

## **Dose Evaluation of Neutron within Containment Building of a CE type Nuclear Power Plant**

### **CE형 원전의 격납건물내 중성자선량 평가**

**Tae-Wook Kim, Jae-Mun Han, Kyung-Doek Kim, Cheol-Whan Yun,  
Jang-Soo Suh and Young-Jae Kim**

Nuclear Environment Technology Institute, 150 Duckjin-Dong, Yuseong-gu, Daejeon  
[taewook@khnp.co.kr](mailto:taewook@khnp.co.kr)

**김태욱, 한재문, 김경덕, 윤철환, 서장수, 김영재**

원자력환경기술원, 대전시 유성구 덕진동 150번지

(Received November 30, 2004 / Approved January 25, 2005)

#### **Abstract**

From measured results of the neutron fields at some principal places within the containment building in a CE type nuclear power plant in operation, the radiation exposure of a worker to the neutron at there was evaluated and the equivalent dose reflecting new recommendation (ICRP 60) was compared with that doing the old one (ICRP 26). The measured neutron field was also compared with calibration neutron field. From the analysis, the following conclusion was obtained: the average neutron radiation weighting factor according to new recommendation is 2.41 to 2.71 times higher than the old one. The average neutron radiation weighting factor at the measured place was similar to that at calibration neutron field. The average neutron energy at measured place was between 42 and 158 keV and higher than that of calibration field of 500 keV. So, the measured equivalent dose in nuclear power plant could be overestimated compared to the real equivalent dose.

---

**Key Words** : neutron flux, radiation weighting factor, equivalent dose, calibration, containment building

#### **요약**

CE형 원자력발전소를 대상으로 운전중 격납건물내 주요지점의 중성자장을 측정하여 작업자가 받을 수 있는 예상 방사선 피폭선량 등을 평가하고, 국제방사선방호위원회의 구권고(ICRP-26) 및 신권고(ICRP-60)에 따른 방사선 피폭선량 비교 및 교정 중성자장과 실제 중성자장의 방사선가중치 등을 분석해보았다. 분석결과 신권고에 따른 중성자가중치는 구권고에 의한 값보다

2.42~2.71 배 높은 것으로 나타났으며, 측정지점의 중성자 방사선가중치 평균은 교정 중성자장의 평균과 비슷하였다. 중성자 평균에너지는 42~158 keV로 교정 중성자장의 평균에너지 500 keV 보다 낮아 이럴 경우 각 측정지점에 대한 측정값은 실제 등가선량보다 보수적으로 평가될 수 있음을 알 수 있었다.

**중심단어** : 중성자속, 방사선가중치, 등가선량, 교정, 격납건물

**I. 서론**

1990년에 국제방사선방호위원회(ICRP)는 등가선량, 방사선가중치 및 선량한도 등을 포함한 새로운 권고(ICRP 60)를 발표하였다[1]. ICRP 60의 방사선가중치는 중성자의 경우 구 권고(ICRP 26)에 비하여 많은 차이가 있다. 구 권고에서는 중성자 방사선가중치는 중성자 에너지별로 10단계의 복잡한 체계로 되어 있었으나 신 권고에서는 5단계의 간단한 체계로 바뀌었으며 2 MeV 이하의 중성자의 경우 전반적으로 방사선가중치의 값이 매우 높아졌다. 또한 신 권고에서는 방사선 피폭선량 한도도 대폭 축소되어 앞으로는 중성자의 경우 피폭선량의 정확한 평가가 매우 중요하게 되었다.

원자력발전소에서는 운전 중에도 증기발생기 및 RCP 등의 센서 점검 및 긴급보수를 위하여 작업자가 운전중에 원자로 건물내를 출입해야 하는 경우가 발생된다[2]. 이 경우 중성자에 의한 방사선 피폭이 예상되며, 국제방사선방호위원회의 신권고를 적용하여 방사선작업자의 피폭선량을 예측하고 평가하여야 한다.

이를 위해서는 해당 원전 작업장에 대한 중성자장을 직접 측정하고, 중성자장에 따른 평균에너지 및 평균 방사선가중치 등을 평가하여, 방사선작업관리 및 작업시 받은 피폭선량 등을 평가하여야 한다. 이를 위해 외국의 경우에는 PWR 및 BWR 상업용 원자력발전소에 대한 중성자장의 측정이 여러 차례 이루어졌다[3]. 국내에서도 1998년 월성 및 영광 원자력발전소를 대상으로 중성자장을 측정할 바 있으나[2]. 이를 활용하여 방사선작업자의 방사선작업감시나 피폭선량 평가에 활용할 수 있도록 충분한 자료를 확보하지는 못한 실정이다.

이를 위해 본 연구에서는 CE형 원자력발전소를 대

상으로 운전중 격납건물내 주요지점의 중성자장을 측정하여 작업자가 받을 수 있는 예상 피폭선량 등을 평가하고, 구권고 및 신권고에 따른 방사선 피폭선량 비교 및 교정 중성자장과 실제 중성자장의 차이에 따른 방사선 피폭선량 평가 영향 등을 분석해 보았다.

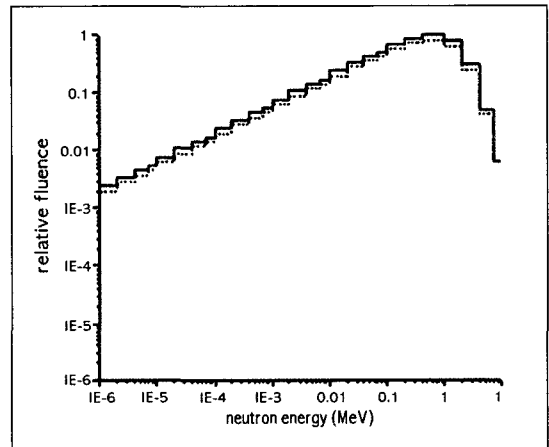


Figure 1. neutron energy spectrum from spontaneous fission of <sup>252</sup>Cf. Solid line is  $N \sim e^{-0.88E} \sinh \sqrt{2E}$  [4] and dot line is  $N \sim e^{-E/1.025} \sinh \sqrt{2.926 E}$  [5].

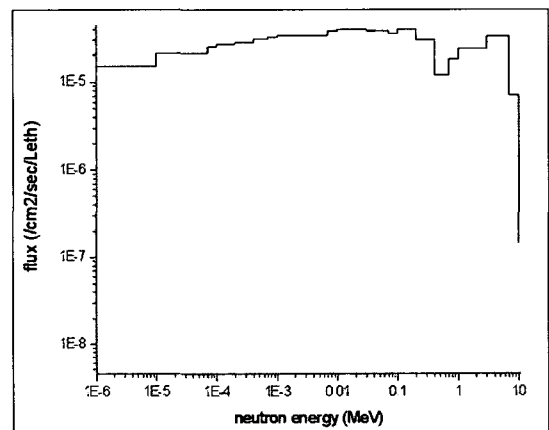


Figure 2. Energy flux of neutron emitted from <sup>252</sup>Cf and moderated by D<sub>2</sub>O.

## II. 본 론

현재 원자력발전소에서는 격납건물내를 출입하는 방사선작업자의 중성자 피폭선량은 작업 전이나 작업 중에 rem counter 등을 이용하여 모니터링하고 작업중 받은 총 피폭선량은 TL 선량계(TLD)를 사용하여 평가하고 있다.

원자력발전소에서 사용되는 중성자 검출기는 원자력발전소 격납건물내의 중성자 에너지스펙트럼과 유사한 중성자장에서 교정하기 위하여 원자력발전소의 노심에서 발생하는 중성자 스펙트럼과 유사한 중성자를 발생시키는 <sup>252</sup>Cf 선원을 직경 30 cm의 D<sub>2</sub>O로 감속시킨 중성자장에서 교정하여 사용하고 있다[2].

<sup>252</sup>Cf 선원의 중성자 에너지스펙트럼은 Watt fission spectrum을 사용하며, 실험결과와 MCNP 모사를 통하여 여러 값이 알려져 있다. 그림 1 에 <sup>252</sup>Cf 선원의 중성자 에너지스펙트럼을 나타내었다.

<sup>252</sup>Cf 선원의 중성자 에너지스펙트럼과 이를 30 cm의 D<sub>2</sub>O로 감속시킨 중성자장의 에너지스펙트럼을 그림 2에 나타내었다[6].

<sup>252</sup>Cf 선원의 평균에너지 약 2.2 MeV 이고 <sup>252</sup>Cf 선원을 D<sub>2</sub>O로 감속시킨 중성자장의 평균에너지는 약 500 keV 이다. 그러나 외국의 연구용원자로의 중성자 에너지스펙트럼 측정결과나 국내 PWR 원전의 에너지스펙트럼 측정결과를 보면 이보다 훨씬 낮은 것으로 나타나고 있다[2, 3, 7]. 표 1에 중성자 선원별 평균에너지를 나타내었다.

**Table 1. Mean energies of neutron emitted from neutron source**

Source type	Mean neutron energy (MeV)
Am-Be ( $\alpha, n$ )	4.1
Am-B ( $\alpha, n$ )	2.8
<sup>252</sup> Cf (spontaneous fission)	2.2
Moderated <sup>252</sup> Cf	0.5
Am-F ( $\alpha, n$ )	1.5
Am-U ( $\alpha, n$ )	0.5
Research Reactor[2]	$6.0 \times 10^{-8}$ $1.4 \times 10^{-1}$
PWR[7]	$9.2 \times 10^{-6}$ $3.0 \times 10^{-1}$

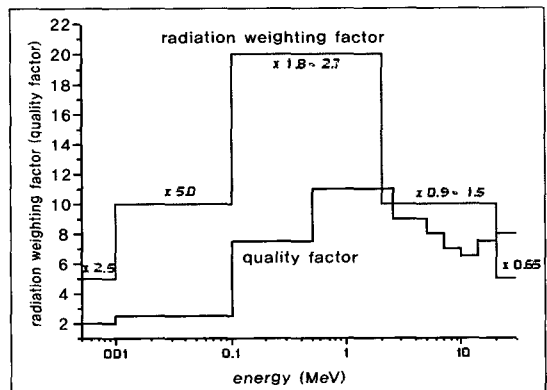
중성자에 의한 방사선 피폭선량은 중성자 플럭스에 중성자의 평균에너지와 방사선가중치를 곱하여 계산할 수 있으며, 이때 적용되는 중성자의 평균에너지와 방사선가중치에 의하여 중성자 피폭선량 평가가 이루어진다. 따라서 교정 중성자장의 평균에너지가 500 keV 이므로 측정지점의 평균에너지가 500 keV 보다 크면 피폭선량이 저평가 되며 500 keV 보다 작으면 고평가 된다. 마찬가지로 측정지점의 중성자 방사선가중치가 교정 중성자장의 방사선가중치보다 크면 피폭선량이 저평가되며, 측정지점의 방사선가중치가 작으면 고평가된다.

현재의 원자력법령에는 ICRP 60의 권고를 적용하고 있으며, 중성자의 경우 ICRP 26의 방사선가중치와 많은 차이를 보이고 있다[6]. 기존 중성자 측정장비의 경우 제작사에서 제공한 ICRP 26의 방사선가중치를 그대로 사용할 수 있으며, 이 경우 방사선가중치에 대한 보정이 필요하다. 그림 3에 ICRP 26의 구 권고에 따른 방사선가중치와 ICRP 60의 신권고에 따른 방사선가중치를 나타내었다[8].

그림 3에서 보듯 중성자의 방사선가중치는 중성자의 에너지가 2 MeV 이하일 경우에는 ICRP 60의 값이 ICRP 26의 값보다 최저 1.8배에서 최고 5배까지 더 크고, 2 MeV 이상일 경우에는 큰 차이 없이 비슷하다.

### 가. 중성자장 측정

CE형 원전인 영광 3호기의 중성자에 의한 피폭선량을 평가하기 위하여 격납건물내 주요 작업장의 중



**Figure 3. A comparison between radiation weighting factor of ICRP 60 and radiation weighting factor (quality factor) of ICRP 26 for neutron**

성자장을 측정하였다. 측정장치로는 다중구 중성자 스펙트럼 측정장치 (BMS; Bonner Multi-sphere Spectrometer)를 사용하였다[9].

BMS는 열중성자 검출기인  ${}^6\text{Li}(\text{Eu})$ , 열중성자 차폐체인 0.5 mm의 카드뮴 판, 고속중성자 감속재인 고밀도 폴리에틸렌 다중구로 구성되어 있으며, 감속재인 다중구의 크기에 따라 중성자의 에너지별 응답 함수가 다른 성질을 이용하여 전체적인 중성자 에너지스펙트럼을 얻는 장치이다. 그림 4 및 5에 BMS 및 고밀도 폴리에틸렌 구의 크기에 따른 BMS의 중성자 응답 함수를 나타내었다.

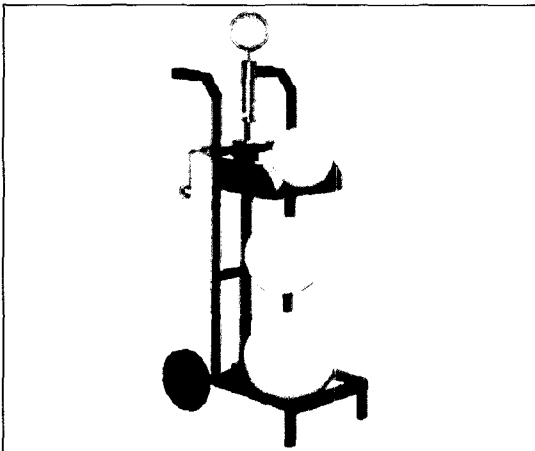


Figure 4. BMS (Bonner Multi Sphere) Spectrometer. The BMS Uses  ${}^6\text{Li}(\text{Eu})$  Scintillation detector and 2, 3, 5, 8, 10, 12 inch moderator to detect broad energy range of neutron.

측정방법은 그림 4와 같은 6개의 다중구(2, 3, 5, 8, 10, 12)를 사용하여 중성자 에너지별 반응도가 다른 측정결과를 얻고, 여기에 다중구를 사용하지 않은 열중성자와 감마선을 포함한 검출기의 백그라운드 측정결과와 0.5 mm의 카드뮴을 사용한 백그라운드를 측정결과 등 각 지점별 총 8회의 측정값을 사용하였다[10].

즉, 각 지점별로 측정된 8개의 측정결과는 식 (1)에서와 같이 임의의 검출기  $i$ 에 대하여 중성자 플럭스 ( $E$ )에 그림 6의 중성자 에너지별 응답 함수를 곱하여 적분한 값이므로,

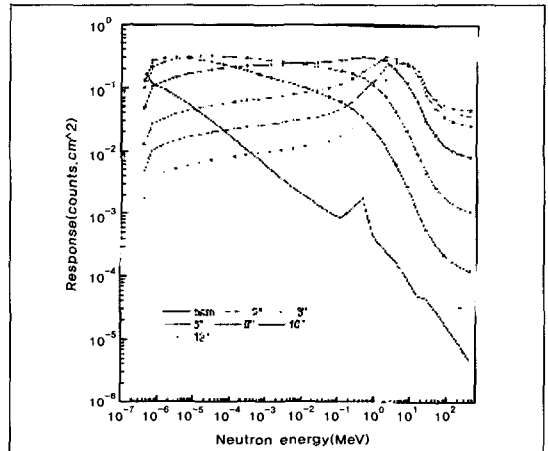


Figure 5. The neutron response function of the BMS with various type of high density polyethylene sphere

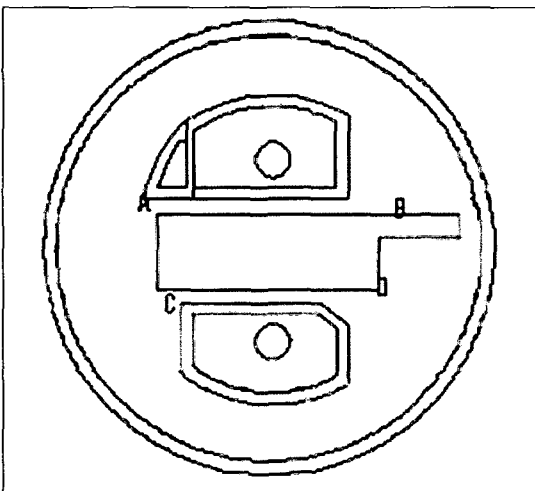


Figure 6. The places on the 142ft floor within containment building at which neutron flux was measured in nuclear power plant, Youngkwang unit 3.

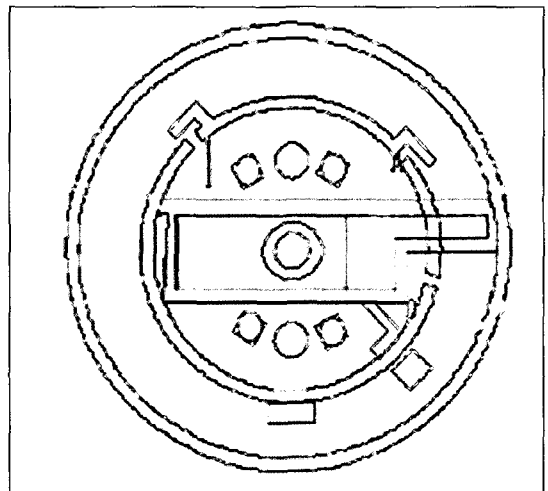


figure 7. The places on the 122ft floor within containment building at which neutron flux was measured in nuclear power plant, Youngkwang unit 3.

$$M_i = \int_{E_{min}}^{E_{max}} R_i(E) \phi(E) dE \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $M_i$  는 검출기  $i$  의 측정값  $R_i(E)$  는 검출기  $i$  의 에너지  $E$  인 중성자에 대한 응답함수

$\phi(E)$  는 에너지  $E$  인 중성자의 플럭스

식 (1)을  $n$  개의 에너지 구간으로 나누면 식 (2)와 같고, 여기에 8 개의 측정결과를 대입하고 BUNKI 코드로 unfolding 하면 각 검출기  $i$  의 측정결과와 응답함수 자료를 이용하여 측정지점의 중성자의 에너지 스펙트럼을 구할 수 있다[11].

$$M_i = \sum_{g=1}^n R_{i,g} \phi_g \Delta E_g \quad \dots\dots\dots (2)$$

측정지점은 운전중 격납건물내의 144ft 4 지점, 122ft 1 지점, 100ft 1 지점으로 각 측정지점의 위치는 그림 6 ~ 8 과 같다.

각 지점별 측정시간은 6개의 다중구 및 카드뮴 등 총 8회의 중성자 측정결과가 모두 측정불확도가 가능하면 3% 이내에 들도록 설정하였다. 각 지점별 측정시간 및 측정불확도를 표 2에 나타내었다.

다중구별 측정결과를 BUNKI code로 unfolding 하여 얻은 중성자 에너지스펙트럼은 그림 9와 같다.

이러한 각 측정지점의 중성자 에너지스펙트럼을 이용하여 중성자선속과 평균에너지를 구하였다.(표 3).

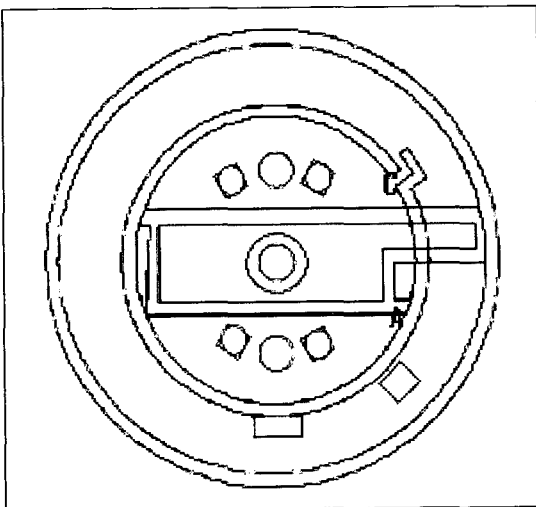


Figure 8. The places on the 100ft floor within containment building at which neutron flux was measured in nuclear power plant, Youngkwang unit 3.

Table 3. Neutron fluxes, average neutron energy at measured place on the 142ft, 122ft, 100ft floor with containment building in nuclear power plant, Youngkwang unit 3.

지점	총 선속 ( $n \cdot cm^2 \cdot s^{-1}$ )	평균에너지 (keV)
142A	391	45.0
142B	467	65.4
142C	819	79.9
142D	1392	158.4
122A	847	61.1
122C	1411	70.3
100A	3462	33.0
100C	4947	42.0
평균	1,526	69.4

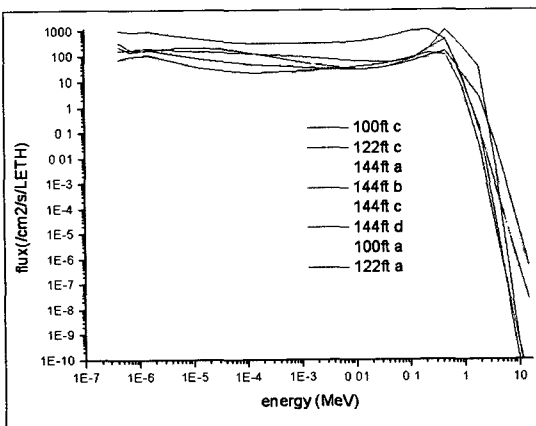


Figure 9. Neutron fluxes at various places on the 100ft, 122ft, 144ft floor within the containment building.

Table 4. Dose equivalent, equivalent dose, average quality factor, average radiation weighting factor at measured place on the 142ft, 122ft, 100ft floor with containment building in nuclear power plant, Youngkwang unit 3.

지점	선량당량 ( $\mu Sv/h$ )	방사선가중치( $Q^*$ )	등가선량 ( $\mu Sv/h$ )	방사선가중치( $W_R$ )
142A	32.7	3.61	88.4	9.7
142B	48.9	4.17	130.4	11.1
142C	93.7	4.41	241.6	11.4
142D	268.3	5.87	648.2	14.2
122A	69.6	3.52	177.4	9.0
122C	129.2	3.75	336.2	9.8
100A	254.0	3.29	689.3	8.9
100C	399.0	3.50	1,072.6	9.4
평균	161.9	4.01	423.0	10.4

**Table 2. The measured results from BMS at various places on the 142 ft, 122 ft and 100 ft floor within the containment building of nuclear power plant, Youngkwang unit 3. In table, ball type b means bare, that is, without any high density polyethylene sphere and c does cadmium, that is, only with cadmium.**

Place A on the 142 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	200	5851 ± 88	29.26 ± 0.44	1.50
c	500	3760 ± 82	7.52 ± 0.16	2.18
2	100	5801 ± 100	58.01 ± 1.00	1.72
3	100	7653 ± 106	76.53 ± 1.06	1.39
5	150	9695 ± 114	64.63 ± 0.76	1.18
8	300	6609 ± 97	22.03 ± 0.32	1.47
10	500	4786 ± 96	9.57 ± 0.19	2.01
12	1000	3466 ± 86	3.47 ± 0.09	2.48
12	400	4594 ± 133	11.49 ± 0.33	2.90

Place B on the 142 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	300	9298 ± 112	30.99 ± 0.37	1.20
c	500	4515 ± 91	9.03 ± 0.18	2.02
2	150	10339 ± 125	68.93 ± 0.83	1.21
3	150	13930 ± 142	92.87 ± 0.95	1.02
5	150	12330 ± 132	82.20 ± 0.88	1.07
8	300	9006 ± 114	30.02 ± 0.38	1.27
10	400	5873 ± 98	14.68 ± 0.25	1.67
12	800	3750 ± 84	4.69 ± 0.11	2.24
12	300	12099 ± 379	40.33 ± 1.26	3.13

Place C on the 142 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	100	5632 ± 94	56.32 ± 0.94	1.67
c	300	4647 ± 87	15.49 ± 0.29	1.87
2	100	12042 ± 131	120.42 ± 1.31	1.09
3	100	16089 ± 154	160.89 ± 1.54	0.96
5	100	14268 ± 142	142.68 ± 1.42	1.00
8	100	5236 ± 91	52.36 ± 0.91	1.74
10	200	5306 ± 95	26.53 ± 0.48	1.79
12	500	4415 ± 91	8.83 ± 0.18	2.06

Place D on the 142 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	100	7030 ± 106	70.30 ± 1.06	1.51
c	200	4595 ± 98	22.98 ± 0.49	2.13
2	50	9361 ± 116	187.22 ± 2.32	1.24
3	50	14042 ± 136	280.84 ± 2.72	0.97
5	50	13905 ± 142	278.10 ± 2.84	1.02
8	50	5777 ± 98	115.54 ± 1.96	1.70
10	150	11754 ± 137	78.36 ± 0.91	1.17
12	300	6861 ± 105	22.87 ± 0.35	1.53

Place A on the 122 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	100	8303 ± 144	83.03 ± 1.44	1.73
c	100	1588 ± 92	15.88 ± 0.92	5.79
2	100	13296 ± 161	132.96 ± 1.61	1.21
3	100	15500 ± 182	155.00 ± 1.82	1.17
5	100	11405 ± 155	114.05 ± 1.55	1.36
8	200	7586 ± 156	37.93 ± 0.78	2.06
10	400	7516 ± 191	18.79 ± 0.48	2.54
12	1000	6353 ± 232	6.35 ± 0.23	3.65

Place A on the 100 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	50	13554 ± 229	271.08 ± 4.58	1.69
c	100	6687 ± 221	66.87 ± 2.21	3.30
2	50	26548 ± 262	530.96 ± 5.24	0.99
3	50	34443 ± 282	688.86 ± 5.64	0.82
5	50	27090 ± 258	541.80 ± 5.16	0.95
8	100	17891 ± 261	178.91 ± 2.61	1.46
10	200	17554 ± 314	87.77 ± 1.57	1.79
12	500	12446 ± 377	24.89 ± 0.75	3.03

Place C on the 122 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	100	12555 ± 144	125.55 ± 1.44	1.15
c	300	7369 ± 155	24.56 ± 0.52	2.10
2	100	22723 ± 195	227.23 ± 1.95	0.86
3	100	26972 ± 200	269.72 ± 2.00	0.74
5	100	20752 ± 181	207.52 ± 1.81	0.87
8	200	14008 ± 162	70.04 ± 0.81	1.16
10	200	7911 ± 136	39.56 ± 0.68	1.72

Place C on the 100 ft floor

ball	time(s)	counts	cps	$\sigma(\%)$
b	100	37181 ± 391	371.81 ± 3.91	1.05
c	200	17842 ± 378	89.21 ± 1.89	2.12
2	100	75940 ± 477	759.40 ± 4.77	0.63
3	100	98140 ± 509	981.40 ± 5.09	0.52
5	100	79997 ± 475	799.97 ± 4.75	0.59
8	100	26791 ± 321	267.91 ± 3.21	1.20
10	150	18929 ± 336	126.19 ± 2.24	1.78

측정지점의 평균에너지는 42.0 keV ~ 158.4 keV 이었으며 이는 교정 중성자장의 평균 중성자에너지 500 keV에 비하여 매우 낮음을 알 수 있었다.

또한 중성자에너지별 ICRP 26의 선질계수와 ICRP 60의 방사선가중치를 적용하여 선량당량과 등가선량을 구하였고, 평균 선질계수 (Q)와 평균 방사선가중치 (WR)를 환산하였다 (표 4). 여기서 평균 선질계수와 평균 방사선가중치는 각각 ICRP 26과 ICRP 60의 방사선가중치를 적용하여 전체 측정 중성자에 대하여 평균한 값으로 계산식은 식 (3)과 같다.

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \int Q dN$$

$$\bar{W}_R = \frac{1}{N} \int W_R dN \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기서 N은 측정된 중성자의 총 개수이다.

각 측정지점에 대한 ICRP 26의 평균 방사선가중치와 ICRP 60의 평균 방사선가중치 및 두 값의 비를 그림 10에 나타내었다.

그림 10에서 보듯 ICRP 60의 평균 방사선가중치와 ICRP26의 평균 방사선가중치의 비율은 측정지점에 큰 차이 없이 일정한 값(2.42~2.70)을 나타낸다. 그러므로 원자력발전소의 경우 ICRP 26의 방사선가중치를 적용하는 기존의 중성자 계측기를 사용할 경우에 단순히 이 비율을 곱하면 ICRP 60에 의한 등가선량을 구할 수 있음을 알 수 있다.

또한 교정 중성자장에 대하여 식 (3)을 적용하여

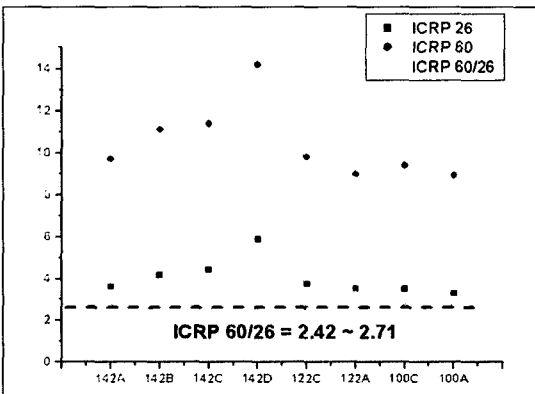


Figure 10. The radiation weighting factor of neutron according to ICRP 26 and ICRP 60 and their ratios at measured place in this study.

평균 중성자가중치를 계산한 결과 ICRP 26의 중성자가중치를 적용할 경우 6.02 로 나타났고 ICRP 60의 중성자가중치를 적용할 경우 10.3 으로 나타났다. 따라서 ICRP 60의 중성자가중치를 적용할 경우 교정중성자장의 평균 중성자가중치는 격납건물내의 중성자장의 평균 중성자가중치 값과 비슷함을 알 수 있었다. 그러나 격납건물내 측정지점의 평균에너지는 교정 중성자장의 500 keV에 비하여 낮은 76.8 keV에 불과해 전체적으로는 등가선량의 값이 보수적으로 평가됨을 알 수 있었다.

### III. 결론

CE형 원자력발전소를 대상으로 운전중 격납건물내 주요지점의 중성자장을 측정하여 작업자가 받을 수 있는 예상 피폭선량 등을 평가하고, 구권고 및 신권고에 따른 피폭선량 비교 및 교정 중성자장과 실제 중성자장의 차이 등을 분석해보았다. 분석결과 신권고에 따른 중성자가중치는 구권고에 의한 값보다 2.42~2.71 배 높은 것으로 나타났다. 또한, 측정지점의 중성자 방사선가중치 평균은 교정 중성자장의 평균과 비슷하였으나, 중성자 평균에너지는 42~158 keV로 교정 중성자장의 평균에너지 500 keV 보다 낮아 이럴 경우 각 측정지점에 대한 측정값은 실제 등가선량보다 보수적으로 평가되고 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. ICRP Publication 60, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," 5-6 (1990).
2. 신상운 등, "원자로 건물내 중성자 스펙트럼 측정," TR.96NS11.S1998.55, KEPRI (1998).
3. NUREG/CR-1769, "Neutron Dosimetry at Commercial Nuclear Plants - Final Report of Subtask A: Reactor Containment Measurements, 1981.
4. <http://www.abacc.org/publicacoes/trabalhos/>

SimpCaseResultsReport1.doc

5. <http://www-rsicc.ornl.gov/cgi-bin/enote.pl?nb=mcnp4c&action=annotate&page=826>
6. H. ING and W. G. CROSS, "SPECTRAL AND DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF A D<sub>2</sub>O-MODERATED <sup>252</sup>Cf CALIBRATION FACILITY," Health Phys., 46(1), pp. 97-106 (1984).
7. 한재문 등, "고리1호기 원자력발전소 격납용기내 중성자 스펙트럼 측정," 2003 한국원자력학회 추계학술발표회 논문집, P08B09, 2003.10.31-31, 용평리조트.
8. 과학기술부고시 2002-23, "방사선방호 등에 관한 기준," 2002.
9. Taewook Kim, Kyoungdoek Kim, Myungjae Song, "Measurement of Neutron Flux in a PWR Nuclear Power Plant in Korea," J. Nucl. Sci. and Tech., sup. 4, 184-187 (Mar. 2004).
10. 한재문, 김경덕, 윤철환, 김태욱, 김영재, "BMS를 이용한 PWR 격납용기내 중성자 에너지 스펙트럼 측정 및 선량 예측," 대한방사선방어학회 2003 춘계 학술발표회 논문집, 81-85, 2003.
11. K. A. Lowry and T. J. Johnson, "Modifications to Iterative Recursion Unfolding Algorithms and Computer Codes to Find More Appropriate Neutron Spectra," NRL-MR 5340, Naval Research Laboratory, 1984.