

방사성폐기물드럼 비파괴 감마핵종 분석장치 (Segmented Gamma Scanner)의 교정 및 유효성 평가

이영주, 조문형, 강기두

한수원(주) 중앙연구원, 대전시 유성구 유성대로 1312번길 70

ramsess55@khnp.co.kr

1. 서론

한국수력원자력(주)에서는 방사성폐기물의 영구 처분 목적으로 CANBERRA사(社)의 핵종분석장치(RAS)를 도입하여 잡고체 폐기물 드럼(200L 및 320L)에 대한 감마핵종 재고량 평가를 수행하고 있다. 본 장치는 고분해능 감마선 분광기법을 이용하여 드럼을 파괴하지 않고 감마핵종의 비방사능을 측정할 수 있으며 드럼의 밀도와 표면선량률에 따라 TGS (Tomographic Gamma Scanner) 및 SGS (Segmented Gamma Scanner) 모드로 구성되어 있다. TGS 모드와는 달리 SGS 모드는 드럼에 존재하는 방사성폐기물의 밀도가 균질한 것으로 가정하여 드럼을 수직방향으로 8개 층으로 나누고 각 층별 방사능 분석한 후 스펙트럼을 합산하여 방사능량을 측정하며 일반적으로 저밀도(1kg/l 이하) 드럼은 TGS, 고밀도(1kg/l 초과) 드럼은 SGS 모드로 드럼 분석을 수행한다[1]. 또한 드럼 표면선량률에 따라 5개의 측정구조(NOW/FON/FAN/FBN/FCN)로 구분되며, 각 측정구조는 검출기와 드럼의 거리, 조리개(Collimator) 크기, 차폐체(고선량 드럼을 측정하기 위해 검출기 전단에 설치) 개수의 조합으로 구성된다. 드럼과 검출기의 거리에 따라 Near(N) 혹은 Far(F), 차폐체 유무에 따라 Open(O) 혹은 A/B/C, 조리개 크기에 따라 Narrow(N) 혹은 Wide(W)를 의미한다[1]. 본 논문에서는 SGS 모드에 대한 교정방법에 대해 기술하고 교정결과의 유효성을 평가하였다.

2. 본론

TGS 모드의 경우 드럼의 반입 후 회전시키면서 투사 및 방출계측이 이루어지지만[2], SGS 모드는 밀도가 균질하다는 가정하에 드럼을 회전시킨 상태에서 방출되는 감마선을 측정한다(Fig 1). 따라서 밀도가 다른 6개의 표준드럼을 이용하여 밀도별/에너지별 교정상수를 결정하였다.

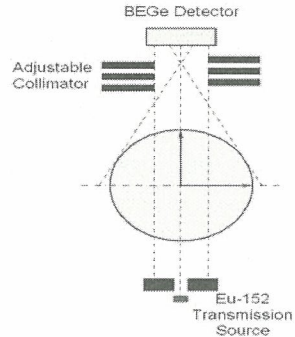


Fig. 1. The Schematic Diagram of SGS Mode.

NOW 구조에서는 6개의 서로 다른 밀도(0kg/l ~3.02kg/l), FON 구조에서는 밀도가 0kg/l(빈드럼)인 드럼에서만 교정선원을 장입 후 측정하여 에너지별, 밀도별 교정상수를 구하고 이렇게 얻은 교정상수 및 불확도를 이용하여 그 이외에 측정구조(FAN/BN/CN)에서의 교정상수 및 불확도를 계산하였다.

2.1 밀도보정인자(CF) 계산

NOW 구조에서 측정된 0kg/l(빈드럼)인 드럼에서의 효율과 나머지 밀도에서 효율의 비를 식(1)과 같이 에너지 별로 계산하였다.

$$CF(E, \rho) = \frac{\epsilon^{NOW}(E, 0)}{\epsilon^{NOW}(E, \rho)} \dots \dots \dots (1)$$

여기서

- $CF(E, \rho)$: 밀도(ρ)에서의 보정인자
- $\epsilon^{NOW}(E, 0)$: 밀도 0kg/l 일 때 효율
- $\epsilon^{NOW}(E, \rho)$: 밀도 ρ 일 때 효율

2.2 FON 다중효율곡선 계산

SGS-FON의 0kg/l(빈드럼)인 드럼의 측정결과와 식(1)에서 구한 밀도보정인자를 이용하여 식(2)와 같이 FON 구조의 효율을 계산하였다.

$$\epsilon^{FON}(E, \rho) = \frac{\epsilon^{FON}(E, 0)}{CF(E, \rho)} \dots \dots \dots (2)$$

여기서

$\epsilon^{FON}(E, \rho)$: 밀도 ρ 에서의 효율

$CF(E, \rho)$: 밀도(ρ)에서의 보정인자(식2)

$\epsilon^{FON}(E, 0)$: 밀도 0kg/l 일 때 효율

2.3 FAN/FBN/FCN 구조에서 다중효율

본 구조는 고선량(5mSv/h 이상) 드럼을 측정하기 위해 검출기 전단에 차폐체를 사용하기 때문에 밀도에 따른 효율을 계산하기 위해서는 차폐체에 대한 보정인자가 필요하다. 차폐체 보정인자(CF_{XXX})는 차폐체 재질 및 두께에 따라 산출할 수 있다. 이렇게 산출된 에너지별 차폐체 및 밀도보정인자를 이용하여 식 (3)과 같이 효율을 계산하였다.

$$\epsilon^{XXX}(E, \rho) = \frac{\epsilon^{FON}(E, 0)}{CF(E, \rho) \cdot CF_{XXX}(E)} \dots\dots\dots (3)$$

여기서

$\epsilon^{XXX}(E, \rho)$: 밀도 ρ 에서 효율(FAN/ BN/CN 구조)

$\epsilon^{FON}(E, 0)$: 밀도 0kg/l (빈드럼) 효율(FON 구조)

$CF_{XXX}(E)$: 차폐체 보정인자(FAN/ BN/CN 구조)

$CF(E, \rho)$: 밀도(ρ)에서 밀도 보정인자

2.4 교정결과

각 측정구조별 효율 산출결과를 Fig. 2, 3에 나타내었다. NOW 및 FON 구조가 그 외의 구조(FAN/FBN/FCN)에서보다 효율이 높게 측정되었으며, 밀도가 증가함에 따라 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

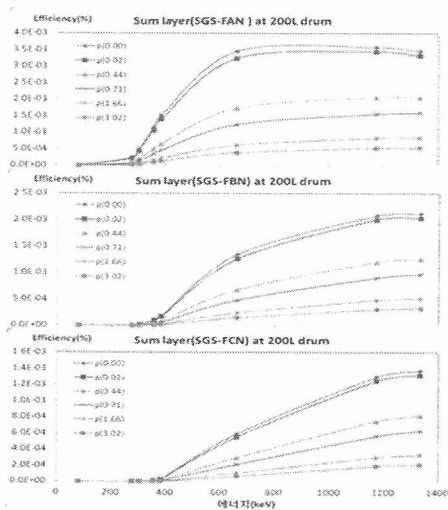


Fig. 2. The Calibration Result of SGS-FAN/ FBN/FCN.

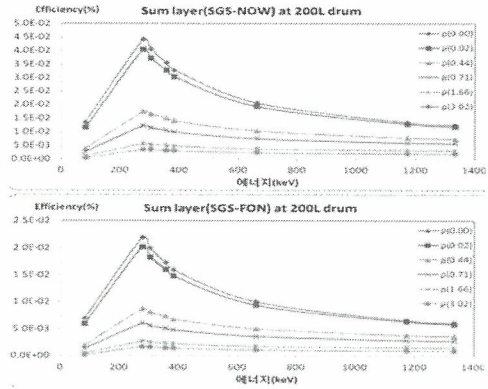


Fig. 3. The Calibration Result of SGS-NOW/ FON.

2.5 교정결과의 유효성 확인

NOW 및 FON 구조에서는 교정선원, 그 외 구조에서는 실제 폐기물 드럼을 측정된 결과 최대 16%의 차이를 나타내었다(Table 1).

Table 1. Calibration Verification Results.

Nuclide	Ratio(measure/actual)				
	NOW	FON	FAN	FBN	FCN
⁶⁰ Co	0.94	0.94	0.96	0.89	0.90
¹³⁷ Cs	0.92	0.95	0.84	0.90	0.91
¹³³ Ba	0.92	0.93	-	-	-

3. 결론

드럼핵종 분석장치 교정은 교정선원과 밀도가 서로 다른 표준 드럼을 이용하여 차폐체가 없는 구조(NOW/FON)에서 실제 측정을 통해 교정상수를 결정하고 이를 토대로 그외의 구조 및 밀도에서 교정상수를 계산한다. 교정의 유효성 확인 결과 기준값 대비 NOW 및 FON 구조는 최대 8%, 그 외 구조에서는 최대 16%의 차이를 보였으며 이는 장비 성능기준(NOW/FON ± 10%, FAN/FBN/FCN ± 20%)을 만족하는 결과임을 알 수 있다.

4. 참고문헌

[1] Nuclear Instrument and Method in Physics Research A Vol 579, pp.375-379(2007).
 [2] Proceedings of the KRS Spring, Vol 10(1), pp 219-220(2012).