

결합연료탐지 계통 개선을 위한 중성자 검출기 평가

박광준, 조창근, 조문성
한국원자력연구소
kjpark@kaeri.re.kr

1. 서론

원자로 가동 중 발생하는 결합연료는 가능한 한 신속히 찾아내어 교체함으로써 원자로와 열전달 계통의 오염을 최소화 시킬 수 있다. 이를 위해서 중수로에서는 결합연료탐지 계통이 운영되고 있으며, 탐지원리는 피복재 결합 부분으로부터 냉각재로 누출되는 핵분열 생성물의 방사선을 검출해내는 것이다. 핵분열 생성물 기체 중에는 감마선 및 중성자를 방출하는 핵종이 포함되어 있기 때문에 감마선과 중성자 검출기를 사용하여 결합연료를 탐지하고 있다. 전체 노심내 결합연료 발생 유무는 감마선 검출법을 사용하고 있는 반면, 어느 연료채널에 결합연료가 존재하고 있는지의 여부는 중성자 검출법을 사용하고 있다[1]. 본 연구에서는 결합연료 위치를 보다 신속하고 정확하게 찾아낼 목적으로, 기존에 발전소 현장에서 사용하고 있는 중성자 검출기와 최근에 개발된 중성자 검출기의 감도를 비교하여 어느 것이 더 검출효율이 좋은지를 비교하게 되었다. 이러한 검출감도 비교 평가 결과는 기존의 검출시스템을 대체할 수 있는지를 판단할 수 있는 기본 자료가 될 것이다.

2. 방법 및 결과

검출기 감도 비교 평가시험은 발전소 현장 결합연료탐지 계통의 지발 중성자 측정실(delayed neutron monitoring room)을 이용하는 것이 가장 좋은 방법이나 측정 대상인 기체 핵분열 생성물이 항상 존재하는 것이 아니고, 결합연료가 발생하였을 때만 존재하기 때문에 언제나 측정 가능한 것이 아니다. 따라서 중성자 선원을 이용하여 KAERI의 실험실에서 중성자 검출기 감도 비교 평가시험을 수행하였다.

2.1 시험장치

검출기는 현재 발전소에서 사용하고 있는 LND-203 을 포함하여 3 가지 모델 (LND-2531, LND-2533, LND-20354)과 Reuter Stokes 사의 (RS P4-0810-117) 중성자 검출기를 준비하였다. 이들 검출기 중 두 개는 BF₃ 중성자 검출기이고, 나머지 세 개는 He-3 중성자 검출기이다. 이들 검출기의 고전압 공급 및 신호처리를 위한 전자

장비로는 Canberra 사의 AMSR(Advanced Multiplicity Shift Resister)을 사용하였으며, 검출기와 AMSR 사이의 연결은 전치증폭기/증폭기/콘넥터 역할을 하는 PDT 사 모델 110-A 를 사용하였다. 이들 각 구성품을 연결시킨 실험 시스템은 그림 1 과 같다.

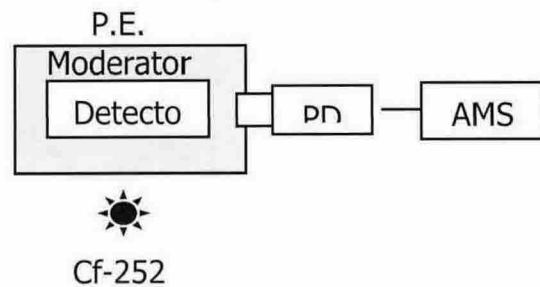


그림 1. 중성자 측정 시스템 개요도.

2.2 측정조건

검출기에 인가한 고전압(HV)은 각 검출기마다 작동 고전압이 다르기 때문에 1,700V-2,000V 까지 50V 간격으로 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 실제 일부 검출기의 추천 고전압이 2,000V 이상인 경우도 있지만 전치증폭기/증폭기/콘넥터로 사용되는 PDT 110-A 의 최대전압이 2,200V 이기 때문에 이 부품의 보호를 위해서 2,000V 까지만 인가하였다. 측정은 한 voltage 당 5 초씩 5 번 측정하여 평균값을 취하는 방법으로 수행하였다. 중성자 선원은 Cf-252 를 사용하였으며, 또한 중성자 선원과 검출기 사이의 감속재로서는 폴리에틸렌(Polyethylene)을 사용하였다. 중성자 감속재는 발전소 현장 DN(delayed neutron) 측정 탱크에서는 경수를 사용하고 있으나 본 실험에서는 실험장치 설치상의 번잡성을 피하기 위하여 폴리에틸렌을 사용하게 되었다.

2.3 측정결과

표 1 은 1,700V-2,000V 범위의 고전압 변화에 따른 각 검출기의 계수율 변화를 보여준다. 표에서 보는 바와 같이 RS P4-0810-117 검출기가 이 범위의 모든 고전압에서 가장 계수율이 높게 나타났다. 그 다음이 LND-2533, LND-20354,

LND-203, LND-2531 순으로 나타났다. 이러한 계수율은 검출감도(sensitivity)와 비례하게 된다.

표 1. 고전압 변화에 따른 각 검출기의 중성자 측정 결과

Detector	Count Rate (cps)						
	Operating Voltage (kV)						
	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00
RS	15.0	15.0	17.5	17.0	17.6	18.1	19.3
a	3.6	4.4	4.8	5.7	5.6	6.3	6.4
b	2.9	3.2	4.5	5.1	6.3	8.0	9.4
c	3.2	4.5	4.7	4.4	4.6	4.6	7.5
d	3.6	6.6	8.6	11.2	14.8	-	-

*RS : RS P4-0810-117, a : LND-203, b : LND-20354, c : LND-2531, d : LND-2533

그림 2는 표 1의 결과를 시각적으로 구별하기 쉽게 하기 위하여 추가하였다. 그림에서 보는 바와 같이 RS P4-0810-117 검출기가 다른 검출기에 비해 계수율이 월등히 높다는 것을 쉽게 알 수 있으며, 현재 발전소 현장 지발 중성자(DN) 측정에 사용하고 있는 LND-203 과 비교하였을 때 현격한 차이가 난다는 것을 알 수 있다.

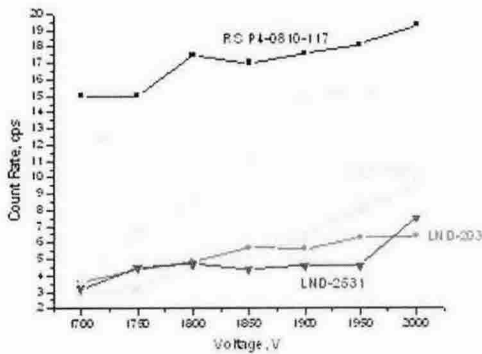


그림 2. 고전압 변화에 따른 각 검출기의 계수율.

2.4 고찰

그러나 2,000V 이상의 고전압 범위에서도 각 검출기의 감도 순서가 2,000V 이하에서와 똑

같이 나타날지 그렇지 않으면 순서가 바뀔지는 실험을 통하여 앞으로 확인되어야 할 것이다. 왜냐하면 각 검출기의 작동 전압 범위(operating voltage range)와 추천 작동전압(recommended operating voltage)이 서로 다르기 때문이다. 현재 발전소 현장에서 사용되고 있는 LND-203의 작동전압 범위는 1,900-2,400V이며, 추천 작동전압은 2,150V이다. 그리고 LND-20354의 경우, 작동전압 범위는 2,000-2,700V이다. 그러나 이러한 범위는 본 실험에서는 PDT-110A의 최대 인가 전압 범위를 일부 벗어났기 때문에 생략되었으나 앞으로 이러한 범위의 실험자료는 각 검출기 간의 정확한 감도 비교를 위하여 필요하다.

3. 결론

기존 중수로 결합연료 탐지시스템의 성능을 개선하기 위한 목적으로 중성자 검출기의 검출 감도 비교 평가시험을 수행하였다. 시험 검출기는 현재 중수로 발전소 현장에서 사용하고 있는 BF₃ 검출기를 포함하여 감도가 비교적 높은 것으로 알려진 다섯 개의 검출기를 대상으로 하였다. 중성자 선원으로는 Cf-252를 사용하였으며, 감속재로서는 폴리에틸렌을 사용하였다. 그리고 고전압 범위는 PDT-110A의 최대 전압을 감안하여 1,700-2,000V까지만 변화시켜 가며 시험을 수행하였다. 시험자료 획득 후, 각 검출기의 검출 감도를 비교한 결과, He-3 검출기인 RS P4-0810-117의 검출감도가 가장 좋은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 LND-2533(He-3), LND-20354(BF₃), LND-203(BF₃), LND-2531(He-3) 순으로 나타났다. 이러한 검출감도 순서는 2,000V 이내의 고전압인 경우에 국한된다. 그 이상의 고전압에 대해서는 앞으로 시험을 통하여 규명되어야 하며, 또한 발전소 현장 시험을 통하여 Cf-252 선원이 아닌 실제 기체 핵분열 생성물을 대상으로 검증을 받아야 한다.

참고문헌

[1] AECL, Design Manual : Failed Fuel Location System, 86-63105-DM-001 Revision 1, AECL, 1997.