

기장연구로의 계량관리방안 분석에 대한 연구

정주양*, 이성호, 김현조

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jajung@kaeri.re.kr

1. 서론

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

기존 우리나라의 연구용원자로 모두 품목계수 시설로서 핵물질이 조사만 될 뿐 그 이외의 물리 화학적 변화가 일어나지 않았다. 그러나 부산 기장군에 건설 예정인 기장 연구용원자로의 국내 기존의 연구용원자로와 달리 Fission Mo를 생산하기 위한 공정이 연구로와 같이 존재하고 있으며 공정 중 핵물질의 물리·화학적 변화가 발생되므로 기존 연구용원자로에 적용하고 있는 계량관리 또는 안전조치 이행방안과 다르게 적용되어야 할 필요성이 있다. 본 논문에서 기장연구로에 대한 안전조치 이행방안에 대해 다루어보았다.

2. 본론

2.1 안전조치측면에서 시설의 분류

2.1.1 품목계수시설

모든 핵물질이 품목형태로 유지되고 시설이 존재하는 동안 품목의 건전성이 유지되는 시설을 품목계수시설로 한다. 이런 경우에, IAEA 안전조치는 품목계수절차를 기본으로 한다. (예를 들어, 품목계산, 식별, 핵물질의 비파괴측정 및 품목의 꾸준한 건전성을 증명) 품목계수시설의 예시로는 대부분의 원자로와 중요한 시설, 원자로 연료를 위한 저장고가 있다.

2.1.2 중량취급시설

핵물질이 중량형태로 처리, 사용, 보관되는 시설이 중량취급시설이다. 중량취급시설은 여러 물질수지구역의 안전조치를 적용하기 위한 목적에 의해

생성되었다. 예를 들어, 별개의 연료품목의 집합 및 저장과 중량재료의 저장 및 처리과정이 다른 방식으로 계량관리 되어야 하기에 이를 분류하기 위해서 중량취급시설은 생성되었다. 중량취급 물질수지구역에서 시설 담당자에 의해 신고된 흐름량과 재고량은 독립적인 측정과 감시를 통한 IAEA에 의해 증명된다. 중량취급시설의 예로는 변환시설, (동위원소분리를 위한) 농축시설, 연료생산과 사용후연료 재처리시설, 중량물질을 위한 저장시설이 있다 [2].

2.2 안전조치측면의 기장연구로의 특징

2.2.1 원자로구역의 설계 특성

기장 연구용원자로의 방사선 조사 이용설비를 갖춘 연구용원자로로서 수명은 50 년이다. 노심의 열출력은 15 MW이고 최대 열중성자속은 3.0×10^{14} n/cm²-s 이상이다. 원자로는 수조에 잠긴 개방수조형이며 경수를 냉각재로 사용한다. 저농축 U-Mo 판형 핵연료를 사용하고, 베릴륨, 흑연 그리고 알루미늄을 반사체로 사용하며 하프늄으로 제작된 제어봉으로 원자로의 반응도를 제어한다. 또한 기존 하나로 연구용원자로와 마찬가지로 신연료 저장고, 원자로 노심, Service Pool 및 사용핵연료저장조로 구성되어 있다. 그리하여 안전조치측면에서 보았을 때 원자로구역은 2.1.1과 같은 품목계수시설에 해당된다.

2.2.2 Fission Mo 생산시설

핵의학 영상검사에 활용되고 있는 대표적인 동위원소는 Tc-99m이다. 모핵종인 Mo-99으로부터만 들어지는 Tc-99m은 140 keV의 저에너지 감마선을 내며 반감기는 6 시간으로 짧기 때문에 진단용으로 사용하기에 매우 적당하다. Mo-99를 생산하는 방법은 Mo-98에 중성자를 쏘여 만드는 방법과 Fission Mo 공정이 있다. Fission Mo 공정은 우라늄이 원자로에서 핵분열 반응을 일으키면서 생산된 Mo-99를 분리 정제하는 방법으로, 고밀도의 Mo-99를 얻을 수 있어 전 세계적으로 98% 이상

이 Fission Mo 공정으로 Mo-99를 생산하고 있다. 기장연구로의 Fission Mo 생산구역은 원자로에서 단기간 조사된 FM 표적으로부터 Mo-99 용액을 생산하는 시설로서 콘크리트 핫셀, 핵물질 분석을 위한 Hot labs, U filter cake storage 및 부대설비로 구성된다. 안전조치측면에서 볼 때 Fission Mo 생산시설은 중량취급시설로 볼 수 있다[3].

2.3 해외 Fission Mo 생산시설 현황

Mo-99는 캐나다의 NRU, 네덜란드 HRF, 벨기에의 BR2, 프랑스의 OSIRIS, 남아프리카공화국의 Safari-1 원자로 등에서 전 세계 수요의 95%를 생산하고 있으며, 이 중 캐나다의 NRU가 대부분을 차지하고 있다. 이들 원자로는 고농축우라늄을 이용하여 Mo-99를 생산하고 있으며 모두 40년 이상 운전되었다. 그 이외에 호주의 OPAL과 아르헨티나의 CNEA는 저농축우라늄을 이용하여 Mo-99를 생산하고 있으며, 인도네시아 역시 소량의 Mo-99를 생산하고 있다.

그 중 고농축우라늄을 이용하여 Mo-99를 생산하고 있는 남아프리카공화국과 저농축우라늄을 이용하여 Mo-99를 생산하고 있는 호주의 FM 생산 관련 시설에 대한 안전조치 이행현황을 살펴보았으나, 기장연구로처럼 원자로부분과 FM 생산부분이 붙어있는 연구로는 없었다[4].

2.4 FM 표적에 대한 안전조치 적용방안

Fresh FM 표적의 경우 조사되는 표적이 핵물질 인지 Dummy plate 인지 구분하는 것이 IAEA 검증 측면에서 필요하기 때문에 제조시설로부터 FM 표적이 반입되는 형태가 결정된 이후 안전조치 적용방안을 IAEA와 협의할 필요가 있으며, 용접된 U filter cake container를 U Filter cake storage에 최종 저장한 후에는 육안검증이 어렵기 때문에 IAEA가 저장조에 대한 검증방안을 제안할 경우 건설 전에 IAEA와 충분한 협의가 필요하다.

2.5 Mo-99 생산공정 중 발생하는 중준위 액체폐기물에 대한 계량관리 여부 결정

핫셀 내에서는 핵물질 정량분석이 어렵기 때문에 Mo-99 생산 공정중 발생하는 중준위 액체폐기물 내 우라늄 함량 분석 결과에 따라 U filter cake만 계량관리 대상으로 간주하거나 또는 액체폐기물 내

우라늄을 미계량물질 또는 가동 손실로 처리하는 것에 대해 IAEA와 향후 충분한 협의가 필요할 것으로 판단된다.

3. 결론

IAEA에서 핵물질 사용시설을 각 시설특성에 따라 품목계수시설과 중량취급시설로 나누어놓은 것이다. 기장연구로는 경제성과 시설운영편리를 이유로 이 두 부분을 합쳐놓은 시설이다. 앞서 Fission Mo를 생산하는 다른 시설들을 보아도 같은 건물에 품목계수시설과 중량취급시설이 혼재되어 있는 시설은 없었다. 그래서 안전조치 측면에서는 굉장히 까다로운 시설이지만 가능하다고 생각한다. 아직 기장연구로가 부분적으로 설계가 마무리 되지 않았고 (FM표적의 반입 형태), IAEA가 정책적으로 결정할 부분들이 남아있기에 확실한 방안이 도출되지 못한 점이 아쉬운 부분으로 남아있다.

4. 참고문헌

- [1] I.C. Lim et.al., "Plan of New Research Reactor Construction in Korea", ICRR-2011, Aug, Poland, 2011.
- [2] IAEA "IAEA Safeguards Glossary", 2001.
- [3] 김현조, 이성호, 정주양 "품목계수 및 중량취급이 혼재된 연구용원자로의 설계기준 안전조치 적용방안 분석", 2016.
- [4] IAEA, "Production and supply of Molybdenum-99", IAEA 54th General Conference Documents, 2010.
- [5] Juang Jung et al, "A Study on Comparison of HANARO and KIJANG Research Reactor in Nuclear Safeguards", Korean Nuclear Society Autumn Meeting, 2015.
- [6] Hyun-Jo Kim et al, "Analysis on approach of safeguards implementation at research reactor handling item count and bulk material", Korean Nuclear Society Spring Meeting, 2016.