LiCl-Li_2O 염 농도에 따른 PRIDE UNDA 중성자 검출효율 평가

안수정*, 서희, 이채훈, 원병희, 박세환, 구정회
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*crystal8374@kaeri.re.kr

1. 서론

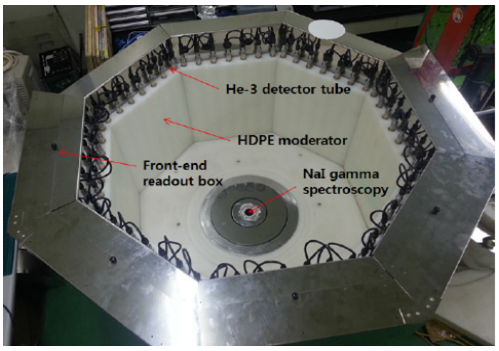
한국원자력연구원에서는 파이로 공정을 통해 발생되는 다양한 형태의 핵물질에 대한 계량연구를 수행하기 위하여 통합 비파괴 측정장치 (Unified Non-Destructive Assay, UNDA)를 개발하였다 [1-2]. PRIDE UNDA는 세 가지 비파괴측정기법(중성자, 감마, 무게측정)을 하나의 시스템으로 통합하여 계통오차를 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 우리 연구팀은 지난 연구를 통해 교정선원을 이용하여 검출기의 성능을 예측하고 [1-2], 전해환원 공정의 입력물질인 UO_2 펠렛 및 U_3O_8 분말에서 방출되는 중성자를 측정하는 실험을 진행한 바 있다 [3]. 본 연구에서는 전해환원 공정의 출력물질에서 LiCl-Li_2O 염이 UNDA 중성자 검출효율에 미치는 영향에 대해 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다.

2. 본론

2.1 MCNP 모델링

Fig. 1은 한국원자력연구원에서 개발한 PRIDE UNDA 시스템을 보여준다. 시스템은 팔각 형태로 한 면당 7개씩 총 56개의 ^{3}He 검출기가 매립되어 있으며, 장치의 하단부에는 NaI gamma spectroscopy와 질량 측정 장치가 구성되어있다 [1].

(a)



(b)

Fig. 1. UNDA system composed of the 56 He-3 detector tube, NaI gamma spectroscopy, and mass balance. (a) side view and (b) top view.

^{3}He 기체검출기는 충전 기압 6.71 atm, 직경 2.54 cm, 높이 50.8 cm의 크기를 갖는다. 본 연구에서는 중성자 검출에 영향을 미치지 않는 구조에 대한 모델링은 생략하였으며, ^{3}He 검출기의 몸체와 ^{3}He 기체가 채워진 유효체적에 대해서 MCNP6를 이용하여 모델링을 수행하였다. (Fig. 2)

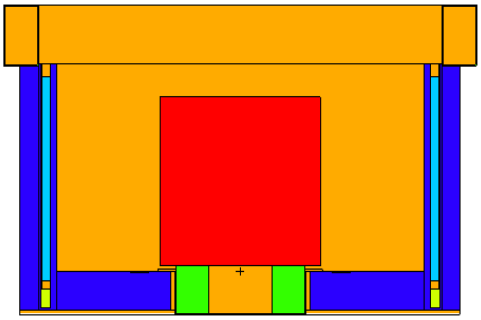


Fig. 2. The simulated geometry.

2.2 LiCl-Li_2O염의 농도에 따른 UNDA의 중성자 검출 효율 평가

전해환원 공정의 출력물질에는 LiCl-1wt%Li_2O 염 성분이 포함되어 있으며, 염 성분이 충분히 제거되지 못하였을 경우, PRIDE UNDA의 반응도에 변화를 유발할 수 있다. 이에 본 연구에서는 LiCl-Li_2O의 중량백분율을 0, 5, 10, 15, 20wt% 까지 변경시키면서 PRIDE UNDA의 중성자 계수율을 확인하였다. PRIDE 전해환원 금속 전환체 용기 구

조를 바탕으로 직경 440 mm, 높이 420 mm 원기둥 형태를 갖는 50 kg의 우라늄과 LiCl-Li_2O물질 (0, 5, 10, 15, 20wt%)로 구성된 팬텀을 모사하였다 (Fig. 2).

2.3 결과

Fig. 3은 LiCl-Li_2O 중량백분율 증가에 따른 중성자 계수율을 LiCl-Li_2O 0wt% 값, 즉 염이 포함되지 않은 경우에 대한 percentage difference (%)로 나타낸 결과이다. 계수율이 감소함을 나타내기 위하여 음수로 표현하였다.

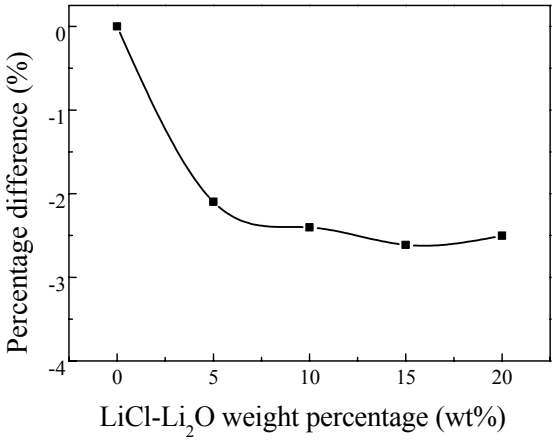


Fig. 3. Percentage difference of UNDA neutron detection efficiency as a function of LiCl-Li_2O weight percentage.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 우라늄에 LiCl-Li_2O 염이 첨가된 경우, UNDA에서의 중성자 계수율이 감소하였으며, 그 정도는 LiCl-Li_2O 염이 첨가되지 않았을 때와 비교하여 2~3% 내외의 계수율 차이를 확인할 수 있었다. 주된 원인으로는 ^{6}Li와 ^{35}Cl의 중성자 흡수단면적이 크기 때문에 이들에 의한 중성자 포획을 들 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 LiCl-Li_2O염 농도에 따른 PRIDE UNDA의 중성자 검출효율 변화를 시뮬레이션으로 확인하였다. 계량오차를 최소화하기 위해서는 염에 의한 중성자 검출효율 저하를 보정할 필요가 있으며, 이를 위해 추후 이에 대한 교정곡선을 획득할 계획이다. 이후 파이로 시료에 대한 핵물질 계량 시 측정 상황을 고려하여 교정곡선을 선택적으로 사용함으로써 계량의 정확도를 향상시킬 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

[1] H. Seo, S-H. PARK, B-H. Won, S-K. Ahn, H-S. Shin, S-H. Na, D-Y. Song and H-O. Kim, "Development of a Neutron Measurement System in Unified Non-Destructive Assay for the PRIDE Facility", Journal of the Korean Physical Society 63(11), 2080-2084 (2013).

[2] 원병희, 서희, 이승규, 박세환, 김호동, "MCNPX 코드를 이용한 통합비파괴측정장치의 중성자 검출효율 평가", 방사성폐기물학회지, 38(4), 172-178 (2013).

[3] H. Seo, S. K. Lee, B-H. Won, S-K. Ahn, H-S. Shin, S-H. Na, D-Y. Song, H-D. Kim, G-I. Park and S-H. Park, "Development of PRIDE UNDA for safeguards application", Journal of Nuclear Science and Technology, 1-9 (2015).