

고선속 중성자 선원을 이용한 He-3 검출기의 성능비교 분석

엄성호 · 신희성 · 안성규 · 김호동

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

eom@kaeri.re.kr

1. 서론

핵물질의 양을 확인할 수 있는 대표적인 방법 중 하나는 핵물질로부터 방출되는 중성자를 검출하는 것이다. 한국원자력연구원에서는 사용후핵연료 핵투명성을 실증하기 위한 DUPIC 안전조치용 중성자계수기와 핵물질 계량 목적으로 사용하는 ACP 안전조치용 중성자계수기를 개발하였다 [1~2]. 이들 계수기의 검출효율은 약 13 %, 21% 이며, 이러한 검출효율을 얻기 위해서 계수기는 각각 18 개와 24 개의 원주형 He-3 검출기로 구성되어 있다. IAEA의 핵사찰에 사용하는 Canberra사의 유사한 중성자 계수기 또한 비슷한 구조를 가지고 있다 [3]. 한국원자력연구원에서는 이러한 원주형 He-3 검출기를 다수를 장착하는 복잡한 구조를 개선하기 위해서 단순하면서 고효율을 달성할 수 있는 환형 He-3 검출기를 제안한 바 있으며 [4], 제작에 앞서 먼저 시험모형을 설계/제작하여 단계적으로 접근하고자 한다. 그 일환으로 He-3 검출기의 요소기술을 실험적으로 검증하기 위해, 원주형 시험모형을 설계 및 제작하고 성능시험을 수행하고 있다. 중성자 선원 (Cf-252)을 이용한 성능시험 및 기존 상업용 검출기와의 비교분석에([5]) 이어, 본 연구에서는 중성자발생기(SODERN 사)를 사용하여 5×10^5 n/sec, 2.5 MeV 중성자를 이용한 성능시험을 수행하였다.

2. 실험방법 및 결과

중성자발생장치를 사용하여 1차(조립식) 원주형 시험모형의 내부에 Anode wire(텅스텐 선)의 굵기에 따른 영향을 분석하고, 상업용 원주형검출기와 2차(밀폐식) 시험모형의 성능시험을 비교하였다. 1 차 시험모형은 밀폐방법을 오링을 사용한 조립식으로 제조하여, 성능시험의 결과에 따라 텅스텐 선을 쉽게 교체할 수 있도록 제조하였다. 텅스텐선의 굵기는 30 μm , 50 μm 및 100 μm 를 사용하여 성능시험을 하였다. 중성자발생장치를 사용하여 성능시험을 수행한 결과 1800~2000 V에서 plateau가 형성 되었으며 상대오차는 $\pm 1.65\%/100$ V이었다. 이들에 대한 결과는 [그림 1]에서 제시하였다.

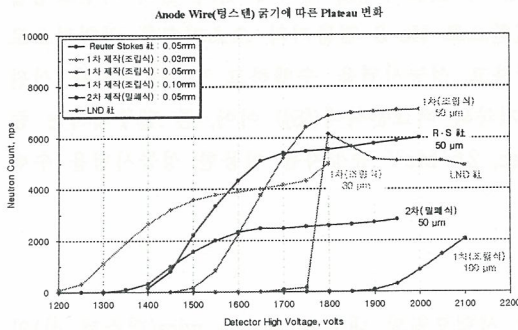
1 차 모형시험에서는 조립식으로 제조를 했기 때문에 4 기압까지만 견딜 수 있고 장시간 진공을 유지 할 수 없는 단점을 가지고 있었다. 그래서 2 차 모형은 완전 밀폐형으로 내부압력도 12 기압까지 견딜 수 있도록 제조하였으며, 10^5 torr의 진공도가 수십일 이상 유지되는 것을 확인하였다. plateau가 1650~1900 V에서 형성 되었고 상대오차는 $\pm 3.59\%/100$ V로 나타났다. 실험결과도 [그림 2]와 같이 1 차 모형시험에 비하여 매우 좋은 결과를 보여주었다. 상업용 중성자검출기 Reuter Stokes사와 LND사는 각각 1750~2000 V와 1900~2100 V에서 Plateau가 형성 되었으며 상대오차는 $\pm 3.78\%/100$ V, $\pm 2.48\%/100$ V이었다. 2 차 모형의 제작 및 평가를 통해 3차 시험모형인 환형 He-3 검출기에 직접 적용할 기술들을 실험적으로 확인하였다

원주형 검출기와 전치증폭기(Preamplifier)를 연결하는 케이블 길이에 따른 신호변화가 성능에

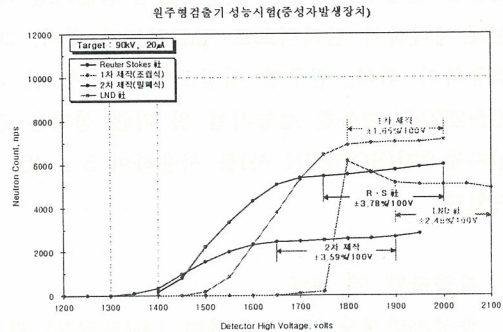
미치는 영향을 평가하기 위한 시험을 수행하였다. 이는 방사선 구역인 핫셀(Hot Cell) 내부에서 검출기 사용 시, 전치증폭기의 방사선 조사에 의한 성능 저하 및 고장을 피하기 위해 검출기와 전치증폭기를 분리하여 활용할 수 있을지를 평가하기 위함이다. 실험에 사용한 상업용 검출기는 Reuter Stokes사의 He-3 검출기이며, 전치증폭기는 PDT사와 CANBERRA사의 제품을 사용하여 케이블 길이(2m, 5m, 7m 및 10m)를 변화시켜가며 측정하였다. 측정결과 Plateau 영역은 1800~1950 V에서 생성 되었으며, 평균 Plateau 상대오차는 $\pm 2.01\%/100\text{ V}$ 로, 검출기와 전치증폭기의 분리가 가능한 것으로 확인 할 수 있었다.

3. 결론

기존 상업용 검출기와 자체 제작한 검출기의 성능시험을 통하여 상업용 검출기 수준의 제작에 필요한 요소 기술을 확보하였다. 또한 실험조건을 달리하여 성능시험 한 결과 동작전압 영역(Plateau 영역)이 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 그리고 차후 방사선 구역인 핫셀(Hot Cell)로부터 검출기와 전치증폭기를 분리가 가능한 것으로 확인할 수 있었다. 이렇게 입증한 기술을 적용하여 환형 He-3 시작용 제작을 위한 단계로서 설계 및 제작해 나갈 계획이다.



[그림 1] 상업용과 자체 제작한 검출기의 텅스텐 굵기에 따른 Plateau 비교.



[그림 2] 상업용과 자체 제작한 검출기의 시험 성능 비교.

사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] DUPIC핵물질 안전조치용 중성자검출장치 개발, 한국원자력연구소 보고서 KAERI-TR-1381-99, 1999.
- [2] T. H. Lee, H. D. Kim, K. J. Jung, S. W. Park, Development of a Neutron Coincidence Counter for the Advanced Spent Fuel Conditioning Process, J. Korean Phys. Soc., Vol. 48(2), p. 218, 2006.
- [3] AWCC specifications, CANBERRA (http://www.canberra.com/pdf/Products/Systems_pdf/jcc_51.pdf).
- [4] 신희성의 7인, “단일파이프형 He-3검출기를 장착한 고효율 우물형 중성자 계수기”, 특허 출원번호, 10-2007-001 1273 (2007).
- [5] 엄성호의 6인, “시험모형의 He-3 중성자검출기 제작 및 성능시험 결과 분석”, 한국방사성폐기물학회 춘계 학술발표회 논문요약집, pp 335~336 (2008).