

우라늄 산화 분말 내 ^{235}U 측정을 위한 Am-Li 중성자 선원을 이용한 능동형 중성자 계수

안성규, 엄성호, 신희성, 김호동

한국원자력연구원, 305-353 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

skahn76@kaeri.re.kr

1. 서론

건식처리 공정을 통해 다양한 종류의 핵물질 및 핵분열 생성물이 포함된 물질을 다루는 경우, 시설 혹은 공정의 안전조치 이행을 위해서는 우라늄 및 플루토늄 (^{235}U , Pu)의 양을 정확하게 측정하고 관리하는 것이 핵심 요소이다. 이를 위해 가장 널리 사용되는 핵물질 계량 방법은 중성자 계수를 통한 비파괴 분석이다. 하지만, 공정 물질 중 희수 우라늄은 자발핵분열에 의한 중성자 발생이 거의 없어, 포함된 핵분열성 물질인 ^{235}U 의 양을 측정하기 위해서는 일반적인 피동형 중성자계수 방법을 사용하는데 어려움이 있다. 이러한 경우 외부의 중성자 선원을 이용해 핵분열성 물질로부터 발생하는 유도핵분열 중성자를 계수하는 능동형 중성자 측정 시스템을 이용한 핵물질 계량장치를 적용할 수 있다 [1]. 본 연구에서는 외부 중성자선원으로서 아메리슘-리튬 중성자 선원($^{241}\text{Am-Li}$)을 이용한 능동형 비파괴분석 장비 개발을 위한 성능 테스트를 수행하였다.

2. 본론

2.1 Am-Li 선원 이용

중성자를 이용한 핵물질 측정은 측정된 중성자의 전체 계수량을 활용하는 방법과, 시간적으로 상관관계에 있는 중성자만을 선별하여 동시계수한 결과로 핵물질의 양을 측정하는 방법으로 나눌 수 있다. 핵물질에서 유도핵분열이 일어나는 경우, 시간적으로 동시에 여러 개의 중성자가 방출되므로, 동시계수 방법을 적용할 수 있다. 특이 이때 핵분열을 유도하는 외부 선원이 시간적으로 상관관계가 없는 중성자일수록 동시계수가 용이해진다. Am-Li 중성자 선원에서는 ^{241}Am 이 방출하는 알파입자가 리튬 원자핵에 흡수되는 반응을 통해 한 개의 중성자가 방출한다. 따라서 Am-Li 선원의 중성자는 서로 시간적으로 독립적이며, 동시계수를 통해 제거하면 핵물질의 유도핵

분열에 의한 중성자만을 측정할 수 있게 된다. Am-Li 선원은 ^{252}Cf 중성자 선원과 함께 능동형 중성자 동시계수에 널리 이용되고 있다 [2].

2.2 실험 조건

Fig. 1.1은 측정 실험을 위한 능동형중성자계수와 선원 및 샘플이 장착된 모습을 보여준다. 중성자 계수기는 16 개의 ^3He 튜브와 감속재 및 차폐체, 동시계수 신호를 처리하는 시프트레지스터와 신호획득 컴퓨터 구성되어 있다. 각 검출기 튜브는 PDT (Precision Data Technology Inc.) 앰프와 연결되고, 16개의 신호는 각 8개씩 2개의 그룹으로 분리되어 OR 신호회로에서 합쳐진다. 동시계수를 위한 시프트레지스터 (shift register)는 ORTEC 사의 AMSR 150 (Advanced Multiplicity Shift Register) 모델을 사용하였다. 검출기 튜브 인가 전압은 1680V, pre-delay와 gate width는 각각 4.5 μsec , 128 μsec 로 설정하였다. ^{252}Cf 선원에 대한 계수기의 계수효율은 23%이다.

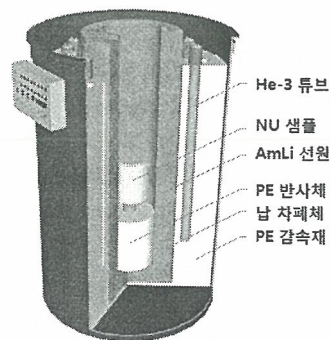


Fig. 1. Active neutron counter loaded an Am-Li neutron source and natural uranium oxide powder sample

Am-Li 선원은 ^{241}Am 에서 나오는 59.5 keV 감마를 차폐하기 위해 직경 25mm, 높이 30mm의 텅스텐 차폐체로 쌓여 있는 밀봉 선원이며, 중성

자 방출율은 초당 6.9×10^4 개, 평균 에너지는 약 0.4 MeV 이다. 3개의 천연우라늄(NU) 시료를 대상으로 측정하였으며, 시료의 형태는 UO_2 분말로서 밀도는 약 2.9 g/cm^3 이다. UO_2 기준 1, 1.5, 2 kg인 각 분말시료는 알루미늄 용기에 담겨 있으며, 용기의 두께는 2 mm, 외경은 9.8 cm이다. 2.5 - 4.5 kg 범위의 측정치는 시료 2개 혹은 3개를 세로 방향으로 쌓은 형태로 위치시켰다. 15 cm 두께의 고밀도 폴리에틸렌(PE) 하부감속재를 중성자 선원 및 샘플 아래에 두었다.

2.3 실험 결과

Am-Li 선원에 대해 동시계수를 할 경우, 발생된 중성자는 시간상관 관계가 없으므로 이에 의한 동시계수 값은 이론적으로는 0 이어야 한다. 하지만 실제 측정 결과, 약 $7.1 \pm 1.5 \text{ cps}$ 로 측정되었고, 이는 샘플이 있을 경우 측정 결과를 보정할 때 추가적인 오차 요인으로 더해진다. Fig. 2는 산화우라늄 분말 내 ^{235}U 양에 따른 백그라운드 보정된 동시계수율의 변화량과 상대 오차의 변화를 나타낸다. 평균적으로 ^{235}U 단위 g 당 4.5 개의 동시계수율을 보였으며, 측정시간이 1,200초인 경우 동시계수의 통계적 오차로 인해 상대오차가 10 - 27%로 컸으며, 측정시간은 24,000초 20배 늘린 경우 3 - 6% 정도로 줄어들었다. 이때 핵물질 양에 대한 동시계수율 증가 경향은 점차 줄어들어 비선형적인 모양을 보인다. 이는 한 개의 Am-Li 선원만을 사용하여, 우라늄의 양이 증가함에 따라 자기차폐(shelf-shielding) 효과가 두드러져 나타나기 때문이다. 샘플의 상하에 각각 Am-Li 선원을 장착한다면 선형성 및 계수율의 증가를 기대할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 능동형 비파괴분석 장비 개발을 위해, 외부 중성자선원으로서 Am-Li 중성자 선원을 이용한 측정 결과를 평가하였다. 오차의 주요 원인은 계수율의 통계적 특성이며, ^{235}U 양이 증가할수록 크게 감소한다. 실험에 사용한 대상 샘플의 농축도가 낮아 타 연구결과[2]와 직접 비교는 어렵지만, 샘플 내 ^{235}U 양이 적고 한 개의 Am-Li 선원만을 사용한 점을 감안하면 비슷한 수준의 결과를 보였다. 향후 추가로 Am-Li를 장착하여 동시계수율의 선형성 및 계수율 증가를

확인하여, 파이로 공정의 핵물질 계량관리 기술로 확립할 계획이다.

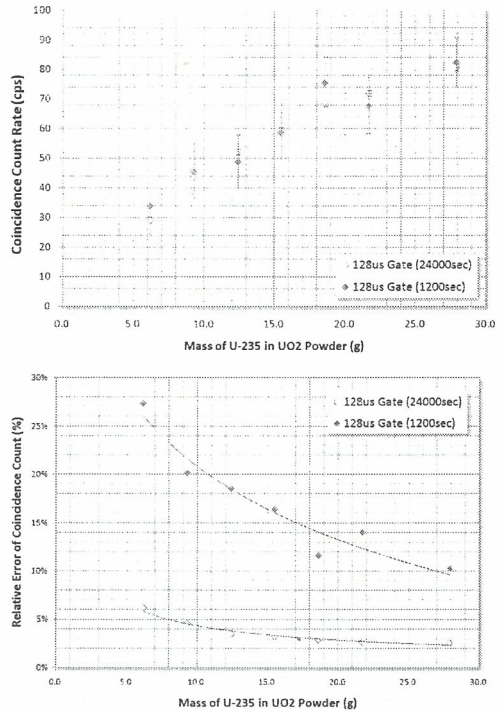


Fig. 2. Neutron coincidence count rates (top) and its relative error (bottom) as function of a mass of ^{235}U in natural uranium oxide powder samples

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었다.

5. 참고문헌

- [1] S. K. Ahn, et. al., "Simulation and preliminary experimental results for an active neutron counter using a neutron generator for a fissile material accounting," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 609, pp. 205-212, 2009
- [2] H. O. Menlove, et. al. "Description and Operation Manual for the Active Well Coincidence Counter," Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-7823-M, 1979