방사성물질과 접촉하는 작업의 손·발이 받는 피폭방사선량 평가에 대한 고찰

김희근[1] · 공태영[2] · 동경래[3,*] · 최은진[4]

[1]위덕대학교 에너지전기공학부, [2]한수원중앙연구원 방사선환경연구소
[3]광주보건대학교 방사선과, [4]동신대학교 보건의료학과

A Review of Radiation Field Characteristics and Field Tests for Estimating on the Extremity Dose under Contact Tasks with Radioactive Materials

Hee-Geun Kim[1], Tae-Young Kong[2], Kyung-Rae Dong[3,*] and Eun-Jin Choi[4]

[1]*Division of Energy & Electrical Engineering, UiDuk University, 261 Donghae-daero, Gangdong-myeon, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do 38004, Republic of Korea*
[2]*Radiation & Environmental Laboratory, KHNP-CRI, 70, Yuseong-daero 1312 Beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34101, Republic of Korea*
[3]*Department of Radiological Technology, Gwangju Health University, 73 Bungmun-daero, 419 Beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62287, Republic of Korea*
[4]*Department of Public Health and Medicine, Dongshin University Graduate School, 185, Geonjae-ro, Naju-si, Jeollanam-do 58245, Republic of Korea*

Abstract - Concerns about high radiation exposure to the hands of radiation workers who may contact with radioactive contamination on surfaces in a nuclear power plant (NPP) had been raised, and the Korean regulatory body required the extremity dose estimation during contact tasks with radioactive materials. Korean NPPs conducted field tests to identify the incident radiation to the hands of radiation workers who may contact with radioactive contamination during maintenance periods. The results showed that the radiation fields for contact tasks are dominated by high energy photons. It was also found that the radiation doses to the hands of radiation workers in Korean NPPs were much less than the annual dose limits for extremities. This approach can be applicable to measure and estimate the extremity dose to the hands of medical workers who handle the radioactive materials in a hospital.

Key words : Radiation field, High energy photon, High exposure contact work, Shallow and deep doses, Extremity dosimeter, Steam generator maintenance work

서 론

국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection: ICRP)는 1990년 방사선방호에 관한

* Corresponding author: Kyung-Rae Dong, Tel. +82-62-958-7668, Fax. +82-62-958-7669, E-mail. krdong@hanmail.net

권고를 개정하여 ICRP 60으로 발행하였고, 이어서 2007년에는 이를 개정하여 ICRP 103으로 발행하였다(ICRP 1990; ICRP 2007; IAEA 2014). 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency; IAEA)는 2015년 ICRP 103을 바탕으로, 기존에 ICRP 60을 기반으로 발간된 방사선방호 기본안전표준을 개정하여 일반안전원칙(General Safety Requirement) Parts 3로 발간하였다(ICRP 2007; IAEA 2014). 이들 보고서는 방사선작업과정에서 종사자가 받는 피폭방사선량을 유효선량과 등가선량으로 나누어 평가하는 개념을 중요 내용 중에 하나로 다루고 있다. 이에 따라 국내에서 ICRP 103과 IAEA GSR Part 3을 국내법령에 도입하기 위한 기술기준 최적화 연구를 진행 중에 있다(ICRP 2007; 원자력안전위원회 2016).

원전에서는 방사선작업종사자의 피폭방사선량을 평가하기 위해 개인선량계로 열형광선량계(Thermoluminescent Dosimeter; TLD)를 이용하고 있다(Kim and Kong 2010). 방사선관리구역에 출입할 때 TLD를 가슴 부위에 패용하며, 월 단위로 피폭방사선량을 평가하고 있다. 원전의 증기발생기 수실작업 등은 매우 높은 방사선량률을 나타내는 지역으로, 짧은 시간 작업에도 불구하고 높은 피폭을 받을 가능성이 있다. 따라서 증기발생기 수실작업과 같이 불균일 고피폭 접촉 작업에서는 가슴에 패용하는 TLD 외에 등 부위에 추가로 TLD를 패용하여 체계적으로 피폭방사선량을 평가하고 있다. 특히 방사성물질에 접촉하는 손은 고피폭을 받을 수 있는데, 이 경우 손가락에 말단선량계(Extremity dosimeter)를 패용하여 등가선량(Equivalent dose)을 별도로 평가하고 있다(교육과학기술부 2008; Kim and Kong 2010).

이 논문은 방사성물질에 접촉 작업을 수행하는 원전 방사선 작업종사자의 손에 피폭되는 등가선량을 측정하여 평가하였다, 대표적 고피폭 작업인 증기발생기 수실작업자의 TLD 판독 값을 이용하여 손에 입사되는 피폭방사선장을 분석하였다. 추가로 원전 계획예방정비기간 원전종사자의 가슴, 등, 손목 그리고 손가락에 TLD를 패용하여 입사방사선장을 확인하고, 등가선량을 측정하였다. 이 논문에서 기술되는 내용은 새로이 조사나 시험을 실시한 것이 아니며, 피폭방사선량 평가에 대한 이해를 돕고자 과거에 국내외 저널에 게재된 것을 편집하여 투고하였다.

재료 및 방법

ICRP 60과 ICRP 103에서 피폭방사선량 평가의 단위로서 유효선량(Effective dose: E)을 도입하였는데, 유효선량은 방사선가중치(W_R)와 신체조직가중치(W_T)를 고려하여 합산한 인체의 전신이 받는 피폭방사선량을 말한다(ICRP 1990; ICRP 2007). 이러한 유효선량은 방사선방호 목적으로 이용되는 피폭방사선량의 단위로 방사선방호 실무에서는 직접 측정이 불가능하기 때문에, 인체조직 10 mm 깊이에서 개인선량당량(Personal dose equivalent, Hp(10))을 이용하여 측정 · 평가하고 있으며, 5년 동안 100 mSv를 선량 한도로 정하고 있다(ICRP 1990; ANSI 1993; ICRU 1993; ICRP 2007; 교육과학시술부 2008). 이외에 종사자의 손과 발 등에 대해서는 별도의 등가선량을 평가하도록 규정하고 있으며, 선량 한도를 연간 500 mSv로 정하고 있다(ICRP 1990; ICRP 2007).

방사선 작업종사자에 대한 유효선량은 방사선방호 목적에서 적용하는 이론적인 단위로서 실무적으로 직접적인 측정이 불가능하다. 따라서 국제방사선도량형위원회(ICRU)에서는 인체 10 mm 깊이에서 조직이 받는 개인선량당량(Hp(10))을 측정하고, 이를 유효선량으로 평가하도록 규정하고 있다(ICRP 1990; ANSI 1993; ICRU 1993; ICRP 2007; 교육과학시술부 2008). 통상적으로 Hp(10)의 측정에는 TLD와 같은 개인선량계를 이용하고 있다. 한편 인체조직에 대한 등가선량 한도로 수정체(Lens of the eye)는 5년 동안 150 mSv를, 피부(Skin)에 대해서 500 mSv로 정하고 있다(ICRP 1990; ANSI 1993; ICRU 1993; ICRP 2007; 교육과학시술부 2008). 한편 수정체 선량 한도는 ICRP에 의해 5년 동안 100 mSv로 하향 권고되었다(Ju *et al*. 2017; Song *et al*. 2017). 이외에도 손과 발(Hands and feet), 즉 말단에 대해서는 500 mSv를 등가선량 한도로 정하고 있다(ICRP 1990; ICRP 2007).

말단선량 평가의 기술적 능력을 검증하기 위한 기술기준으로 미국표준기술협회의 ANSI N 13.32-1995를 들 수 있다(ANSI 1995). 이 기술기준은 말단이 받는 피폭방사선량에 대한 기술적인 평가능력을 검증하기 위한 목적으로 제정되었고, 시험 범주, 조사시험 범위, 허용 준위 등을 구체적으로 제시하고 있다. 말단선량 평가에 대한 인체조직 깊이는 ICRP와 ICRU의 7 $mg \cdot cm^{-2}$를 근거로 하고 있다. 한편 말단선량계 성능평가에 대한 시험기준은 대부분 국가에서 법령에는 반영되지 않고 있다. ANSI N 13.32-1995에서 제시하고 있는 시험 범주, 방사선 종류(에너지), 시험 범위와 허용기준을 Table 1에 제시하였다(ANSI 1995).

국내 원전에서는 종사자의 선량 평가를 위해 두 종류의 열형광선량계 판독시스템(TLD Reader)을 운영하고 있다. 이들 TLD 판독기는 Hp(10)을 측정하고 평가하기 위한 전신선량 측정 및 평가 장비로서, 부가적으로 말단선량계 판독기능을 갖추고 있다. 우선 Panasonic TLD를 사용하는 국내 원전은 말단선량계로 UD-807 TLD를 보유하고 있다. UD-807 선량계는 1개의 소자(Element 1) 만을 가지고 있으며, 형광체로는 Lithium Borate ($Li_2B_4O_7$)를 채택하고 있다(Kim and Kong 2011; Kim and Kong 2012). 이 형광소자는 조그만 원형으로 제작되며, 주로 반지 모양의 Ring에 삽입하여 사용하고 있다. 또한 Harshaw TLD를 사용하는 국내 원전에서는 Lithium Fluoride (LiF)를 형광소자로 채택하고

Table 1. Irradiation categories (ANSI N13.32-1995, performance testing of extremity dosimeters).

Test category	Energy	Test range	Tolerance level	Additional limit on |B| and S
I. High-dose category				
A. Low-energy photons only M150	70 keV (average)	0.1 to 5 Gy (10 to 500 rad)	0.30	None
B. High-energy photons only ^{137}Cs	662 keV	0.1 to 5 Gy (10 to 500 rad)	0.30	None
C. General, low and high energy photons				
M150	70 keV (average)	0.1 to 5 Gy (10 to 500 rad)	0.30	None
^{137}Cs	662 keV			
II. Low-energy photons (NIST-filtered techniques)				
A. General				
M30	20 keV (average)	0.0025 to 0.1 Sv (0.25 to 10 rem)	0.50	0.35
M60	34 keV (average)			
M100	51 keV (average)			
M150	70 keV (average)			
H150	117 keV (average)			
B. High-energy				
M100	51 keV (average)	0.0025 to 0.1 Sv (0.25 to 10 rem)	0.50	0.35
M150	70 keV (average)			
H150	117 keV (average)			
III. High-energy photons				
^{137}Cs	662 keV	0.0025 to 0.1 Sv (0.25 to 10 rem)	0.50	0.35
^{60}Co	1.25 MeV			
IV. Beta particles				
A. Low-energy only (^{204}Tl)	0.76 MeV (maximum)	0.0025 to 0.1 Sv (0.25 to 10 rem)	0.50	0.35
B. High-energy only (^{90}Sr/^{90}Y)	2.3 MeV (maximum)			0.35
C. General (^{90}Sr/^{90}Y and ^{204}Tl)	2.3 MeV (maximum) 0.76 MeV (maximum)			None
D. Slab uranium	2.3 MeV (maximum)			0.35

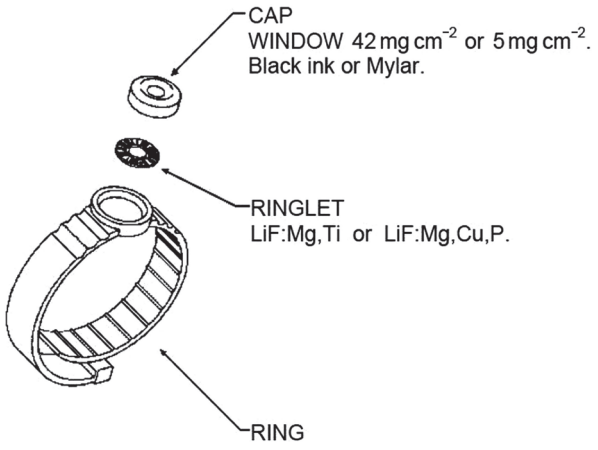

Fig. 1. Harshaw DXTRAD extremity dosimeter.

있다. 이 TLD 판독시스템은 말단선량계로 TLD-100을 보유하고 있다. Harshaw 선량계는 외형에 따라 반지 모양 선량계(DXTRAD)와 밴드 모양 선량계(EXTRAD)로 구분된다. 이들 Panasonic TLD와 Harshaw TLD를 Figs. 1~3에 나타내었다(Kim and Kong 2011; Kim and Kong 2012).

고피폭이 예상되는 접촉 작업(High exposure and contact work)에서 입사 방사선장을 찾기 위한 현장시험(Field tests)을 실시하였다. 이 시험에서는 종사자 피폭방사선량 평가용으로 보유하고 있는 Harshaw 및 Panasonic TLD를 사용하였다. 이들 작업이 불균일 고피폭 방사선조건이므로 방사선작업종사자의 가슴과 등에 TLD를 패용하였다. 추가로 손목에는 가슴과 등에 패용하였던 것과 동일한 종류의 TLD를 패용하였고, 손가락에는 말단선량계를 패용하였다. 따라서 방사선작업종사자는 총 4개의 TLD를 가슴, 등, 손목과 손가락에 패용하였으며, 추가로 2개의 전자선량계를 패용하고 방사선작업을 수행하였다.

결 과

1. 원전 방사선장 특성 분석

국내 원전종사자의 방사선피폭은 대부분 원전 계획예방

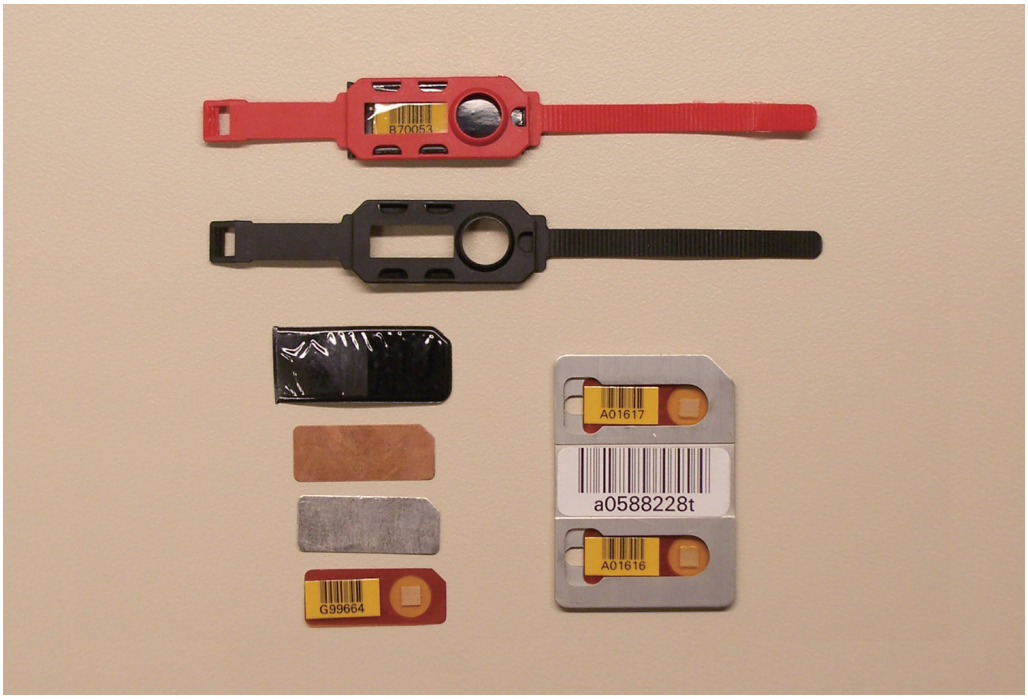

Fig. 2. Harshaw EXTRAD extremity dosimeter.

Fig. 3. Panasonic extremity dosimeter.

정비기간 중에 수행되는 방사선작업으로부터 발생하고 있다. 대표적인 고피폭 방사선작업으로는 증기발생기 수실 내에서 이루어지는 노즐댐 설치와 제거작업을 들 수 있는데, 짧은 시간 작업에도 불구하고 높은 피폭을 받고 있다. 이들 작업에서 방사선량률에 기여하는 방사성핵종으로는 대부분 고에너지 투과성(High energy penetrating) 핵종인 ^{58}Co과 ^{60}Co으로 알려지고 있다. 증기발생기 수실 내부에서의 방사선량률은 대부분 위쪽에 있는 전열관으로부터 발생하여 산란되는데, 방사선장은 위에서 아래로 형성되고 있다. 방사선량률은 원전 운영이력에 따라 차이를 보이나, 대략 수십 $mSv \cdot hr^{-1}$에서 수백 $mSv \cdot hr^{-1}$로 나타나고 있다. Fig. 4에 증기발생기 수실에서의 방사선장 형성과 작업 개요를 나타냈다.

원전 계획예방정비기간 증기발생기 수실 내 방사선작업을 수행한 작업종사자를 대상으로 최적의 복수선량계 알고리즘 선정을 위한 현장시험을 수행하였다. 시험 결과 심부선량과 표층선량이 동일하게 나타나, 고에너지 투과성 방사선(High energy penetrating radiation)에 의한 방사선장으로 판단되었다. 이를 Table 2에 나타내었다.

원전에서 발생하는 피폭이 고에너지 광자에 의한 피폭이 대부분이라는 점은 여러 논문을 통해서도 확인되었다. 국내 원전의 계획예방정비기간 휴대용 감마분석 반도체검출장비(Portable HPGe Detector)를 이용하여 원자로 건물과 보조건물 주요지역에 대한 방사선장 측정이 이루어졌는데, 산란 등에 의해 감마 방사선의 에너지가 일부 감쇠되기는 하나 고에너지 광자 방사선장으로 확인되었다. 또한 국내 원전의 증기발생기 내 표면오염과 냉각재 부식생성물에 대한 시료채집 및 감마 핵종분석 결과, ^{58}Co, ^{60}Co이 전체 방사능의 90% 이상을 차지하는 것으로 확인되었다.

2. 원전 말단선량 측정시험

고피폭 예상 접촉 작업에서 입사 방사선장을 찾기 위한

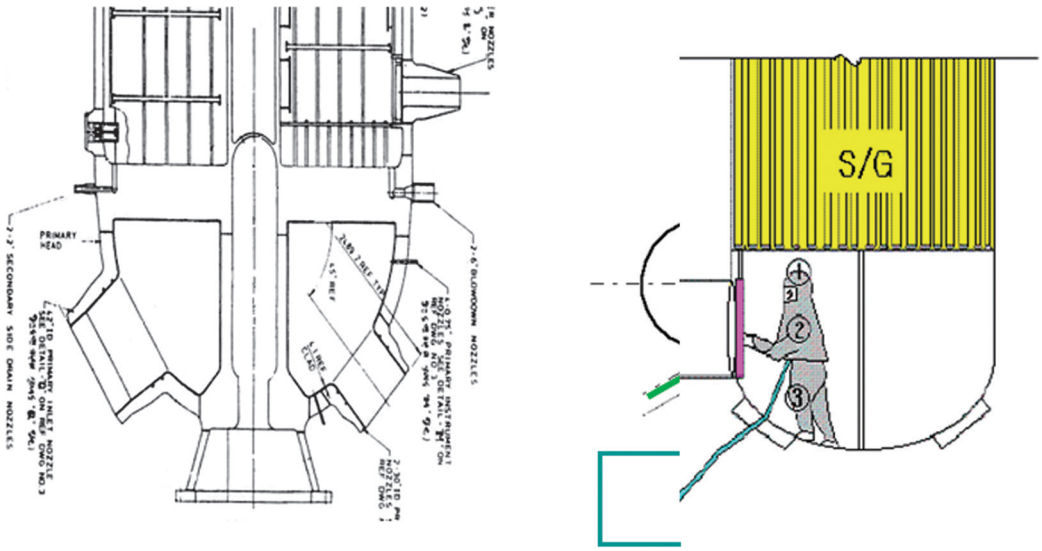

Fig. 4. Simple geometry of steam generator water chamber.

Table 2. Panasonic TLD readouts of radiation workers that maintained the steam generator nozzle dam at Korean NPP.

Workers	Area 1 (mSv* [a])	Area 2 (mSv* [a])	Area 3 (mSv* [a])	Area 4 (mSv* [a])	Personal dose equivalent, *Hp*(*10*) (mSv)	Personal dose equivalent, *Hp*(*0.07*) (mSv)	Wearing position
A	4.71	4.20	3.85	4.30	4.25	4.25	Head
	3.01	2.82	3.08	2.97	2.96	2.96	Chest
	3.75	3.66	3.61	3.77	3.68	3.68	Back
B	2.71	2.67	2.48	2.58	2.60	2.60	Head
	2.22	1.89	2.15	2.12	2.09	2.09	Chest
	2.82	2.66	2.65	2.76	2.71	2.71	Back
C	2.63	2.29	2.35	2.41	2.41	2.41	Head
	2.01	1.86	1.93	1.88	1.90	1.90	Chest
	2.17	2.05	2.25	2.08	2.13	2.13	Back
D	2.36	2.22	2.16	2.47	2.29	2.29	Head
	1.56	1.48	1.69	1.60	1.57	1.57	Chest
	2.19	1.94	2.12	2.04	2.07	2.07	Back
E	3.67	3.55	3.38	3.74	3.57	3.57	Head
	2.76	2.50	2.88	2.81	2.73	2.73	Chest
	4.02	3.60	3.44	3.74	3.69	3.69	Back
F	2.80	2.84	2.69	2.64	2.73	2.73	Head
	1.77	1.72	1.88	1.86	1.80	1.80	Chest
	2.25	2.16	2.34	2.26	2.25	2.25	Back
G	3.70	3.65	3.28	3.47	3.51	3.51	Head
	2.79	2.47	2.64	2.63	2.62	2.62	Chest
	3.01	2.93	3.01	3.18	3.02	3.02	Back
H	2.07	2.02	1.98	1.95	2.00	2.00	Head
	1.75	1.66	1.82	1.81	1.75	1.75	Chest
	2.09	1.83	2.02	2.08	2.00	2.00	Back

[a]mSv is specific TLD readout unit for the Panasonic TLD reader system.

현장시험을 원전의 협조하에 실시하였다. 이 시험에서는 원전 방사선작업종사자의 피폭방사선량 평가용으로 보유하고 있는 Harshaw TLD를 사용하였다. 이들 작업이 불균일 고피폭 방사선조건이므로 방사선작업종사자의 가슴과 등에 8806 TLD를 패용하였다. 추가로 손목에는 가슴과 등에 패용하였던 것과 동일한 종류의 8806 TLD를 패용하였고, 손

Table 3. Harshaw TLD readouts of radiation workers who wore a TLD on the wrist while maintaining the steam generator at Korean NPP.

Workers	Element 1 (gU[a])	Element 2 (gU[a])	Element 3 (gU[a])	Element 4 (gU[a])	Personal dose equivalent, *Hp*(*10*) (mSv)	Personal dose equivalent, *Hp*(*0.07*) (mSv)
I	103.0	102.6	100.6	98.0	0.89	0.89
J	251.6	246.2	243.7	236.5	2.19	2.19
K	131.7	134.0	132.9	128.8	1.17	1.17
L	164.0	159.8	160.7	156.2	1.41	1.41
M	154.9	154.3	148.8	144.2	1.36	1.36
N	128.2	126.3	123.3	122.3	1.11	1.11

[a]gU is specific TLD readout unit (generic unit) for the Harshaw TLD reader system.

Table 4. TLD (Harshaw 8806) readouts of radiation workers who wear TLD on wrist for the maintenance of steam generator at Ulchin NPPs in 2009.

Workers	Element 1 (gU)	Element 2 (gU)	Element 3 (gU)	Element 4 (gU)	Deep dose (mSv)	Shallow dose (mSv)
O	253.2	243.6	256.5	259.0	2.17	2.17
P	284.1	275.6	277.0	278.8	2.46	2.46
Q	146.6	137.3	148.6	150.6	1.21	1.21
R	119.9	113.8	119.5	121.2	1.00	1.00
S	313.5	303.8	308.6	320.2	2.72	2.72
T	76.6	71.8	79.7	82.3	0.69	0.69

Table 5. Field test results of the extremity dosemeters at Korean PWRs (maintenance on the nozzle dam in the steam generator water chamber).

	Two TLDs (mSv)			Electronic dosemeter (mSv)	Wrist TLD (mSv)	Finger TLD[c] (mSv)
Worker name[a]	Position	Equivalent dose	Effective dose[b]			
A	Chest Back	1.65 2.42	2.12	1.68 2.55	2.19	2.92
B	Chest Back	1.07 1.35	1.26	1.01 1.40	1.41	1.77
C	Chest Back	0.97 1.33	1.20	0.93 1.41	1.36	2.00
D	Chest Back	1.58 2.05	1.89	1.79 2.37	2.17	3.31
E	Chest Back	1.80 2.28	2.13	2.04 2.70	2.46	3.18
F	Chest Back	0.94 1.35	1.19	1.07 1.58	1.21	1.85
G	Chest Back	2.40 3.01	2.83	2.51 3.34	2.72	4.02

[a]Names represent the different workers.
[b]The effective dose is calculated based on the TLD readouts for the chest and the back. For the calculation of the effective dose from two *Hp*(*10*)*s* on the chest and the back, the NCRP (55 : 50) two-dosemeter algorithm is used, in which a 55% weighting is given to the dose on the chest (front) and a 50% weighting is given to the dose on the back.
[c]Finger TLD indicates the extremity dosemeter.

가락에는 TLD-100 말단선량계을 패용하였다. 따라서 방사선작업종사자는 총 4개의 TLD를 가슴, 등, 손목과 손가락에 패용하였으며, 추가로 2개의 ADR (Auto dosimetric reader)를 패용하고 방사선작업을 수행하였다. 이 시험의 TLD의 판독 결과를 Tables 3~6에 나타내었다.

원전 방사선작업종사자의 손목에 패용한 TLD 판독 값을 분석한 결과 4개 소자별 반응도가 동일하게 나타났다. 또한 이들 소자 반응도에 근거하여 TLD 판독 알고리즘을 기준으로 계산되는 심부선량과 표층선량도 동일하게 나타났으며, 입사방사선장은 고에너지 광자로 평가되었다. 이 결과는 영광원전에서 실시한 복수선량계 적용시험 결과와 동일하였다. 따라서 원전 계획예방정비기간 고피폭 접촉 작업에서

Table 6. Field test results of the extremity dosemeters at Korean PHWRs (maintenance for the removal of the pressure tube feeder).

Two TLDs (mSv)				Electronic dosemeter (mSv)	Wrist TLD (mSv)	Finger TLD[c] (mSv)
Worker name[a]	Position	Equivalent dose	Effective dose[b]			
H	Chest	0.83	0.82	0.83	0.86	0.87
	Back	0.73		0.82		
I	Chest	0.60	0.63	0.75	0.87	1.03
	Back	0.60		0.67		
J	Chest	0.41	0.42	0.45	0.49	0.58
	Back	0.39		0.33		
K	Chest	0.44	0.43	0.62	0.73	0.77
	Back	0.38		0.41		
L	Chest	0.69	0.60	0.79	0.72	0.75
	Back	0.45		0.47		

[a]Names represent the different workers.
[b]The effective dose is calculated based on the TLD readouts for the chest and the back. For the calculation of the effective dose from two *Hp*(*10*)*s* on the chest and the back, the NCRP (55 : 50) two-dosemeter algorithm is used, in which a 55% weighting is given to the dose on the chest (front) and a 50% weighting is given to the dose on the back.
[c]Finger TLD indicates the extremity dosemeter.

발생하는 종사자의 피폭방사선량은 고에너지 광자에 의한 것으로 판단되었다.

고 찰

병원의 방사성동위원소 분배 작업 등에서도 방사성물질에 접촉하여 작업을 하는 경우 방사선원으로부터 거리에 따라 등가선량이 큰 차이를 보이기 때문에 손이 받는 등가선량을 평가할 필요가 있다. 원전 말단선량 평가 시험과 유사한 시험이 병원에서 방사성동위원소 등의 분배작업을 수행하는 방사선작업종사자를 대상으로 이루어졌다(한전전력연구원 1992; Song 1992; 한전전력연구원 1993; Ocken 1993; ICRP 2011; Ju *et al*. 2017; Song *et al*. 2017). 이러한 등가선량 평가를 위한 병원에서의 시험은 방사선작업종사자의 피폭방사선량을 정확하게 측정하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

결 론

원전에서 시행된 복수선량계 및 말단선량계 적용시험 결과 고피폭 접촉 작업종사자의 심부선량과 표층선량은 동일하게 나타났다. 이에 따라 국내 원전 계획예방정비기간 증기발생기 수실에서의 피폭방사선장은 투과성이 큰 고에너지 광자로 판단되었다. 이 시험과정에서 원전 계획예방정비기간 고피폭 예상 접촉 방사선작업에서 작업종사자의 손이 받을 수 있는 등가선량에 대한 위험도는 그리 크지 않기에, 전신선량 측정용 개인선량계만으로 종사자의 피폭방사선량 측정이 가능한 것으로 판단되었다. 이러한 결과를 근거로 원전 피폭방사선량 평가 절차서와 규제기준에 반영되어, 원전종사자 피폭방사선량 평가에 지속적으로 적용되고 있다. 한편 이러한 말단선량계를 이용한 피폭방사선량 평가 방법은 방사선동위원소를 취급하는 시설이나 핵의학 진단 과정에서도 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

사 사

This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Radiation Safety Foundation (KORSAFe) and the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC), Republic of Korea (Grant No. 1305033).

참 고 문 헌

교육과학기술부. 2008. 방사선방호등에 관한 기준 고시. 고시 제2008-31호.
교육과학기술부. 2008. 판독업무 등록 기준 및 검사 규정. 고시 제2008-48호.
원자력안전위원회. 2016. ICRP 103 신권고 및 IAEA GSR Part 3 국내 도입을 위한 기술기준 최적화 연구개발. 제2016-25호.
한전전력연구원. 1992. 열형광선량계에 의한 실효선량당량 평가기술 및 알고리즘 개발. KRC-90N-J03.
한전전력연구원. 1993. 원전 1차 계통 방사선량 감소 기술개발. KRC-90N-J04.
ANSI. 1993. An American National Standard for Dosimetry - Personnel Dosimetry Performance Criteria for Testing. ANSI N13.11.

ANSI. 1995. An American National Standard - Performing Testing of Extremity Dosimeters. ANSI N13.32.

IAEA. 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Standards. General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3.

ICRP. 1990. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press, New York.

ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Pergamon Press, New York.

ICRP. 2011. Statement of Tissue Reaction. ICRP 4825-3093-1464.

ICRU. 1993. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51.

Ju YJ, Dong KR, Choi EJ, Kwak JG, Ryu JK and Chung WK. 2017. A Study on Exposure Dose from Injection Work and Elution Work for Radiation Workers and Frequent Workers in Nuclear Medicine. *J. Radia. Ind.* **11**(1):19-25.

Kim HG and Kong TY. 2010. Selection of the most Appropriate Two-Dosimeter Algorithm for Estimating Effective Dose Equivalent during maintenance in Korean Nuclear Power Plants. *Radiat. Prot. Dosim.* **140**(2):171-181.

Kim HG and Kong TY. 2011. An Analysis of the Radiation Field Characteristics for Extremity Dose Assessment during Maintenance periods at Nuclear Power Plants in Korea. *Radiat. Prot. Dosim.* **152**(4):468-471.

Kim HG and Kong TY. 2012. A Field Test for Extremity Dose Assessment during Outages at Korean Nuclear Power Plants. *Radiat. Prot. Dosim.* **154**(4):522-525.

Ocken H. 1993. Techniques for Controlling Radiation Exposure. Nuclear News. 43-47pp.

Song HJ, Ju YJ, Jang H, Dong KR, Kang KW, Choi EJ, Kwak JG, Ryu JK and Chung WK. 2017. Estimation of Lens Dose of Radioactive Isotopes Using ED3. *J. Radia. Ind.* **11**(1):19-25.

Song MJ, Kim HG, Kim BH and Jang SY. 1992. Radiation Field in PWR Plants. *J. Radiat. Prot.* **17**(2):61-70.

Received: 18 July 2017
Revised: 10 August 2017
Revision accepted: 30 August 2017