

방사성폐기물의 원격 측정을 위한 광섬유 방사선 센서의 제작

김민건¹, 신상훈², 이동은², 송영범¹, 김혜진¹, 장경원², 변철호³, 이봉수¹, 유육재^{2*}

¹중앙대학교 공과대학 에너지시스템공학부, 서울특별시 동작구 흑석로 84, 대한민국

²건국대학교 의료생명대학 의학공학부, 충북 충주시 충원대로 268, 대한민국

³Research Reactor Institute, Kyoto University, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-0494, Japan

*wonzip@kku.ac.kr

1. 서론

원전 운영 시 필연적으로 발생하게 되는 다양한 방사성폐기물 중에서 중·저준위 방사성폐기물은 고준위 방사성폐기물보다 방사능이 낮지만 오랜 기간 동안 반복적으로 노출된다면, 인체에 암을 유발하고, 유전적 변이를 발생시키는 등 장기적으로 악영향을 미칠 수 있기 때문에 이동 및 저장에 유의하여야 한다[1]. 이에 따라 현재 원자력 관련 기관 및 산업체의 방사성폐기물 처리시설에서는 방사성폐기물 드럼(nuclear waste drum)에 저장중인 중·저준위 방사성폐기물의 영구처분을 위한 드럼핵종분석장치를 운영하고 있으며, 이를 유지보수하기 위한 기술 및 평가시설의 개발이 중요시 되고 있다. 평가시설의 내부에는 평가대상드럼과 핵종분석장치의 보정 선원 등이 존재하기 때문에 평가시설의 내부 및 외부의 선량률과 콘크리트 구조물에 대한 차폐 영향 등과 같이 현장에서 안전성을 신속 정확하게 평가할 수 있는 측정 장비 및 평가기술들이 필요한 실정이다[2].

본 연구에서는 방사성폐기물 처리시설에서 방사성폐기물 드럼과 평가시설의 내부 및 외부의 선량률을 원격으로 측정하기 위해 광섬유 기반의 방사선 센서를 제작하였고, 교토대학교 연구원자로 연구소(Kyoto University Research Reactor Institute, KURRI)에서 연구원자로의 운영 중에 발생된 실제 방사성폐기물을 측정 후, 결과를 분석하였다.

2. 본론

2.1 실험 재료 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 제작한 광섬유 방사선 센서(fiber-optic radiation sensor, FORS)의 감지프로브의 구조를 보여준다. 감지프로브는 크게 무기 섬광체(inorganic scintillator)와 플라스틱 광섬유(plastic optical fiber)로 구성되며, 감지물질인 무기 섬광체로는 LYSO:Ce (cerium-doped lutetium

yttrium orthosilicate)를 사용하였다. 직사각형 형태의 LYSO:Ce 섬광체는 3 x 3 x 15 mm³의 크기를 가진다. LYSO:Ce 섬광체의 광 수집 효율을 높이기 위하여 TiO₂ 기반의 반사 테이프로 섬광체의 외부를 감싸고, 외부 광 신호를 차단하기 위하여 검은색 알루미늄 테이프로 다시 한 번 감싼 다음, 검은색 아크릴 관을 씌워서 플라스틱 광섬유와 연결함으로써 감지프로브를 제작하였다[3,4].

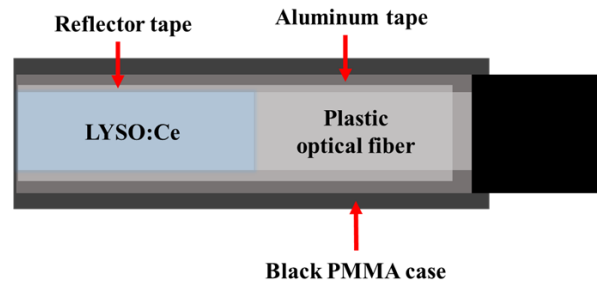


Fig. 1. Inner structure of a sensing probe.

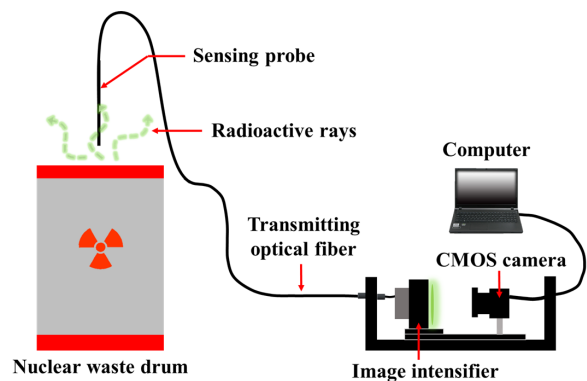


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup using a FORS system to measure radioactive waste.

Fig. 2는 방사성폐기물 드럼에서 방출되는 방사선을 광섬유 방사선 센서를 통하여 원격 측정하기 위한 전체적인 실험구성을 보여주고 있다. 방사선과의 상호작용에 의해 감지프로브에서 발생된 섬광신호는 5 m 길이의 전송용 광섬유를 통해 광 계측 시스템으로 전송된다. 광 계측 시스템의 내부에는

미약한 섬광 신호를 증배시키기 위하여 영상증배관 (image intensifier: BV 2583 BZ-V, Proxivision)이 광섬유와 연결되어 있다. 영상증배관으로부터 증배되어 출력된 섬광 신호는 상보성 금속 산화막 반도체 (complementary metal-oxide semiconductor, CMOS) 기반의 카메라 모듈(#59-368, Edmund Optics)로 측정이 된다. 노출시간 및 민감도 등의 세부설정은 전용 프로그램을 이용하여 조절할 수 있다. 본 연구에서 제작한 광섬유 방사선 센서는 영상증배관과 CMOS 카메라 모듈을 광 계측 시스템에 적용시킴으로써 보다 간편하고 빠르게 섬광 신호를 획득할 수 있다는 장점을 가진다.

2.2 실험 결과

광섬유 방사선 센서의 감지프로브를 방사성폐기물 드럼의 상단 입구 중심으로부터 좌우로 25 mm씩 수평 이동시켰을 때, Fig. 3에서와 같이 감지프로브 내에 위치한 LYSO:Ce 섬광체에서 발생한 섬광 신호의 광 세기 분포는 동일한 조건에서 서베이 미터 (survey meter: TGS-121, Aloka)로 측정된 방사선의 세기 분포와 유사한 결과를 보여주었다.

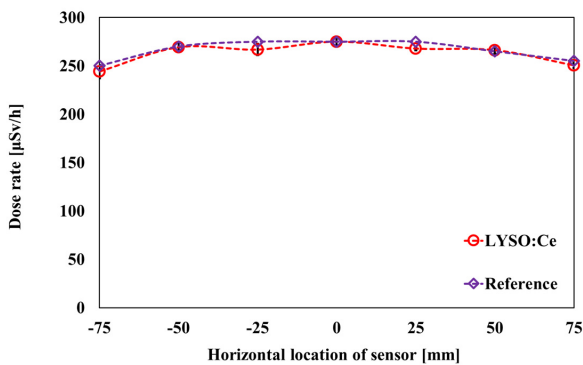


Fig. 3. Comparison of the output signals measured by using the FORS and the survey meter.

따라서 서베이 미터를 이용하여 측정된 선량률(μ Sv/h)과 광섬유 방사선 센서로 측정된 섬광 신호의 광 세기 사이의 관계는 식(1)로 나타낼 수 있으며, 광섬유 방사선 센서로 측정된 섬광 신호(x)를 선량률(y)로 변환 할 수 있다.

$$y = 0.0113x \quad (1)$$

3. 결론

본 연구에서는 방사성폐기물의 원격 측정을 위하여 LYSO:Ce 섬광체, 플라스틱 광섬유, 영상증배관,

CMOS 카메라 모듈을 이용하여 광섬유 방사선 센서를 제작하였다. 방사성폐기물로부터 방출되는 방사선의 수평축 분포를 광섬유 방사선 센서로 측정 한 결과, LYSO:Ce 섬광체에서 발생하는 섬광 신호의 광 세기가 서베이 미터로 측정된 선량 기준값과 유사함을 확인하였다.

앞으로의 연구방향은 광섬유 방사선 센서의 출력신호와 선량 사이의 관계에 대한 알고리즘을 도출하여 실시간으로 방사성폐기물의 선량분포를 원격 측정하는 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국 원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전 연구사업(No. 1403017-0114-SB110) 및 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 원자력연구사업(No. 2014M2B2A9031841)의 연구결과입니다.

5. 참고문헌

- [1] 강세식, 최석윤, 김정훈, "의료방사성폐기물 관리방안에 대한 인식 분석 - 부산, 경남을 중심으로 -", 한국방사선기술연구회지, 37(1), 29-36 (2014).
- [2] Y.Y. Ji, K.K. Kwak, D.S. Hong and J.S. Shon, "An Evaluation on the Radiation Shielding of the Radwaste Drum Assay Facility", J. of the Korean Radioactive Waste Society, 10(2), 117-123 (2012).
- [3] H. Jeon, K.W. Jang, S.H. Shin, S.G. Kim, S. Hong, H.I. Sim, J. Kim, J. Jang, G. Kwon, W.J. Yoo and B. Lee, "Feasibility study on fiber-optic radiation sensor for remote gamma-ray spectroscopy", Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, 29-30 (2014).
- [4] K.-T. Han, W.J. Yoo, S.H. Shin, D. Jeon, J.-Y. Park, B.G. Park and B. Lee, "Development of fiber-optic radiation sensor using LYSO scintillator for gamma-ray spectroscopy", J. Sensor Sci. & Tech., 21(4), 287-292 (2012).