

중성자 측정용 개인선량계 개발 및 평가

서민우*, 박승현, 이상미, 민병혁, 권민우
 (주)오르비텍, 서울특별시 금천구 범안로 1130
 *seominwoo7@orbitech.co.kr

1. 서론

원자력발전소에서는 계획예방정비기간 뿐만 아니라 경상운전기간에도 중성자로 인한 방사선작업종사자의 외부피폭에 대한 우려가 있다. 또한 국내 사용후 핵연료 중간저장 및 원전해체라는 당면과제는 중성자 측정에 대한 필요성을 더욱 부각시키고 있다. 다른 방사선장 측정과는 달리 국내외 중성자 측정에 관한 방법론과 측정기 개발은 정확성과 신뢰성에 지속적인 문제점이 발생하고 있다. 특히 외부피폭선량 측정용 전자식 개인선량계의 경우, 순수 국산기술로 만들어진 제품이 개발되어 있으나 중성자 측정용 개인선량계는 개발된 사례가 없다. 따라서 중성자 외부피폭선량 측정을 필수적으로 요하는 국내 원전은 해당 측정기를 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 더구나 전량 수입에 의존하는 중성자 개인선량계도 중성자의 다양한 에너지에 따른 유효선량 평가시 큰 불확도를 보이고 있다.

본 연구에서는 중성자 측정용 개인선량계의 기술 개발을 위한 중성자 컨버터의 기초설계부터 기본 회로 및 검출알고리즘을 구성하였고, 제품화를 위한 디자인 구성 및 Working Mock-up 제작과 ²⁵²Cf 와 ¹³⁷Cs 선원을 이용한 측정실험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 이론적 배경과 필터 고안

중성자는 물질과의 반응특성상 직접측정이 불가능하여 컨버터를 사용하여 중성자와의 반응으로 생성되는 다른 입자를 검출하여 측정하고 있다. 본 연구에서는 열중성자와 고속중성자를 포함하여 0.025 eV-15 MeV에 이르는 광역 중성자에너지의 측정이 가능한 개인선량계를 개발하였다.

열중성자 측정을 위해 수식(1)과 같이 ⁶LiF를 컨버터로 사용하여 ⁶Li와 열중성자가 반응하여 생성하는 하전입자 α와 ³H를 검출하는 방법을 적용하였다.

$${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^3\text{H}(2.73 \text{ MeV}) + \alpha(2.05 \text{ MeV}), Q = 4.78 \text{ MeV} \quad (1)$$

Microscopic thermal neutron (0.0259 eV) absorption cross-section 940 barn

고속중성자는 수식(2)와 같이 수소 함유량이 높은 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE, High Density Polyethylene)을 사용하여 고속중성자와의 탄성산란 반응에 의해 생성되는 반도양성자(Recoil proton)를 검출함으로써 측정하였다.

$${}^1\text{H} + n \rightarrow {}^1\text{H} + n' \quad (2)$$

⁶LiF와 HDPE 소재의 중성자 컨버터가 중성자와 반응하여 생성한 입자를 SiC 반도체센서를 통해 검출한다. 검출기 반응값을 중성자 피폭선량으로 산출하기 위해서는 검출기의 반응값과 ICRP-74에서 제시하는 선량환산인자가 일치하도록 해야한다. 따라서 Fig. 1과 같이 ⁶LiF와 HDPE 컨버터의 총 반응단면적과 ICRP-74 선량환산인자를 비교하였다.

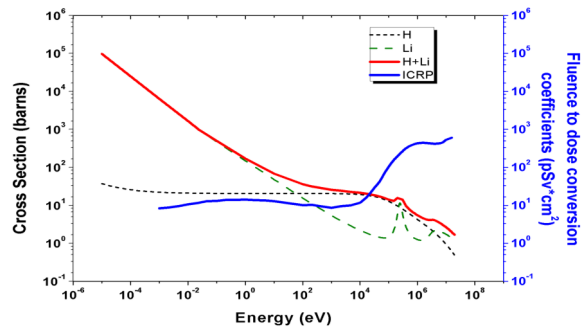


Fig. 1. Comparison of the total cross section of ⁶LiF and HDPE converters and ICRP-74 fluence to dose conversion coefficient(pSv*cm²).

열중성자 영역과 고속중성자 영역에서 각각의 반응성이 역전되는 상이성을 보완하기 위하여 Fig. 2와 같이 컨버터 각 소재의 반응단면적과 반응 생성물의 비정을 고려하여 기하학적인 설계를 수행하였다.

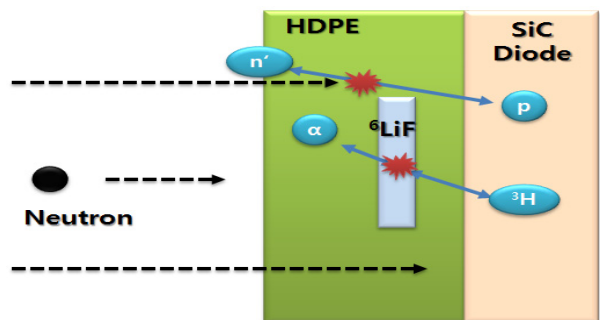


Fig. 2. Design of ⁶LiF and HDPE converters with SiC semiconductor for neutron personal dosimeter.

해당 설계의 검출응답과 ICRP-74 선량환산인자와의 유사성을 확인하기 위하여 MCNP 전산코드를 이용하여 Fig. 2의 상황을 모사하였으며, 유사성을 Fig. 3과 같이 확인하였다.

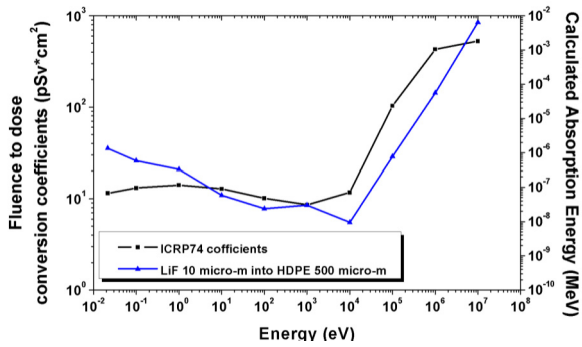


Fig. 3. Comparison of ICRP-74 fluence to dose conversion coefficients and energy absorbed in SiC diode using MCNP code.

2.2 검출회로 구성

검출회로는 검출기에서 출력되는 아날로그신호를 증폭 및 분석하여 디지털신호로 변환 하고 이를 계수할 수 있으며 Fig. 4와 같이 구성된다.

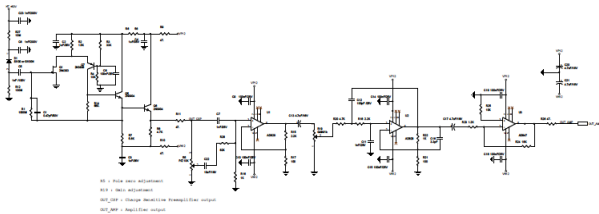


Fig. 4. Circuit diagram for neutron measurement.

검출기는 중성자, 광자 및 베타선을 측정할 수 있도록 중성자 측정용과 베타, 감마 측정용 두가지를 적용하였다. 또한 회로자체에서 발생하는 노이즈를 최소화하기 위하여 회로 아트웍을 4단으로 구성하였으며, 고전압의 안정적인 공급을 위해 부품의 배열을 반복 실험을 통하여 최적화하였다.

2.3 디자인 설계

검출기와 검출회로를 포함하는 측정기의 디자인은 Fig. 5와 같으며, 두 개의 조작버튼과 고선명 디스플레이, 착용을 위한 클립 등으로 구성된다.



Fig. 5. Design of neutron electronic personal dosimeter.

2.4 성능 실험

개인선량계의 중성자 측정값 교정을 위해 한국표준과학연구원의 Cf-252 표준장을 사용하였고, 감마

선 측정값은 (주)오르비텍에서 보유한 국가공인교정 시설(SSDL)의 Cs-137 표준선원을 사용하여 Fig. 6과 같은 결과를 얻었다.

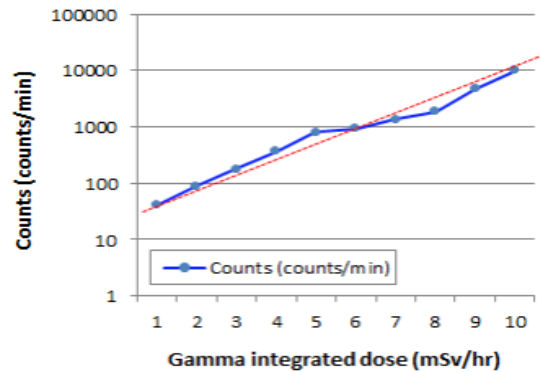


Fig. 6. Calculation for Gamma correction factor.

IEC 61526의 규격에 따른 CE (JNDL, JNDL-NE-16E-0022) 인증 및 온도, 충격, 진동 등의 신뢰성 인증 (KTC, T2016-07615)을 통과하였다.

3. 결론

본 연구에서는 중성자 측정용 개인선량계 개발을 위해서 중성자 컨버터의 설계부터 검출회로 구성, 디자인설계를 수행하였으며, 성능규격의 만족 여부를 확인하였다. 또한 CE 인증 및 신뢰성 검사를 통과하여 해당 전자식개인선량계의 상업적 완성도를 높였다. 이를 기반으로 하여 중성자 측정용 개인선량계의 국내 기술자립을 이루고자 한다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부가 시행한 에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, Third Edition.
- [2] H.Zaki Dizaji et.al, "Dosimetry methods of fast neutron using the semiconductor diodes", CHIN. PHYS. LEFT, Vol. 31, No.1, (2014).