

디스크형 시편 측정을 위한 감마 시준기

박광준, 주준식, 신희성, 강희영, 김호동

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

kipark@kaeri.re.kr

1. 서론

지금까지 감마선분광분석법을 이용하여 디스크 형태의 고체 사용후 핵연료봉 시편에 대한 핵분열 생성물의 농도분포 및 연소도를 결정할 때, 4각형 슬릿(slit)의 감마선 시준기를 사용하였다. 비록 작은 크기의 시편이지만 비교적 많은 양의 감마광자가 방출되기 때문에 계수율 조절 및 직경 방향의 특정위치 측정을 위해서 시준기 사용은 필수적이다. 시편 표면의 특정 위치에서 핵분열 생성물의 농도분포 또는 연소도를 얻기 위해서는 미세 공간 분할 가능한 4각형 형태의 시준슬릿을 사용하여 여러 지점을 측정하여야 한다. 특히 연소도는 시편의 위치에 따라 다르기 때문에 여러 지점을 측정한 후, 평균 연소도를 계산하여야 한다. 따라서 이러한 과정에서 많은 시간이 소요된다. 그래서 이러한 문제점을 보완하기 위해서 감마선 차폐도 되고, 입체각도 크게 할 수 있는 시준기를 고안하게 되었다.

2. 시준기 집합체 구성

기존 4각 슬릿 감마선 시준기는 차폐능은 우수하지만 입체각이 작기 때문에 시편 중앙을 중심으로 반경 방향으로 여러 지점을 측정하여 평균 연소도를 결정하여야만 한다. 그러나 시준기를 2중 원추형 슬릿(double cone-shaped slit)으로 할 경우, 감마선 차폐능은 다소 떨어지나 입체각이 훨씬 커지기 때문에 시편의 모든 위치에서 방출되는 감마광자가 대부분 시준기 구조물에서 흡수되고, 흡수되지 않는 일부 광자와 슬릿 부분을 통과하는 광자만이 검출기에 입사하게 된다. 따라서 차폐기능도 발휘하며, 1회 측정으로 평균 연소도 결정이 가능하게 되므로 상당한 측정시간을 절약하게 된다.

가. 이중 원추형 시준기 차폐체

감마 시준기는 감마선 차폐 및 감마광자의 통과 기능 모두를 가져야 한다. 즉, 시준 슬릿 부분만이 감마광자를 통과시키고, 시준 슬릿 이외의 나머지 부분은 완벽한 방사선 차폐체 역할을 하여야 한다. 시준기의 방사선 차폐능은 시준기 재료 및 두께에 따라 다른데, 보통 밀도가 높은 텅스텐(W)이나 (Pb)를 사용한다. W는 Pb 보다 밀도가 높아 차폐능은 우수하지만 재료비 및 가공비가 높기 때문에 부득이 작은 크기로 높은 차폐능을 요할 경우에만 사용하게 된다. 반면에 Pb는 W에 비해 차폐능은 낮으나 비용이 저렴하고 가공이 용이하기 때문에 널리 사용되고 있다. 본 이중 원추형 감마 시준기는 좁은 슬릿 부분을 정밀하게 가공하기 위하여 경납(납합금)을 사용하였다. 순수한 Pb로 시준기를 만들 경우, Pb의 높은 연성 때문에 가공상의 어려움이 있기 때문이다.

시준 슬릿의 크기는 시편의 크기와 방사능의 세기를 고려하여 결정하였다. 원추형 슬릿의 넓은 부분은 디스크형 사용후핵연료 시편의 직경(~10 mm)과 측정 장치내에 시편을 안착시킬 때, 시편이 시준슬릿 구멍 중심으로부터 벗어나는 것을 고려하여 15 mm로 결정하였다. 시준기 길이는 시편의 방사능 세기를 1 Ci로 가정하고, 여기서 방출되는 감마광자가 맹시준기(슬릿이 없는 시준기)를 통과하여 검출기에 도달하는 양이 최소가 되도록 하는 길이, 즉 구조물의 크기를 최소화하면서 또한 자연방사능(background)도 최소한 낮게 유지할 수 있는 두께를 계산하여 120 mm로 결정하였다(그림1 참조). 왜냐하면 자연방사능이 높을 경우, 사용후핵연료 시편으로부터 획득하는 감마선 스펙트럼에서 특정 핵종(연소도 모니터 핵종)의 피이크를 정확하게 찾아낼 수 없기 때문이다.

나. 시준집합체 제작

원추형 시준기의 슬릿 구멍을 가공하는 일은 단순한 4각 슬릿이나 원형 슬릿을 가공하는 것

과는 다르다. 4각 및 원형 슬릿인 경우, 길이 방향에 대하여 모든 위치에서 동일한 거리 또는 직경을 갖고 있기 때문에 레이저 가공법을 이용할 수 있지만 원추형 슬릿인 경우, 양단 사이에 특정 각도가 이루어지기 때문에 직진성을 갖는 레이저 방법을 활용할 수 없다. 또한 슬릿 구멍이 워낙 작기 때문에 기계적인 가공법도 사용할 수 없다. 그래서 특수 주형틀을 이용하여 원추형 슬릿의 시준기를 제작하였으며, 중심 부분의 직경이 작고, 양단의 직경이 큰 이중 원추형의 시준기는 각각의 단일 원추형 시준기 2개를 만들어 직경이 작은 부분이 서로 접하게 배열시켜 완성하였다. 아무리 시준기를 정밀하게 가공해도 슬릿 구멍이 정확하게 정렬되지 않으면 무용지물이 된다. 그래서 2개의 원추형 시준기를 결합시킬 때, 슬릿 구멍의 중심선이 서로 일치하도록 하기 위하여 원통형의 시준기 틀(collimator frame)을 별도로 제작하여 사용하였다. 시준기와 시준기 틀 사이에 틈이 발생하게 되면, 슬릿 구멍의 정렬이 흐트러지기 때문에 틈이 없도록 조립하였다.

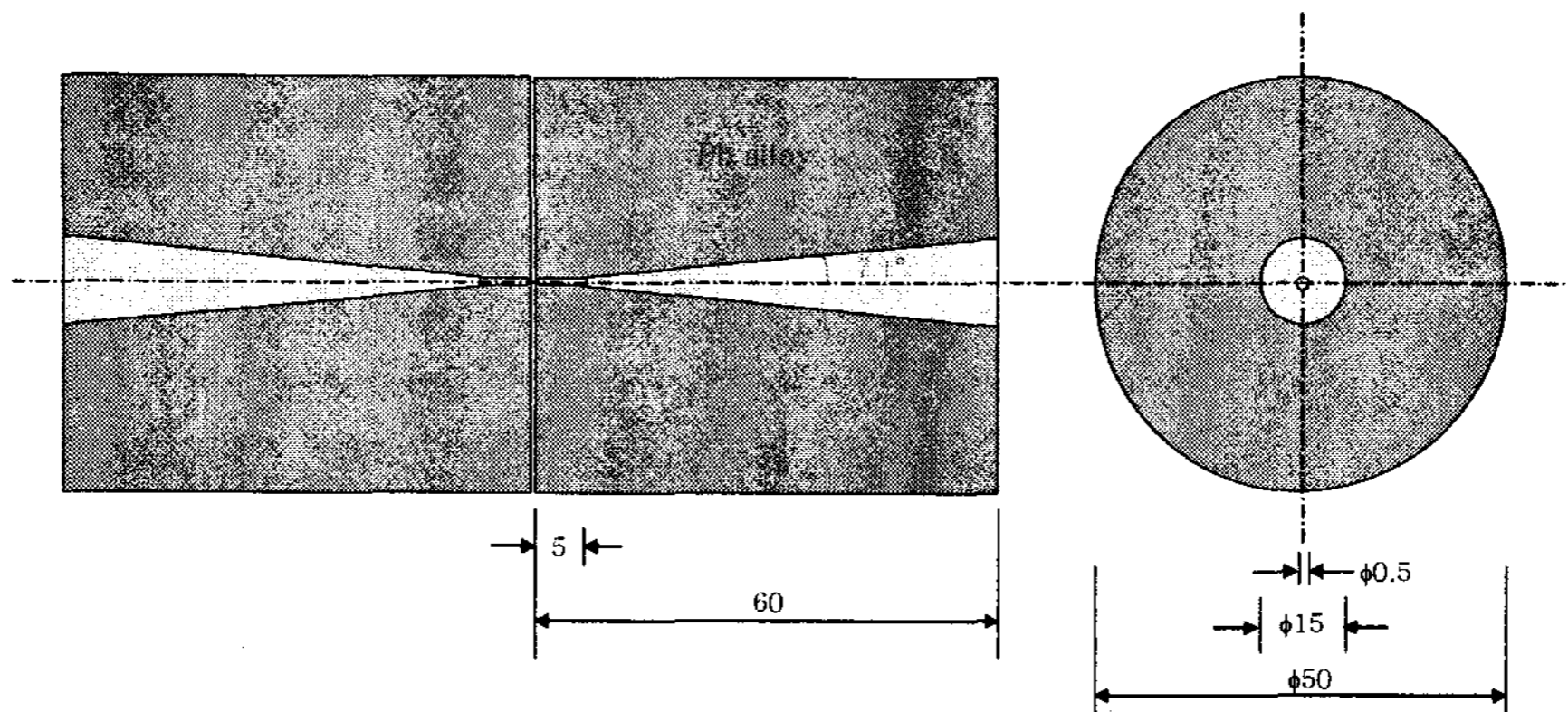


그림1. 이중 원추형 시준기 개요도

3. 결론

2중 원추형 슬릿 시준기를 사용하게 되면, 기존의 4각 슬릿 시준기에 비해 감마선 차폐능은 다소 떨어지지만 큰 입체각을 형성함으로써 시편 전체 면적을 단 1회 측정하여 평균 연소도를 결정할 수 있게 된다. 따라서 4각 슬릿 시준기를 사용할 때 보다 측정시간이 훨씬 줄어들므로 많은 시간을 절약할 수 있다.