

사용후핵연료 검증을 위한 광섬유 체렌코프 방사선 센서에 관한 기초연구

신상훈, 유육재, 서정기, 한기택, 전다영, 박병기*, 조승현**, 이봉수

건국대학교, 충북 충주시 단월동 322

*순천향대학교, 충남 아산시 신창면 읍내리 646

**승실대학교, 서울특별시 동작구 상도로 369

bslee@kku.ac.kr

1. 서론

사용후핵연료 저장조 속에 저장되어 있는 사용후핵연료에서 방출되는 하전입자들은 매질이 되는 저장조 속의 물과 상호작용하여 체렌코프 방사선(Cerenkov radiation)을 지속적으로 방출한다. 이러한 현상을 이용하여 현재, IAEA에서는 체렌코프 방사선 촬영장치(digital Cerenkov viewing device, DCVD)를 저장조의 난간에 위치시켜 사용후핵연료 주변의 체렌코프 방사선을 현장에서 바로 측정할 수 있다. 하지만 기존의 DCVD를 이용할 경우, 사용후핵연료 집합체의 이동 없이 체렌코프 방사선의 분포를 영상으로 측정할 수 있지만, 대부분의 체렌코프 방사선이 자외선과 가시광선 영역에 있으므로 주변광에 따른 잡음 및 측정 오차가 발생하게 된다. 또한 핵연료집합체의 뒷면만을 촬영하기 때문에 사용후핵연료의 분포 및 진위만을 검사할 수 있게 된다. 따라서 사용후핵연료의 진위 및 안전성 확보를 위한 사용후핵연료의 연소도 측정이 가능한 새로운 검출기의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 사용후핵연료의 연소도와 손상 및 결합위치를 실시간, 원거리에서 측정할 수 있는 광섬유 체렌코프 방사선 센서의 개발을 위한 기초연구의 일환으로, Co-60 감마선원의 세로측 선량 분포를 체렌코프 방사선을 이용하여 측정하였다.

2. 본론

2.1 실험 재료 및 방법

본 연구에서 감지부의 제작에 사용된 체렌코프 방사선 발생용 광섬유는 계단형의 굴절률을 갖는 멀티모드 플라스틱 광섬유로서 직경과 길이는 각각 1.0 mm, 15 cm이다. 감지부에서 발생된 체렌코프 방사선을 계측기로 전달하기 위하여 사용된 전송용 광섬유는 감지부의 플라스틱 광섬유와 동일하며, 직경은 1.5 mm, 길이는 11 m이다.

광섬유 체렌코프 방사선 센서의 감지부에 방사선을 조사하기 위해 Co-60 감마선원을 사용하였다. 약

3,000 Ci의 방사능 및 84.99 mSv/min의 선량율을 가지는 Co-60 감마선원은 직경 11 mm, 길이 406 mm, 무게 0.24 kg인 연필형으로, 외경 21.7 mm, 두께가 2.8 mm인 스테인리스 강관속에 장전되어 있다. Co-60 감마선원은 평상시 납으로 제작된 차폐용기에 저장되어 있으며, 방사선 조사 시에는 드라이빙 유닛(driving unit)의 와이어에 의하여 저장용기에서 인출된다[1].

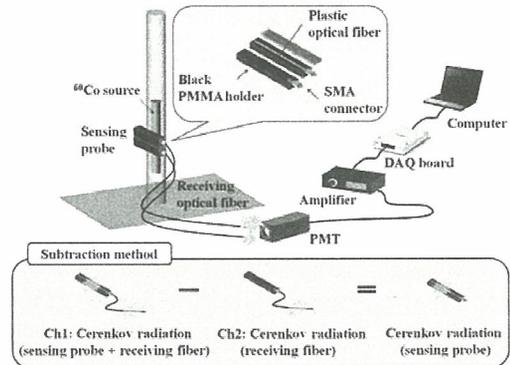


Fig. 1. Experimental setup for measuring Cerenkov radiation.

본 연구에서는 Co-60 선원에 의해 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선을 측정하기 위해 그림 1과 같이 검은색 PMMA(polymethylmethacrylate) 홀더, 플라스틱 광섬유, SMA 905 커넥터를 이용하여 2채널 감지부를 제작하였다. 채널 1 감지부에는 체렌코프 방사선을 발생시키기 위한 플라스틱 광섬유가 포함되며, 체렌코프 방사선 발생용 광섬유가 포함되지 않은 동일한 형태의 채널 2 감지부를 제작하여 전송용 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선을 감법(subtraction method)을 이용하여 제거하였다. Co-60 감마선원으로부터 발생된 감마선이 15 cm 길이의 2채널 감지부에 조사되면 감지부에서 발생된 체렌코프 방사선은 11 m 길이의 전송용 광섬유를 통하여 광증배관(photo-multiplier tube, PMT)로 전송된다. 전송된 광 신호는 전기신호로 변환 및 증폭된 뒤, LabVIEW 기반의 모니터링

프로그램을 통해 저장 및 디스플레이 된다.

2.2 실험결과

그림 2는 체렌코프 방사선 발생용 광섬유의 직경에 따른 체렌코프 방사선의 발생 효율을 나타낸다. 0.5 mm 직경의 플라스틱 광섬유에 비해 직경 1 mm의 광섬유에서 더 많은 체렌코프 방사선이 측정되었으므로 효율이 더 좋은 1 mm 직경의 체렌코프 방사선 발생용 광섬유를 사용하여 실험을 수행하였다.

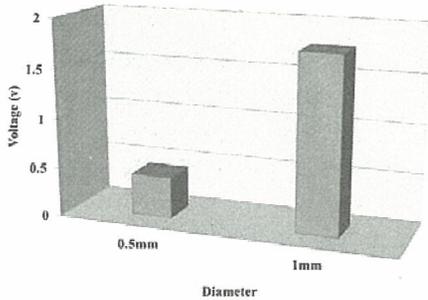


Fig. 2. Measurement of Cerenkov radiation according to the diameter of plastic optical fiber.

그림 3은 2채널 감지부에서 발생하는 체렌코프 방사선을 측정된 실시간 그래프를 보여준다. 채널 1의 체렌코프 방사선 발생용 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선의 광량이 채널 2의 전송용 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선의 광량보다 큰 것을 확인할 수 있고, 획득된 각각의 전압신호는 감법을 적용시켜 감마선량 측정을 위한 신호로 이용이 가능하다.

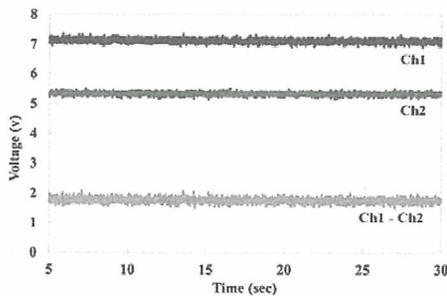


Fig. 3. Real-time monitoring of Cerenkov radiation using the 2-channel sensing probe.

그림 4는 길이 406 mm의 Co-60 감마선원에 대한 세로축 선량분포를 보여주며, 선원의 위치에 따라 각 지점에서 감법을 통해 획득된 체렌코프 방사선의 광량을 이용하여 나타내었다. 실험결과, 지면으로부터 30 cm 높이에 위치하는 Co-60 감마선원의

중심에서 최대 선량이 측정되었고, 선원의 양 끝단으로 갈수록 선량이 작아지는 것을 확인하였다.

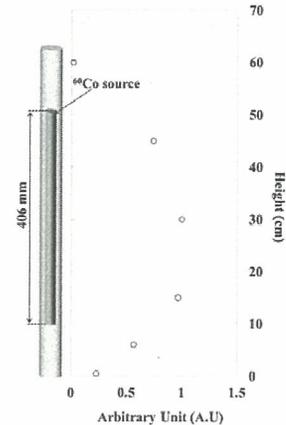


Fig. 4. Measured longitudinal dose distribution of Co-60 source using the fiber-optic Cerenkov radiation sensor.

3. 결론

본 연구에서는 플라스틱 광섬유를 이용한 광섬유 체렌코프 방사선 센서를 제작하였고, 감마선에 의해 2채널 감지부에서 발생하는 체렌코프 방사선을 이용하여 Co-60 감마선원의 세로축 선량분포를 측정하였다. 실험결과, 감법을 통해 획득된 체렌코프 방사선의 광량이 사용후핵연료의 연소도 및 결합위치를 측정하기 위한 유의한 신호가 될 수 있음을 증명하였으며, 본 연구결과를 토대로 사용후핵연료의 검증에 위한 광섬유 체렌코프 방사선 센서의 개발이 가능할 것으로 기대된다. 향후 연구계획은 다채널 광섬유 체렌코프 방사선 센서를 제작하여, 사용후핵연료 모사장치의 3차원 선량분포 및 결합부위를 측정하는 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 20111720200010).

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012029724).

5. 참고문헌

[1] 서민우, 박재우, 방사선응용과학연구소 논문집, Vol. 23, pp. 15-19, 2009.