

열중성자/감마선 동시측정을 위한 일체형 광섬유 방사선 센서에 대한 연구

한기택, 장경원, 유옥재, 서정기, 문진수, 문주현*, 김신**, 박병기***, 이봉수

건국대학교, 충북 충주시 단월동 322

*동국대학교, 경상북도 경주시 석장동 707

**제주대학교, 제주특별자치도 제주시 제주대학교로 102

***순천향대학교, 충청남도 아산시 신창면

bslee@kku.ac.kr

1. 서론

방사선 측정 기술은 방사성 물질의 비파괴 검사의 목적으로 사용되어 왔다 [1]. 특히 핵분열 생성물로부터 발생하는 중성자와 감마선 등의 방사선 측정은 사용후핵연료(spent fuel, SF)의 안전관리 및 특정핵물질을 검출하는데 있어 매우 중요하다. 그러나 SF 집합체와 같이 협소한 공간에서의 방사선 계측은 매우 어려우며, 그에 따라 높은 유연성과 작은 크기의 방사선 계측기가 요구되고 있는 실정이다. 이러한 환경에서 사용하기 위해서 최근 개발되고 있는 광섬유 방사선 센서는 그 크기가 작고, 유연성이 뛰어나며, 전자기파 영역에서 간섭을 받지 않는 등, 악조건의 방사선 환경에 대해서 많은 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 원자로 내의 중성자/감마선 혼합 영역 내에서 열중성자와 감마선을 동시에 원거리에서 측정하기 위한 열중성자/감마선 일체형 광섬유 방사선 센서를 제작하였다. 그리고 제작된 센서를 이용하여 교토대학교 연구용 임계원자로(Kyoto University Critical Assembly, KUCA)에서 연료봉의 중심으로부터 거리에 따른 감마선 및 열중성자의 분포도를 측정하였다.

2. 본론

2.1 실험 재료 및 방법

일체형 광섬유 방사선 센서는 크게 전환체(converter), 유기섬광체(organic scintillator), 광섬유와 광 계측장비로 구성된다. 열중성자를 측정하기 위한 전환체와 유기섬광체로는 ${}^6\text{LiF}$ (Acros Organics)와 BCF-20(Saint Gobain)을 각각 사용하였다. ${}^6\text{Li}$ 은 열중성자와의 반응을 통하여 알파입자를 방출하고, 알파입자는 유기섬광체와 반응하여 섬광빛을 발생시킨다. BCF-20은 일반광섬유와 같은 형태인 코어와 클래딩으로 구성되고, 감

마선 및 입자방사선들과 반응하여 492 nm에서 최대파장을 갖는 빛을 방출한다. 본 연구에서는 알파입자의 비정(range)을 고려하여 BCF-20의 클래딩 부분을 제거하였다.

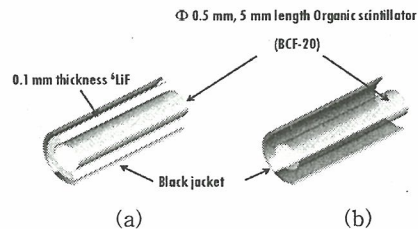


Fig. 1. Structure of the fiber-optic neutron and gamma sensor using ${}^6\text{LiF}$ and BCF-20

그림 1은 ${}^6\text{LiF}$ 와 BCF-20을 사용하여 제작한 광섬유 방사선 센서의 구조를 보여주고 있다. 그림 1-(a)의 열중성자/감마선 센서는 5 mm의 길이를 갖는 유기섬광체와 그 주위를 0.1 mm의 두께로 둘러싸고 있는 ${}^6\text{LiF}$ 전환체로 이루어져 있고, 열중성자와 감마선을 함께 검출한다. 그림 1-(b)의 감마선 센서는 전환체를 제외하고 열중성자/감마선 센서와 동일한 구조를 가지고 있고, 감마선만을 측정하게 된다. 그러므로 ${}^6\text{LiF}$ 전환체가 있는 센서와 없는 센서의 측정값의 차로 열중성자를 측정하게 된다.

체렌코프 빛(Cerenkov light)은 광섬유 방사선 센서를 이용함에 있어서 고려해야 할 사항이다. 체렌코프 빛은 하전입자(charged particle)가 어떠한 매질 속에서 빛보다 빠른 속도로 움직일 때 발생된다. 체렌코프 빛의 파장범위는 상당히 넓지만, 최대파장은 가시광 영역인 400~480 nm의 범위에서 나타나기 때문에 광섬유 방사선 센서의 섬광체에서 발생하는 실제 광 신호의 측정에 어려움을 준다 [1]. 따라서 본 연구에서는 유기섬광체를 사용하지 않은 기준 광섬유(reference optical fiber)를 추가로 사용하여 감법을 이용해서 각 센

서에서 발생하는 체렌코프 빛을 제거하였다.

그림 2는 열중성자와 감마선을 동시에 측정하기 위한 일체형 광섬유 방사선 센서의 구조를 보여주고 있다.

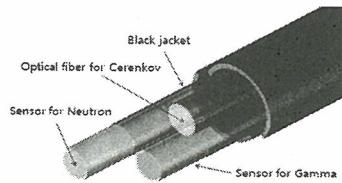


Fig. 2. Structure of the integrated fiber-optic radiation sensor

그림 3은 일본 KUCA에서 수행한 열중성자와 감마선 측정을 위한 실험구성을 보여준다. 광 계측장비로는 위치 민감형 광증배관(H7546, Hamamatu)를 사용하였다. 본 광증배관은 공급전압을 조절하여 섬광빛의 증폭률을 조절할 수 있고, 최대검출과장은 약 420 nm이다. 그리고 광증배관에서 출력되는 전류신호를 전압신호로 변환하여 증폭시키기 위해서 증폭기 시스템을 제작하여 사용하였다. 증폭된 전압신호는 신호수집장치(DAQ board)를 거친 뒤 랩뷰(LabVIEW) 프로그램을 통해 디스플레이 및 저장된다. KUCA에 있는 임계집합체의 연료봉에서 발생하는 열중성자와 감마선의 분포는 일체형 광섬유 방사선 센서와 위치조절장치 그리고 20 m 길이의 광섬유를 사용하여 측정하였다.

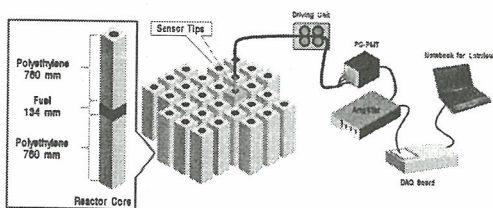
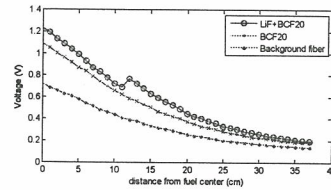


Fig. 3. Experimental set-up for measuring thermal neutrons at KUCA

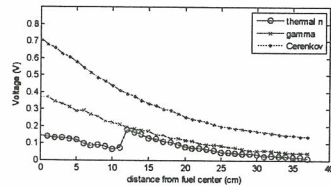
2.2 실험결과

그림 4는 일체형 광섬유 방사선 센서를 사용하여 측정된 임계집합체의 핵연료봉에서의 열중성자, 감마선 그리고 체렌코프 빛의 분포를 보여주고 있다. 그림 4-(a)는 두 개의 센서와 체렌코프 빛을 감해주기 위해 사용한 기준 광섬유로부터 발생된 각각의 광량을 보여준다. 이 값은 두 센서로부터 계측된 광신호로부터 기준 광섬유에서 측정된 체렌코프 빛을 감해주지 않은 값이다. ${}^6\text{LiF}$ 와 BCF-20으로 구성된 열중성자/감마선 센서에서 가장 큰 광량이 계측되는 것을 확인할 수 있

다. 그림 4-(b)는 감마선과 체렌코프 빛을 제거한 열중성자 그리고 감마선과 체렌코프 빛의 분포를 보여주고 있으며 실험결과, 열중성자의 피크는 연료봉의 중심으로부터 13 cm 떨어진 곳에서 측정되었다.



(a)



(b)

Fig. 4. Measurement of the distributions of thermal neutron, gamma-rays, and Cerenkov lights using integrated fiber-optic radiation sensor for the detection of neutrons and gamma-rays

3. 결론

감마선을 동반한 열중성자의 계측은 사용후핵연료의 안전관리와 특정 핵 물질을 모니터링 하는 데에 있어서 매우 중요하다. 본 연구에서는 열중성자/감마선 측정용 일체형 광섬유 방사선 센서를 제작하였고, 중성자/감마선 혼합영역에서 열중성자와 감마선을 분리하여 동시에 측정하였다. 일체형 광섬유 방사선 센서는 높은 공간분해능을 가지고 있고, 실시간 측정이 가능하므로 사용후핵연료의 안전관리와 특정 핵물질을 모니터링하기 위해 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 연구지원프로그램으로 지원받았습니다. (M2009-0078227)

5. 참고문헌

- [1] B. Lee, K. W. Jang, D. H. Cho, W. J. Yoo, G.-R. Tack, S.-C. Chung, S. Kim, and H. Cho, 2007b. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. vol. 579, pp. 344-348.