구용원자로에 적용하고 있는 계량관리 또는 안전조치 이행방안과 다르게 적용되어 할 필요성이 있다. 따라서 본 논문에서는 품목계수와 중량취급이 혼재된 기장 연구용원자로시설에 대해 IAEA에서 추진하고 있는 설계기준 안전조치 적용방안 확립을 위하여 시설 차원의 안전조치 및 계량관리 이행을 위해 공정 특성과 시설 내 핵물질 흐름을 분석하고 이에 따라 주요측정지점을 설정하였다.

2. 본론

안전조치 관점에서 기장 연구용원자로의 크게 원자로 건물 및 Fission Molybdenum (FM) 생산구역으로 구성된다.

2.1 원자로 건물

2.1.1 기장 연구용원자로 특성

기장연구용원자로의 최대 출력은 15 MWth이고, 최대 중성자속은 3.0×10^{14} n/cm²-s 이상이다. 원자로의 수조에 잠긴 개방수조형이며, 냉각재는 경수, 반사체는 베릴륨, 흑연 및 알루미늄을 사용하고 하프늄으로 제작된 제어봉으로 원자로를 제어한다.

원자로의 신연료저장고, 원자로 노심, 작업수조 및 사용후핵연료 저장조로 구성되며, 노심에는 Driver fuel 및 FM 표적 이외에 방사성동위원소 생산 및 중성자핵변환도핑을 위한 조사공이 위치한다[2].

2.1.2 기장 연구용원자로 핵물질 특성 및 흐름

기장 연구용원자로에 장전되는 Driver fuel은 판형 형태의 저농축우라늄 U-7Mo dispersion fuel로서 Standard Fuel Assembly와 하프늄으로 제작된 중성자 흡수체가 연결된 Follower Fuel Assembly로 구성된다[3].

원자로 내에서 Driver fuel의 흐름은 Fig. 1과 같이 다른 연구용원자로와 동일하다.

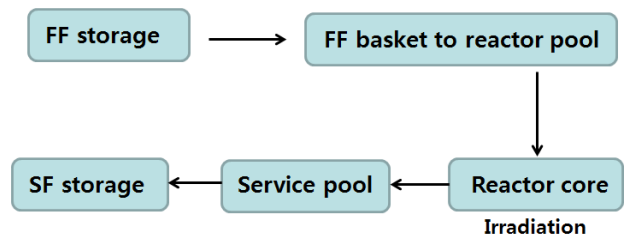


Fig. 1. Driver fuel flow in Kijang Research Reactor.

2.2 Fission Mo 생산 구역

2.2.1 FM 생산구역 특성

Fission Mo 생산 구역은 원자로에서 조사된 FM 표적으로부터 Mo-99 용액을 생산하는 시설로서 콘크리트 핫셀을 포함한 FM 생산과정에서 발생된 우라늄 필터를 저장하기 위한 U filter storage 및 핵물질 분석을 위한 실험실 등으로 구성된다.

핫셀은 의료용 방사성동위원소 생산성을 고려하여 2열로 설치되며, 이송핫셀, 준비핫셀, 용해핫셀, 분리핫셀, 정제핫셀, 포장핫셀, 분배핫셀 및 교체폐기물 임시저장핫셀로 구성된다.

지하에 위치한 U filter cake storage는 여러개의 pit로 구성되어 있으며 각 pit에는 5개의 U filter container가 저장된다.

2.2.2 FM 생산구역 핵물질 특성 및 흐름

Fission Mo를 생산하기 위해 장전되는 FM 표적은 Driver fuel과 같은 농축도의 판형 형태의 UAlx-Al dispersion 표적이 장전된다.

FM 생산을 위해 원자로에서 단기간 조사된 FM 표적을 원자로 수조 내에서 일정시간 동안 냉각 후 사용후핵연료 저장조 내 설치된 이송송강기를 통해 FM 생산구역의 이송핫셀로 반입한다. 반입된 FM 표적은 Mo-99 생산을 위하여 용해핫셀에서 알칼리 용액으로 용해되며, 이 과정에서 침전된 우라늄을 Filter cake로 걸러낸다. 우라늄이 제거된 용액은 Mo-99 생산과정으로 투입되어 Mo-99를 분리하는 공정과 정제공정을 거쳐 방사성동위원소 생산 건물로 이송된다.

용해핫셀에서 Filter cake에 걸러진 우라늄은 Canister에 포장된 후 고체폐기물 임시저장핫셀로 이송되며, 방사능 준위와 붕괴열이 일정조건 이하가 될 때까지 임시 저장된다. Canister에 포장된 우라늄 필터는 고체폐기물 임시저장핫셀에서 U filter cake container에 넣어 용접된 후 지하에 위치한 U filter cake storage에 최종 저장하게 된다.

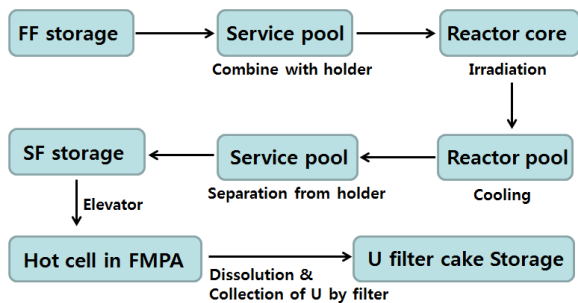


Fig. 2. FM target flow in Kijang Research Reactor.

2.3 주요측정지점 설정

기장 연구용원자로는 크게 원자로 구역과 FM 생산구역으로 나누어지지만 원자로에서 조사된 FM 표적이 FM 생산구역으로 매일 이동이 발생되므로 물질수지구역은 1개의 MBA로 설정되었다. 시설 내 Driver fuel 및 FM 표적흐름을 분석한 결과를 바탕으로 재고 주요측정지점 (Key Measurement Point)은 Table 1과 같이 설정하였으며, 유통 주요 측정지점은 IAEA에서 요청에 의해 모든 시설에 일률적으로 적용하기로 함에 따라 기존 시설과 동일하게 유통 주요재고지점을 설정하였다.

Table 1. Inventory KMPs in Kijang Research Reactor

KMPs	Description
KMP A	Fresh fuel and FM target storage
KMP B	Reactor core
KMP C	Spent fuel storage
KMP D	FMPA hotcells
KMP E	U filter cake storage
KMP F	FMPA hot labs

3. 결론

본 논문에서는 부산 기장에 건설예정인 기장 연구용원자로에 대해 시설차원의 안전조치 및 계량관리 이행을 위하여 시설 특성 및 시설 내 핵물질 흐름을 분석하고 이에 따라 주요측정지점을 설정하였다. 향후 주요측정지점 설정에 대한 타당성을 분석할 예정이며, 원자로에서 조사된 FM 표적이 FM 생산구역에서 공정을 거치면서 발생하는 품목계수 및 중량취급 관련 계량관리 적용방안에 대해 분석하고 품목계수 및 중량취급 공정이 혼재되어 있는 시설의 효율적인 계량관리체제 구축방안을 도출할 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] I.C. Lim, et al., "Strategy for the effective utilization of new research reactor", KAERI/TR-4519/2011.
- [2] H.T. Kim, et al., "A Study on the power supply plan for major system and equipment of KIJANG Research Reactor", KAERI/TR-5731/2014.
- [3] C. Park, et al., "Current Status of the KJRR project and its design features", 16th IGORR, 2014.
- [4] S.G Lee, et al., "LEU-based fission Mo-99 process with reduced solid wastes", Korean nuclear society spring meeting, 2014.