

PWR 원자력발전소 격납건물 내 감마선속 측정

Measurement of Gamma Ray Flux within the Containment Building
at the First Unit of Kori Nuclear Power Station

김태욱, 김경덕, 윤철환, 한재문, 허영희

한수원(주) 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

원자력발전소의 감마선 모니터링에 사용되는 GM 검출기를 이용하여 측정된 감마선 방사선량의 응답도를 평가하기 위하여 고리 1호기 격납건물 내 3 지점에 대하여 감마선 에너지스펙트럼을 구하고 효율교정함수를 이용하여 측정지점의 감마선속을 구하였다. 이에 대하여 Eberline 사의 E112B 선량계의 응답함수를 바탕으로 평균 응답도를 평가한 결과 이들 3지점에 대한 GM 검출기의 감마선량 값은 실제 감마선량 값 보다 1.31 ~ 1.37 배 정도 보수적으로 평가되는 것으로 나타났다.

Abstract

To evaluate gamma ray dose response of GM counter being used for monitoring of gamma ray field in nuclear power plants, gamma ray energy spectra and fluxes were obtained for three positions at the unit 1 of the Kori nuclear power station. By applying the response values of Eberline's E112B survey meter to the results, the doses represented on the survey meter were overestimated from 1.31 to 1.37 times when compared to the real doses for these three positions.

서론

원자력발전소에서 사용하는 감마선 모니터링을 위한 선량계는 일반적으로 가이거뮐러(GM; Geiger-Muller) 계수기를 검출기로 사용하고 있다. 이러한 GM 계수기는 중간에너지의 감마선 영역 (300 keV ~ 1 MeV) 에서 낮은 응답도를 나타내지만, 저에너지 영역 (300 keV 이하) 및 고에너지 영역 (1 MeV 이상) 에서는 높은 응답도를 보인다.

GM 검출기는 보통 ^{137}Cs 에서 발생하는 661.65 keV의 감마선의 응답도가 1 이 되도록 교정하여 사용하고 있다. 그러나 GM 검출기의 방사선량 측정값은 감마선의 에너지에 따라 실제와 다르게 나타나므로 방사선량의 정확한 평가를 위해서는 측정 장소의 에너지별 감마선속을 구하고 여기에

GM 검출기의 감마선 에너지별 응답함수를 가중치로 입력하여 측정 장소의 평균적인 GM 검출기 응답도를 구하여야 한다.

본 연구에서는 먼저 PWR 원전의 에너지별 감마선속을 분석하기 위하여 고리 1 호기 원자력발전소를 대상으로 에너지 분해능이 높은 게르마늄검출기를 이용하여 격납건물 내의 감마선장을 측정하고, 게르마늄검출기의 효율함수를 이용하여 감마선속을 구하였다. 또한 GM 검출기의 에너지별 감마선 응답함수를 이용하여 평균적인 GM 검출기의 감마선 응답도를 구하였다.

본론

감마선 검출기를 이용하여 넓은 범위의 감마선 준위에 대한 방사선량을 측정하기 위해서는 방사선준위별로 적합한 몇 가지의 GM 계수기를 병용하는 경우도 있기는 하지만, 대개는 한 개의 GM 계수기를 이용하게 된다[1].

원전 격납건물 내는 차폐 구조물 때문에 장소에 따라 방사선준위 및 에너지의 변화폭이 크므로 측정 장소의 방사선준위 및 에너지에 따라 감마선량 측정에 사용되는 GM 계수기의 감마선 응답도도 달라진다.

GM 계수기의 감마선 응답도는 감마선의 에너지가 낮은 영역에서는 감마선 에너지 비례하여 급격히 높아지다가 150 keV 정도 부근에서 피크를 이룬 후 급격히 떨어지다 점차 완만해진다. 그러다 감마선의 에너지가 다시 500 keV 부근을 지나면서 상승하게 된다.

대체적으로 대부분의 주 감마선 에너지 영역 (300 keV ~ 1 MeV) 에서는 GM 계수기의 응답도가 ^{137}Cs 에서 발생하는 661.65 keV의 감마선의 응답도에 가까운 경향을 나타내고, 감마선 평균에너지가 300 keV 보다 낮거나 661.65 keV 보다 높을 경우에는 이보다 높은 응답도를 나타낸다. 그러므로 GM 계수기를 661.65 keV의 감마선에서 응답도가 1이 되도록 교정하게 되면 전반적으로 보수적인 값이 나타날 것으로 예상된다.

그림 1 및 표 1 에 Eberline 사의 E112B 선량계를 감마선 에너지별로 ^{137}Cs 등 13 개의 핵종을 이용하여 측정된 결과를 이용하여 감마선 검출기의 응답도를 나타내었다[2].

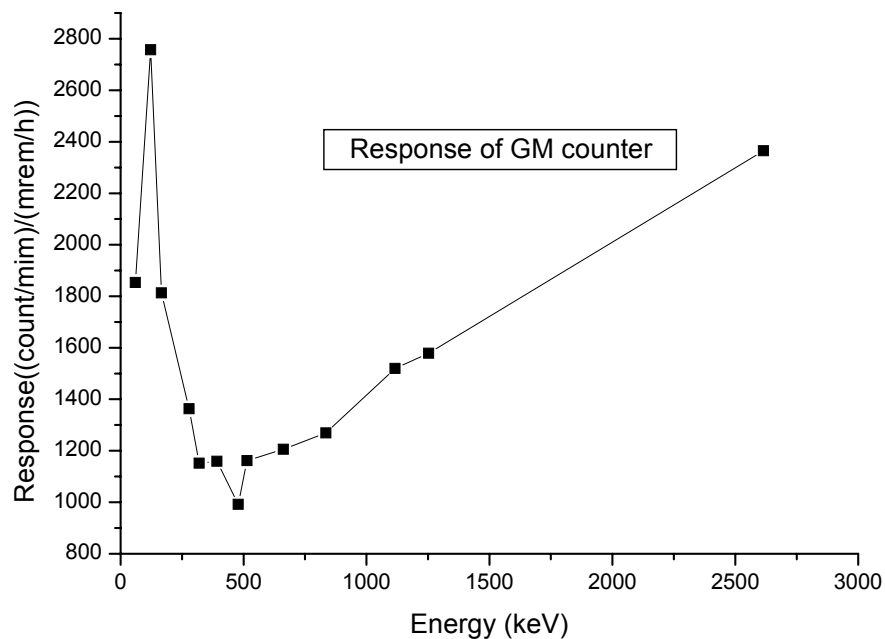


그림 1. 감마선 에너지별 GM 계수기의 응답도

표 1. 감마선 에너지별 GM 계수기의 응답도

Isotope	Energy (keV)	GM Counting Data		Calibration Factor (cpm/(mrem/h))			
		cpm	σ (%)	Lawrence	σ (%)	ANSI	σ (%)
²⁴¹ Am	59.54	3.67	6.90	1854	7.6	1237	8.1
⁵⁷ Co	122.06	20.33	0.81	2757	1.7	2250	3.5
¹³⁹ Ce	165.85	18.39	1.60	1813	5.2	1507	6.0
²⁰³ Hg	279.19	17.67	5.20	1363	5.5	1165	6.3
⁵¹ Cr	320.08	1.51	15.00	1152	15.8	970	16.1
¹¹³ Sn	391.69	13.27	5.50	1159	7.5	973	8.0
⁷ Be	477.59	2.84	13.00	992	13.8	864	14.2
⁸⁵ Sr	513.99	35.41	1.10	1162	1.4	1006	1.8
¹³⁷ Cs	661.65	37.77	3.20	1206	4.4	1090	4.5
⁵⁴ Mn	834.83	59.68	2.20	1269	5.5	1174	5.6
⁶⁵ Zn	1115.50	45.23	0.90	1520	3.1	1406	3.3
⁶⁰ Co	1173.20 1332.50	199.20	0.62	1579	5.0	1444	5.1
²²⁸ Th	2614.70	10.52	8.80	2365	9.0	2269	9.1

원자력발전소 내의 에너지별 감마선속을 구하기 위하여 고리 1호기 격납건물 내를 대상으로 그림 2와 같이 측정지점을 선정하였다. 측정지점은 20 ft 의 A, D 지점과 44 ft 의 A 등 총 3 지점이였다.

감마선 측정은 3인치 × 3인치 NaI(Tl) 검출기 대비 효율 16% 인 HPGe 검출기를 이용하였으며, 감마선 에너지 측정범위는 50 keV ~ 10 MeV로 설정하였고, 측정은 각 600 초씩 수행하였다.

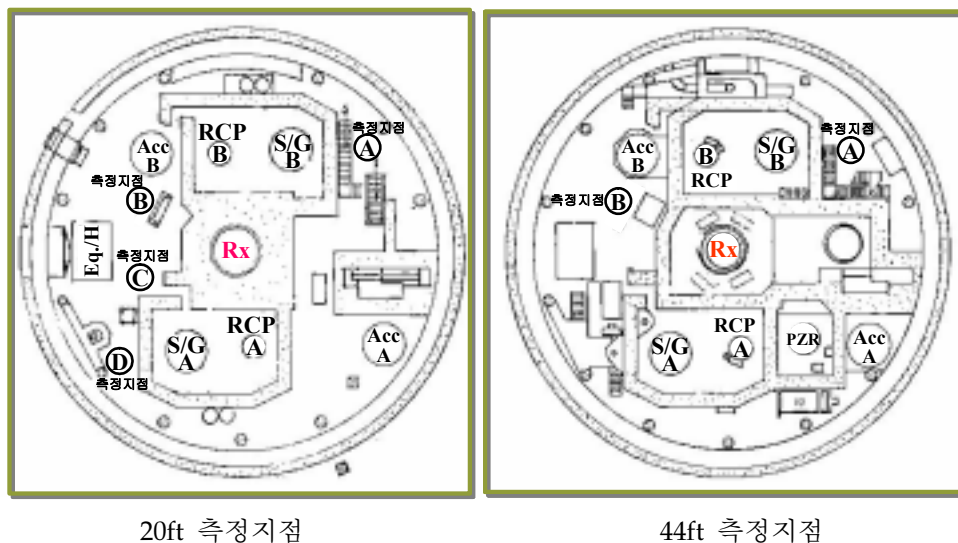


그림 2. 감마선 에너지 스펙트럼 측정지점

이들 지점에서의 감마선 에너지 스펙트럼 측정결과를 그림 3 ~ 5 에 나타내었다.

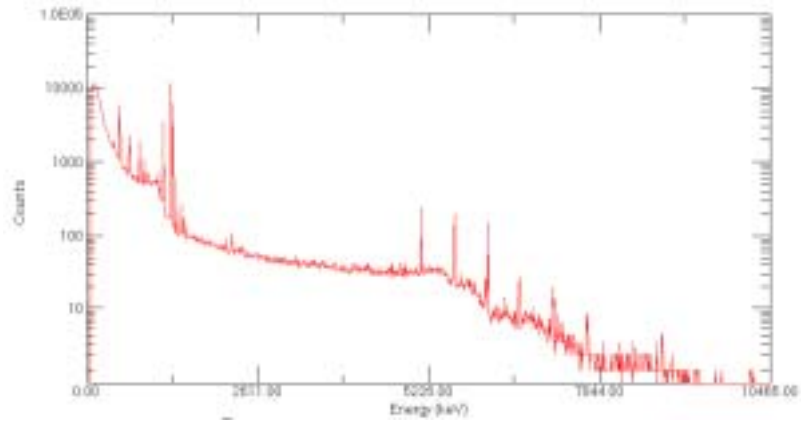


그림 3. 20 ft A 지점의 감마선 에너지 스펙트럼

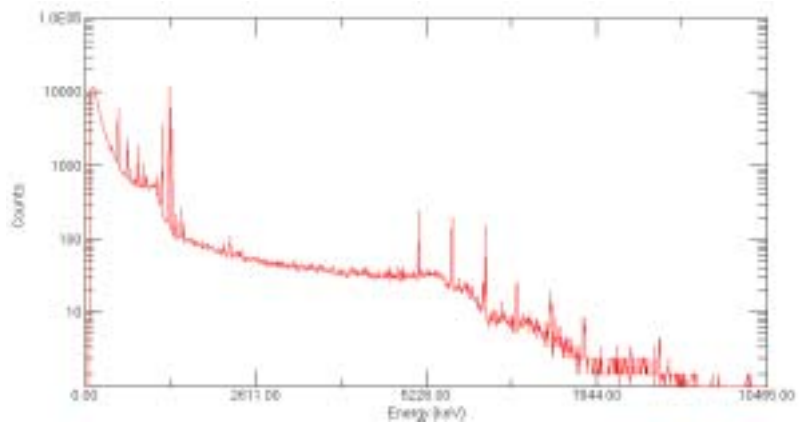


그림 4. 20 ft D 지점의 감마선 에너지 스펙트럼

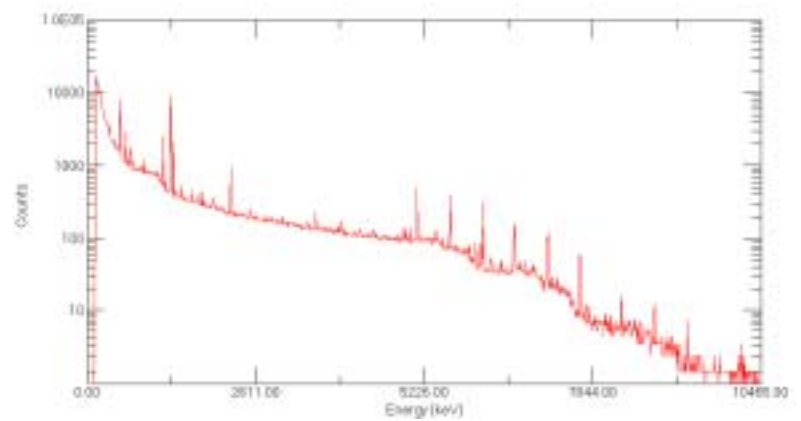


그림 5. 44 ft A 지점의 감마선 에너지 스펙트럼

그림 3 ~ 5 의 감마선 에너지 스펙트럼은 단순한 게르마늄 검출기의 에너지별 감마선 측정개수를 나타낸다. 그러므로 실제의 에너지별 감마선속을 구하기 위해서는 이러한 에너지별 계수값을

게르마늄 검출기의 효율로 나누어야 한다. 그림 6 ~ 8에 이들 지점에 대하여 구한 에너지별 감마선속을 나타내었다.

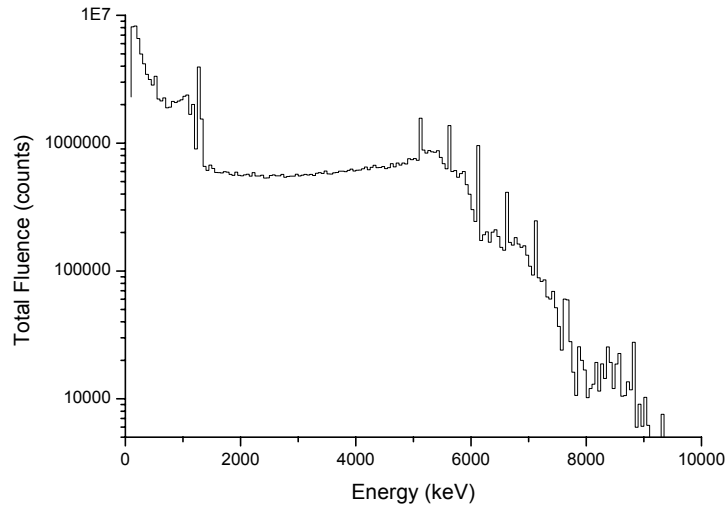


그림 6. 20 ft A 지점의 감마선속

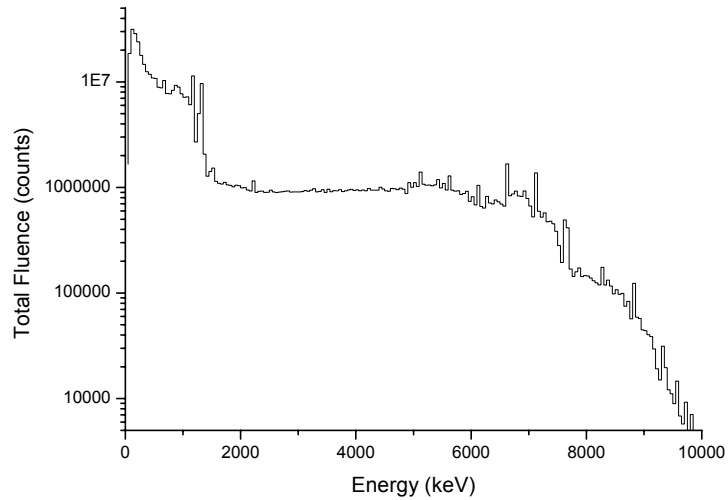


그림 7. 20 ft D 지점의 감마선속

그림 6 ~ 8의 감마선속은 2 MeV 이하의 에너지 범위에서는 표준선원으로 교정된 효율 값을 사용하였고, 2 MeV 이상의 에너지에 범위에 대해서는 2 MeV 이하의 에너지에 대하여 구한 효율 교정 함수를 외삽하여 구하였다. 따라서 2 MeV 이상의 에너지에 해당하는 감마선속은 감마선 에너지가 높을수록 실제값에서 벗어날 것으로 예상된다.

감마선의 방사선가중치는 감마선 에너지에 관계없이 1이다[3]. 그러므로 실제 감마선량은 그림 6 ~ 8의 감마선속에 가중치 1을 곱하면 계산된다. 그러나 GM 계수기의 에너지별 감마선 응답도는 그림 1 또는 표 1 과 같고, 따라서 GM 계수기로 측정하였을 때의 감마선량은 그림 6 ~ 8의

감마선속에 그림 1의 GM 계수기의 가중치를 곱한 값이 된다.

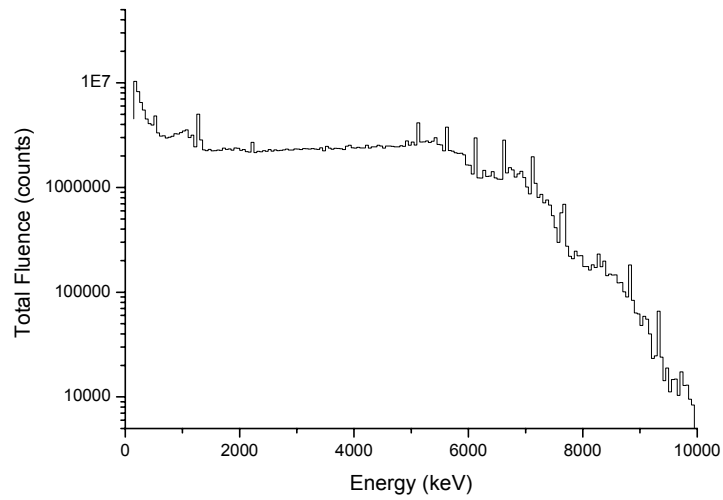


그림 8. 44 ft A 지점의 감마선속

그림 1에서 661.65 keV의 감마선의 응답도를 이용하여 감마선량을 구한 값과 그림 1의 감마선 에너지별 응답도를 이용하여 GM 검출기의 0 ~ 2.6 MeV 범위의 응답도를 표 2 및 그림 9에 나타내었다.

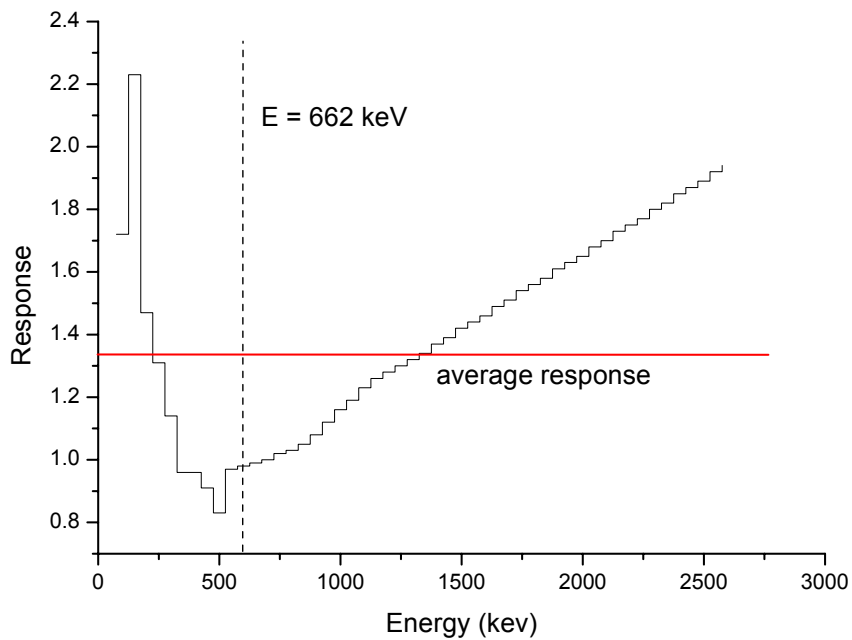


그림 9. GM 계수기를 이용한 감마선 검출기의 에너지별 응답도 (20 ft A 지점)

표 2. GM 계수기를 이용한 감마선 검출기의 에너지별 응답도 (20 ft A 지점)

에너지 (keV)	fluence	response	응답도	에너지 (keV)	fluence	response	응답도
75	2.73E+06	4.69E+06	1.72	1375	1.07E+06	1.47E+06	1.37
125	1.07E+07	2.40E+07	2.23	1425	1.00E+06	1.39E+06	1.39
175	1.14E+07	1.68E+07	1.47	1475	1.11E+06	1.57E+06	1.42
225	9.33E+06	1.22E+07	1.31	1525	1.05E+06	1.51E+06	1.44
275	7.18E+06	8.21E+06	1.14	1575	9.80E+05	1.43E+06	1.46
325	6.07E+06	5.80E+06	0.96	1625	9.82E+05	1.46E+06	1.49
375	4.82E+06	4.62E+06	0.96	1675	9.81E+05	1.48E+06	1.51
425	4.35E+06	3.95E+06	0.91	1725	1.01E+06	1.55E+06	1.54
475	3.89E+06	3.22E+06	0.83	1775	1.00E+06	1.56E+06	1.56
525	4.70E+06	4.54E+06	0.97	1825	9.69E+05	1.53E+06	1.58
575	3.16E+06	3.09E+06	0.98	1875	9.55E+05	1.54E+06	1.61
625	3.09E+06	3.06E+06	0.99	1925	1.02E+06	1.66E+06	1.63
675	3.31E+06	3.33E+06	1.00	1975	9.64E+05	1.59E+06	1.65
725	2.79E+06	2.85E+06	1.02	2025	9.58E+05	1.61E+06	1.68
775	2.86E+06	2.96E+06	1.03	2075	9.77E+05	1.66E+06	1.70
825	3.21E+06	3.36E+06	1.05	2125	9.93E+05	1.71E+06	1.73
875	3.17E+06	3.43E+06	1.08	2175	9.63E+05	1.69E+06	1.75
925	3.27E+06	3.66E+06	1.12	2225	1.03E+06	1.83E+06	1.77
975	3.38E+06	3.90E+06	1.16	2275	9.72E+05	1.75E+06	1.80
1025	3.63E+06	4.33E+06	1.19	2325	9.75E+05	1.78E+06	1.82
1075	3.74E+06	4.60E+06	1.23	2375	9.91E+05	1.83E+06	1.85
1125	2.66E+06	3.36E+06	1.26	2425	9.43E+05	1.76E+06	1.87
1175	3.19E+06	4.09E+06	1.28	2475	9.49E+05	1.80E+06	1.89
1225	1.44E+06	1.88E+06	1.30	2525	9.92E+05	1.90E+06	1.92
1275	6.35E+06	8.38E+06	1.32	2575	1.01E+06	1.96E+06	1.94
1325	2.50E+06	3.37E+06	1.34	합계	1.42E+08	1.89E+08	1.33

마찬가지로 나머지 20 ft D 지점 및 44 ft A 지점에 대한 평균 응답도를 구한 결과 각각 1.31 및 1.37 이었다. 따라서 이들 3지점에 대한 GM 검출기의 감마선량 값은 실제 감마선량 값 보다 1.31 ~ 1.37 배 정도 보수적으로 평가되는 것으로 나타났다.

본 연구는 Eberline 사의 E112B 선량계의 응답함수를 바탕으로 계산한 것으로 검출기에 따라서 약간씩 다른 값을 보일 것으로 예상된다. 또한, 본 계산은 2 MeV 이하의 에너지에 대하여 교정한 감마선속 값을 이용하였기 때문에 감마선 에너지가 2 ~ 2.6 MeV 에 해당하는 구간에 대해서는 약간의 오차를 포함하고 있다.

실제 원전의 격납용기 내에 존재하는 감마선의 에너지는 2.6 MeV 이상도 관측되므로 2.6 MeV 이상에 대한 영역에 대하여도 GM 검출기의 응답함수와 게르마늄 검출기의 교정을 수행하여야 보다 정확한 값을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

결론

원자력발전소 내의 에너지별 감마선속을 구하기 위하여 고리 1호기 격납건물 내 20 ft 의 A, D 지점과 44 ft 의 A 등 총 3 지점에 대하여 감마선 에너지스펙트럼을 구하고 효율교정함수를 이용하여 측정지점의 감마선속을 구하였다.

이에 대하여 Eberline 사의 E112B 선량계의 응답함수를 바탕으로 평균 응답도를 평가한 결과 이들 3지점에 대한 GM 검출기의 감마선량 값은 실제 감마선량 값 보다 1.31 ~ 1.37 배 정도 보수적으로 평가되는 것으로 나타났다.

본 계산은 2 MeV 이하의 에너지에 대하여 교정한 감마선속 값을 이용하였기 때문에 감마선 에너지가 2 ~ 2.6 MeV 에 해당하는 구간에 대해서는 약간의 오차를 포함하고 있다. 또한, 실제 원전의 격납용기 내에 존재하는 감마선의 에너지는 2.6 MeV 이상도 관측되므로 2.6 MeV 이상에 대한 영역에 대하여도 GM 검출기의 응답함수와 게르마늄 검출기의 교정을 수행하여야 보다 정확한 응답함수 값을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. AECL-6843 - A. R. Jones, " A Wide Range Survey Meter for Estimating γ - and β - Dose Rates, Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River, 1980.
2. LA-UR-83-3398 - Eugene A. Plassmann, Raymond A. Pederson and Calvin E. Moss, " Energy Response and Dose-Rate Calibration of a Geiger-Muller Gamma-Ray Detector," Los Alamos National Laboratory, New Mexico, 1984.
3. 과학기술부고시 제2002 - 1호, 방사선방호 등에 관한 기준