

능동형중성자계수를 위한 튜브형 중성자발생기의 성능 테스트와 적용 동작모드 평가

안성규, 엄성호, 신희성, 김호동

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045

skahn76@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료의 건식처리 공정 물질 중 희수 우라늄은 자발핵분열에 의한 중성자 발생이 거의 없어, 포함된 핵분열성 물질(U-235)을 계량관리 하기 위해서는 일반적인 피동형 중성자계수 방법을 사용하는 데 어려움이 있다. 또한 희수 우라늄 내에는 다른 공정물질이 불순물로 포함되어 있을 가능성이 높고 이들은 대부분 감마선을 방출할 가능성이 높아 감마선 측정방법을 적용하기도 용이하지 않다. 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 능동형 비파괴 분석 장비 개발을 위해, 외부 중성자선원으로서 튜브형 중성자발생기의 동작모드에 따른 활용 가능성을 테스트하고 성능을 평가하였다.

2. 실험방법 및 결과

Fig. 1.1은 개발하고자 하는 능동형중성자계수 시스템이며, 이용된 외부중성자 선원은 튜브형의 중성자발생장치이다. 중성자발생기는 프랑스 SODERN사의 GENIE 16GT 모델로서[2], 중성자 발생은 D-D 반응에 의한 2.5 MeV, 최대 초당 2×10^6 개의 중성자가 발생한다. 발생기의 동작모드는 연속(Continuous Mode), 펄스형(Pulse Mode) 그리고 다발형(Burst Mode)이 가능하다. 제조사 측에서 제공한 데이터에 따르면 동작 전압은 70-90 kV, 전력은 5 W 이하를 만족하는 범위에서 동작하고, 펄스형이나 다발형 모드로 작동시킬 경우 Duty가 5% 이상이어야 한다. 이를 정량 분석에 이용하기 위해서 중성자 발생장치의 다양한 동작 성능 테스트를 실시하여 실험에 필요한 발생장치의 요건을 확인하였다.

계수효율 28.5%인 중성자계수기(INVS)를 이용해 측정한 중성자 발생장치의 선속은 관전압 80 kV, 관전류 10 μ A 일 때 약 2.11×10^5 nps 이며, Fig. 1.2 에서 보이듯이 관전압과 관전류에 비례하여 증가하여 80kV, 40 μ A 일 때 약 8.42×10^5 nps 이다. 능동형중성자계수를 위해 본 연구에서 주로 활용한 선속은 80kV, 20 μ A 이며, 이 때의 선속은 4.26×10^5 nps 이다. 동작가능 전압범위는 70 - 100 kV로 나타났으며, 전류가 40 μ A까지는 100 kV까지 가능하지만 그 이상의 전류에서는 동작이 원활하지 않았다. 측정된 최대 선속은 40 μ A, 100 kV 일 때 1.7×10^6 nps 이다.

동시계수를 할 경우, 발생기에서 발생한 중성자는 시간상관 관계가 없으므로, 이에 의한 동시계수 값은 이론적으로는 0 이어야 한다. 실제 테스트 결과, 연속모드에서의 중성자동시계수 백그라운드는 선속과 계수기의 계수 효율에 따라 다르지만 80 kV, 20 μ A 동작조건, 13% 계수효율일 경우 약 10 - 20 cps 가 측정되었고, 이는 동시계수 신호를 통한 핵물질 계량의 주요 오차원으로 작용 한다. 그러나 펄스형이나 다발형 모드인 경우 같은 조건에서 10,000 ~ 1,000,000 이상의 동시계수 값을 보였으며, 이는 중성자 발생 주기와 동시계수 신호처리 파라미터 값(Gate width, pre-delay 및 long delay time)에 따라 크게 달라진다. 즉, 중성자동시계수를 위해서 사용하는 신호처리 방법에 의해서, 중성자가 펄스형이나 다발형 모드 방출될 경우 정상적인 결과를 얻을 수 없다. 일반적으로 펄스형 동작의 경우, 지발중성자(Delayed Neutrons)나 지발감마선(Delayed Gamma)을 이용한 비파괴분석법에 활용할 수 있다.

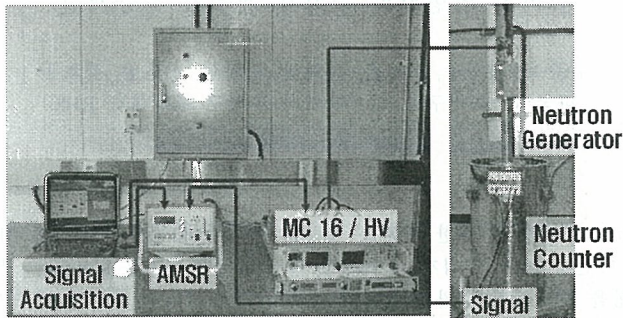


Fig. 1.1. 중성자발생장치를 사용한 능동형 중성자계수기

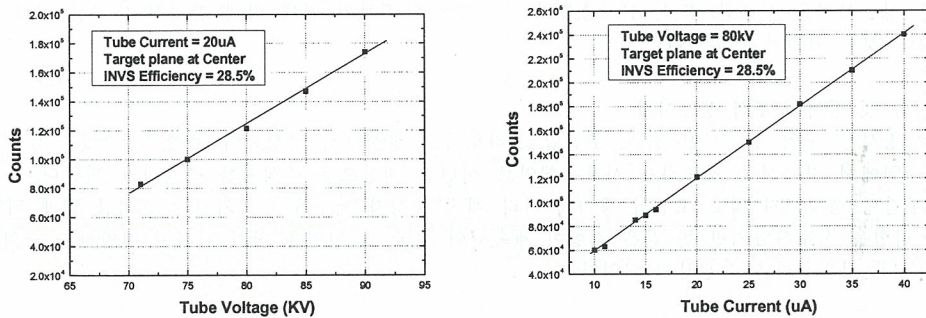


Fig. 1.2. 관전압, 관전류에 따른 중성자 계수값

3. 결론

본 연구에서는 능동형 비파괴분석 장비 개발을 위해, 외부 중성자선원으로서 튜브형 중성자발생기의 동작모드에 따른 활용 가능성을 테스트하고 성능을 평가하였다. 정량 분석에 이용하기 위해서 중성자 발생장치의 다양한 동작 성능 테스트를 실시하여 실험에 필요한 발생장치의 기본 데이터를 확보하였다. 중성자동시계수를 위해서는 펄스형이나 다발형 모드의 동작은 적용이 불가능 하며, 향후 지발중성자 혹은 지발감마선을 이용한 비파괴분석법에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

- [1] S.-K. Ahn, T.-H. Lee, H.-S. Shin, H.-D. Kim, Monte Carlo Simulation of an Active Neutron Counter for Fissile Material Accounting, Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Gyeongju, Korea, 29-30 May 2008
- [2] DADS SODERN, GENIE16GT User Manual, Nov. 2007, <http://www.sodern.com>