

## 고 방사선구역내에서의 중성자동시계수기 성능평가

정정환, 이철용, 김호동

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

[iwieong@kaeri.re.kr](mailto:iwieong@kaeri.re.kr)

고방사선 환경의 핫셀 내 핵물질 계량을 위한 DSNC(DUPIC Safeguards Neutron Counter) 장치는 KAERI 와 LANL 간의 공동연구로 1990년대 말에 개발되었다. DSNC는 KAERI의 DUPIC 시설(DFDF, IMEF M6 핫셀)에서 IAEA의 사찰 장비로 KAERI와 IAEA가 공동 사용하여 왔으며 2003년까지 정상적으로 동작하였다. 그러나 DSNC의 오작동으로 2004년 초부터 핵물질 계량에 문제가 발생하기 시작하였다. 이에 따라 LANL 및 IAEA의 Neutron Counter 전문가들이 DSNC의 오작동 원인을 규명하기 위해 방문하여 시험을 KAERI와 하였으나 근본적인 문제점을 해결하지 못하였다. 이후 KAERI는 해결방안으로 2005년부터 측정모듈 중 방사선 영향에 가장 민감하리라 예상되는 계측기의 PDT 신호를 계속 검증하여 왔다. PDT에 공급되는 DC 출력 조정 시험을 사용후핵연료 표준시료(SFS)를 이용하여 2006년부터 2007년 초까지 반복 시험한 결과, DSNC의 성능이 거의 정상적으로 복원하게 되었다. 본 연구는 중성자검출기의 전기신호 변환 부분인 PDT의 Bias 전압 시험 결과와 DSNC의 성능시험에 대한 연구결과를 기술하고자 한다.

### - DSNC의 성능평가

그림 1.은 6개의 H<sub>2</sub>-튜브와 증폭기 PDT-110A가 3개의 그룹으로 구성된 중성자 검출기를 보여준다. 각 He-3 튜브는 PDT-110A 모듈에 직접 부착되어 있다. 각 6개의 증폭기로 이루어진 A, B, C 신호군은 OR 박스에 연결되어 있으며 OR 박스의 출력은 JSR-12(neutron coincidence analyzer)에 연결되어 있다. 만일 DSNC가 정상적으로 동작하고 있다면 각 A, B, C 신호 그룹은 같은 값을 나타낸다. 3그룹의 신호 상태의 검증을 위해 사용후핵연료 표준시료(SFS)가 이용되었다. 표 1.에서 나타낸 바와 같이 PSR-B에 의해 신호 비율을 측정하였다. B 그룹 신호에 비해 A 그룹 신호는 약 85%를, C 그룹 신호는 약 35% 를 보이고 있다. 따라서 A 그룹에서 5개의 PDT는 정상상태로 나타났으나 C 그룹에서는 두 개의 PDT만이 정상적으로 작동함을 알 수 있다. DSNC는 각 PDT의 TTL 출력은 각 LED와 연결되어 디스플레이는 중성자 계수에 비해 하지만 현재 DSNC의 LED 상태는 불규칙적인 깜빡임 (blink)으로 인해 정상 동작상황을 확인할 수 없다.

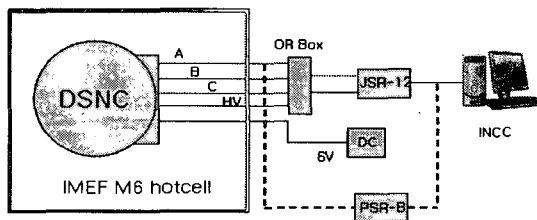


그림 1. DSNC 의 연결도

표 1. DSNC의 A, B, C 그룹 신호 측정값

Signal cps	A1 SFS	A5 SFS	B9 SFS
	MWD/MtU	MWD/MtU	MWD/MtU
A	112	762	944
B	131	873	1075
C	49	333	394

정상상태에서 검증된 DSNC의 중성자 계수 효율은 약 13.5% 이다. 그러나 DSNC의 효율은 A 그룹에서 1개, C 그룹에서 4개의 PDT 비정상 동작으로 인해 SFS를 이용하여 재 교정 되어야

한다. HV 셋팅 값은 1820 V에서 1840 V로 변경되었다. Cf-252 선원 K868의 무게는 2000년 1월 1일 현재  $2.717 \times 10^{-9}$  g 이었다. K868의 붕괴상수는 0.2623 1/yr 로 2007년 2월 27일 현재 무게는 약  $4.158 \times 10^{-10}$  이며 중성자 방출률은 973 n/s 로 계산된다. 계수 시간을 30초로 10번의 주기로 측정을 하여 측정 효율은 10.2 %의 결과를 얻었다. SFS B9의 Cm-244 무게는 ORIGEN2 계산으로 구하면 2.13 mg으로 그 차이는 약 4.3 %이다. 이 결과는 B9 SFS에 대한 Cm-244 의 무게는 DSNC에 대한 IAEA의 시험결과와 잘 일치함을 보여준다. DSNC의 Cm-244 교정은 유사한 연소도에 대한 여러 개의 SFS를 이용하여 다음과 같은 Calibration 기울기를 얻었다.

표 2. Calibration 을 위한 SFS Data

Fuel rod-cut ID and Number		Neutron count rate (cps) (Vcc= 6.0 V, HV = 1840 V, t= 30 sec., 10 cycles)		Remark
		Singles rate	Doubles rate	
1	B9	2,550	139	B9 : Cm-244= 2.14mg
2	B9+ B2	5,015	248	B2 : Cm-244= 2.18mg
3	B9+B2+ B3	7,257	399	B3 : Cm-244= 1.98mg
4	B9+B2+B3+ B8	9,628	538	B8 : Cm-244= 2.095mg
5	B9+B2+B3+B8+ B5	11,555	610	B5 : Cm-244= 1.70mg
6	B9+B2+B3+B8+B5+ B6	13,975	743	B6 : Cm-244= 2.14mg
7	B9+B2+B3+B8+B5+B6+ B7	18,688	857	B7 : Cm-244=1.87mg
Background count rate		(131)	(0.02)	

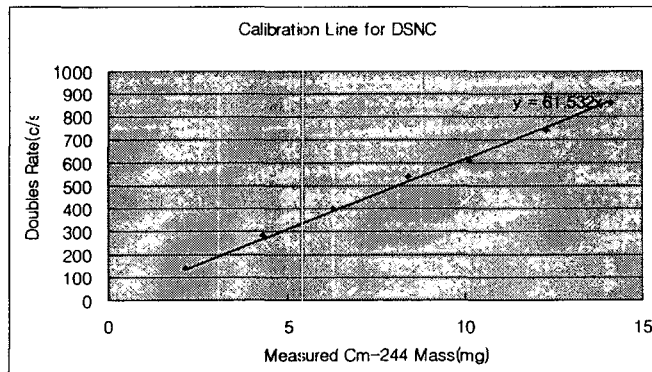


그림 2. Calibration Line for DSNC

- 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 IMEF M6 핫셀에서 설치되어 사용 중인 중성자 동시계수기(DSNC)의 성능평가를 하였다. DSNC의 정상상태 회복을 위한 성능시험은 긴 전원선의 전압강하로 인해 중성자검출기의 전기신호 변환 부분인 PDT에 인가되는 Bias전압이 낮아 별도의 전원을 공급하여 수행하였다. 그룹별 신호 측정 실험에서는 A 그룹은 1개가 C 그룹은 4개의 PDT가 비정상적으로 동작됨을 확인되었다. DSNC의 효율은 비정상 PDT에 의해 13.5 %에서 10.2 %로 떨어졌다. 그러나 B9 SFS에 대한 Cm-244의 검증은 IAEA 대한 시험 결과와 매우 양호하게 일치 있으며 SFS 를 사용한 교정에서와 같이 시료의 선형성이 있다. 일부 비정상 PDT에 대한 영향은 DSNC의 대칭성에 영향을 준다. 따라서 DSNC의 대칭성을 고려하여 A 그룹 과 B 그룹 신호만을 사용하여 시료 계량의 정확성 향상을 위한 연구가 수행될 예정이다.