

원전 종사자의 말단선량평가를 위한 고피폭 접촉 방사선장 특성분석

김희근, 공태영
한전 전력연구원

2009년 8월 19일 접수 / 2009년 9월 28일 1차수정 / 2009년 10월 5일 채택

원전 계획예방정비기간 증기발생기 수실작업 등은 매우 높은 방사선량을 보이는 지역으로, 짧은 시간 동안 작업으로 종사자는 높은 피폭을 받을 가능성이 있다. 특히, 방사성물질과 접촉작업을 하는 손 부위에서 고피폭이 예상된다. 이런 점을 고려하여 2004년 수행된 국내 원전의 복수선량계 알고리즘 적용성 시험의 TLD 판독결과를 이용하여 고피폭 접촉 작업의 방사선장을 분석하였다. 그 결과, 원전 고피폭 접촉작업의 입사방사선장은 고에너지 광자(High Energy Photon Field)에 의한 피폭으로 해석되었다. 한편 2009년 올진 4호기 계획예방정비기간 S/G 정비작업과 월성 1호기 압력관 교체작업에 참여한 방사선작업종사자에 대해 말단선량 현황과 방사선장을 분석하기위한 현장시험을 실시하였다. 그 결과 입사방사선장은 고에너지 방사선장으로 확인되었다.

중심어: 피폭방사선장, 고에너지 광자, 고피폭 접촉작업, 표층 및 심부선량, 말단선량계, 증기발생기 보수작업

1. 서론

국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection: ICRP)는 1990년 기존 방사선방호에 관한 권고를 개정하여 ICRP-60으로 발행하였다[1]. 또한 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency: IAEA)는 1996년 ICRP-60을 근거로 방사선방호에 관한 기본안전기준(Basic Safety Standards; BSS-96)을 개정하여 발간하였다[2]. 한편 국내에서도 1996년부터 한국원자력안전기술원(KINS)이 중심이 되어 ICRP-60을 원자력법령에 반영하기위한 타당성 연구 과제를 수행하여 이를 원자력법령에 순차적으로 반영하였고, 2003년 이후에는 전면 반영하여 시행하고 있다[3]. 한편 ICRP는 2007년 1990년 권고를 개정하여 새로운 방사선방호지침으로 ICRP-103을 발행하였다[4].

ICRP-60에서 피폭방사선량 평가의 단위로서 유효선량(Effective dose)을 도입하였다. 유효선량은 방사선 가중치(W_R)와 신체조직가중치(W_T)를 고려하여 합산한 인체의 전신이 받는 피폭방사선량을 말한다. 한편 ICRP-103에서 유효선량에 대해 일부 신체조직가중치를 변경하기는 하였으나 ICRP-60의 기본 개념은 그대로 유지되었다. 이러한 유효선량은 방사선방호 목적으로 이용되는 피폭 방사선량의 단위로 방사선방호 실무에서는 직접 측정이 불가능하기 때문에 심부선량(Deep dose)을 이용하여 측

정한다. 교육과학기술부 고시 제2008-48호(판독업무 등록기준 및 검사 규정)에서 심부선량은 국제방사선도량형위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements: ICRU)가 정하는 $H_p(10)$ 으로 신체 1 cm 깊이에서 인체 조직이 받는 피폭방사선량으로 명확히 규정하고 있다[5].

원전에서는 방사선작업종사자의 심부선량평가를 위해 열형광선량계(Thermoluminescent Dosimeter: TLD)를 이용하고 있다. 원전종사자는 방사선관리구역에 출입할 때 TLD를 가슴 부위에 패용하며, 월 단위로 피폭방사선량을 평가하고 있다. 원전의 전체 피폭방사선량 중에서 약 80% 정도는 계획예방정비(O/H) 기간에 발생한다. 특히 증기발생기 수실작업 등은 매우 높은 방사선량을 나타내는 지역으로, 짧은 시간 작업에도 불구하고 높은 피폭을 받을 가능성이 있다. 따라서 증기발생기 수실 작업과 같이 불균일 고피폭 접촉작업에서는 가슴에 패용하는 주선량계 외에 등 부위에 추가선량계를 패용하여 정확한 선량을 평가하고 있다. 특히 이러한 작업조건에서는 방사성물질과 접촉을 하는 손이나 손가락이 고피폭을 받을 수 있다. 따라서 필요한 경우 손가락에 말단선량계(Extremity dosimeter)를 패용하여 손이 받는 등가선량(Equivalent dose)을 평가하여야 한다.

본 논문은 원전 고피폭 접촉작업에 대한 피폭방사선장 분석하여 말단선량평가를 위한 기본 자료를 확보하고자 하였다. 이를 위해 말단선량평가에 관한 기술기준을 검토하였고, 말단선량계 구조와 방사선학적 특성을 조사하였

책임저자: 김희근, hkkim@kepri.re.kr, 한전 전력연구원
대전시 유성구 문지동 103-16

다. 과거 2004년과 2005년 증기발생기 수실작업에 참여한 방사선작업종사자의 TLD 반응도를 이용하여 말단에 피폭을 일으키는 입사방사선장의 특성을 분석하였다. 또한 원전 계획예방정비기간 원전종사자의 가슴, 등, 손목 그리고 손가락에 TLD를 패용하여 입사방사선장을 확인하였고 말단선량의 시범적 평가를 위한 현장시험을 실시하였다.

2. 피폭방사선량 평가기준과 개인선량계

방사선작업종사자에 대한 유효선량(Effective Dose) 한도는 5년간 100 mSv를 제한 값으로 정하고 있다. 이러한 유효선량은 방사선방호 목적에서 적용하는 이론적인 단위로써 실무적으로 직접 측정이 불가능하다. 따라서 국제방사선도량형위원회(ICRU)에서는 인체 1 cm 깊이에서 조직이 받는 심부선량(Deep dose)을 측정하고, 이를 유효선량으로 평가하도록 규정하고 있다[1,2,4,6]. 통상적

로 심부선량 측정에는 TLD와 같은 개인선량계를 이용하며, 인체조직 1 cm 깊이에 해당되는 차폐물질을 TLD에 설치하여 심부선량을 측정하고 있다. 교육과학기술부 고시에서 심부선량은 국제방사선도량형위원회(ICRU)가 정하는 $H_p(10)$ 으로 정의하고 있다[5]. 한편 인체조직에 대한 등가선량(Equivalent dose) 한도로 수정체(Lens of the eye)는 150 mSv로 정하고 있으며, 피부(Skin)에 대해서 500 mSv로 정하고 있다. 한편 손과 발(Hands and feet), 즉 말단에 대해서는 500 mSv를 등가선량 한도로 정하고 있다[1,2,4,6]. 전신에 대한 심부선량은 대부분의 국가에서 법적으로 평가하도록 규정하고 있으나, 등가선량에 대해서는 대부분 법적으로 선량평가를 요구하고 있지 않는 실정이다.

심부선량평가의 성능에 관한 대표적인 기술기준은 미국 표준기술협회(American National Standards Institute: ANSI) 기준을 들 수 있다. 이러한 ANSI의 기술기준은 미국의 연방법(Code of Federal regulations)에 반영되어 피폭방사선량 평가에서 적용되고 있다. 또한 교육과학기술

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 ^{137}Cs	70 keV(average) 662 keV	0.1 to 5 Gy (10 to 500 rad)	0.30	None		
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 ^{60}Co						
	662 keV 1.25 MeV	0.0025 to 0.1 Sv (0.25 to 10 rem)	0.50	0.35		
IV. Beta particles						
A. Low-energy only (204Tl)						
	0.76 MeV(maximum)	0.0025 to 0.1 Sv (0.25 to 10 rem)	0.50	0.35		
B. High-energy only ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)						
	2.3 MeV(maximum)			0.35		
C. General ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ and 204Tl)						
	2.3 MeV(maximum) 0.76 MeV(maximum)			None		
D. Slab uranium						
	2.3 MeV(maximum)			0.35		

부의 고시 제2008-48호(판독업무 등록기준 및 검사 규정)도 미국의 ANSI 기술기준을 근거로 하고 있다[5,7]. 한편 말단선량평가의 기술적 능력을 검증하기 위한 대표적 기술기준으로 미국 표준기술협회의 ANSI N 13.32-1995를 들 수 있다[8]. 본 기술기준에서는 방사선작업종사자의 말단이 받는 피폭방사선량 평가의 기술적인 능력을 검증하기 위한 목적으로 제정되었는데, 시험범주, 조사시험 범위, 허용준위 등을 구체적으로 제시하고 있다. 말단선량 평가에 대한 기준 값이는 ICRP와 ICRU의 7 mg/cm²를 근거로 하고 있다. 한편 말단선량계의 성능평가에 대한 시험기준은 미국이나 국내에서 아직까지 원자력법 등에 반영되지 않고 있는 실정이다. ANSI N 13.32-1995에서 제시하고 있는 시험범주, 방사선종류(에너지), 시험범위와 허용기준을 표 1에 제시하였다.

국내원전에서는 종사자의 심부선량(Deep dose)을 평가하기 위해 Panasonic과 Harshaw 등 두 종류의 TLD와 판독장비를 갖추고 있다. 고리 1발전소, 월성 1발전소, 영광 1발전소, 영광 2발전소, 울진 3발전소에서는 Panasonic TLD를 보유하고 있고, 고리 2발전소, 월성 2발전소, 영광 3발전소, 울진 1발전소, 울진 2발전소에서는 Harshaw TLD를 갖추고 있다. 이들 개인선량계는 다른 필터 두께를 이용하여 종사자가 피폭 받은 방사선의 에너지를 분해하고 선량평가 알고리즘을 이용하여 피폭 방사선량을 체계적으로 추정할 수 있다. 한편 국내 원전에서 Panasonic TLD를 사용하는 원전은 UD-807 TLD를 말단선량계로 보유하고 있다. UD-807 선량계는 1개의 소자(Element 1) 만을 가지고 있으며, 형광체로는 Lithium Borate(Li₂B₄O₇)를 채택하고 있다. 이 형광소자는 조그만 원형으로 제작되며, 주로 반지모양의 Ring에 삽입하여 사용하고 있다. 한편 Harshaw TLD를 사용하는 원전에서는 Lithium Fluoride(LiF)를 형광소자로 채택한 TLD-100 말단선량계로 보유하고 있다. Harshaw 선량계는 외형에 따라 반지모양 선량계(DXTRAD)와 밴드모양 선량계(EXTRAD)로 구분된다. 이들 Panasonic TLD와 Harshaw TLD를 그림 1, 2, 3에 나타내었다[9,10].

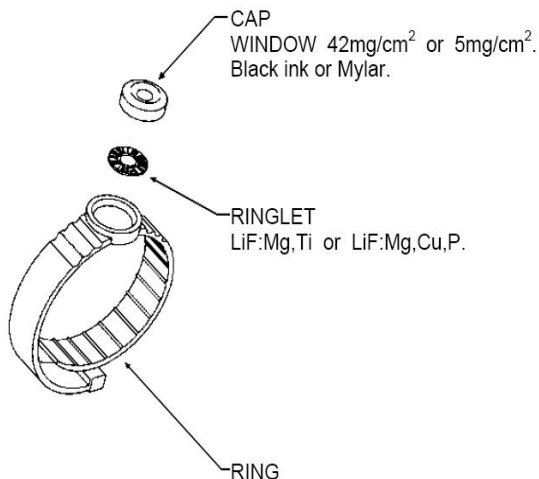


Fig. 1. Harshaw DXTRAD extremity dosimeter.



Fig. 2. Harshaw EXTRAD extremity dosimeter.



Fig. 3. Panasonic extremity dosimeter.

3. 고피폭 접촉 방사선장 Geometry

국내 원전종사자의 방사선피폭은 대부분 원전 계획에 방정비기간 중에 수행되는 방사선작업으로부터 발생하고 있다. 대표적인 고피폭 방사선작업으로는 증기발생기 수실내 노즐담 설치와 제거작업, 원자로 냉각재펌프 보수작업, 원자로헤드 보수 및 검사작업 등을 들 수 있다. 특히 증기발생기 보수작업과정에서는 짧은 시간 작업에도 불구하고 높은 피폭을 받고 있다. 이들 작업에서 방사선량율에 기여하는 방사성핵종으로는 대부분 고에너지 투과성 핵종인 ⁵⁸Co과 ⁶⁰Co 핵종에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다[11,12].

한편 증기발생기 수실 내부에서의 방사선량율은 대부분 위쪽에 있는 U-tube로부터 발생하고 있다. 따라서 방사선장 Geometry가 위에서 아래로 형성되고 있다. 한편 원전의 운전이력이나 보수상태에 따라 방사선량율은 차이를 보이나, 대략 수십 mSv/hr에서 수백 mSv/hr 내외로 형성되고 있다[12]. 이에 따라 증기발생기 수실 내에서는

방사선작업종사자의 위치에 따라 방사선량이 신체 각 부분 간에(예, 머리, 가슴, 등 등) 불균일하게 피폭이 나타나고 있다. 그림 4에 증기발생기 수실에서의 작업 개요를 나타냈다.

NCRP(55:50) 알고리즘을 복수선량계 최적 알고리즘으로 선정하였다[13]. 이 복수선량계 알고리즘 적용성 시험 결과의 TLD 소자반응도와 심부선량과 표층선량 산출 결과 중의 일부를 표 2에 나타내었다.

4. 증기발생기 수실 방사선장 특성분석

2004년과 2005년 영광 4호기 제 7차 계획예방정비기간 증기발생기 수실(Steam generator water chamber) 방사선작업을 수행한 방사선작업종사자를 대상으로 최적의 복수선량계 알고리즘 선정을 위한 적용성 시험을 실시하였다[13]. 이 시험에서 방사선작업종사자는 가슴, 머리와 등에 TLD 3개를 동시에 패용하고 증기발생기 수실내에서 노즐댐 설치와 제거작업 등을 수행하였다. 이 적용시험에서는 Panasonic TLD UD-802를 패용하였다. 한편 이들 신체 3개 부위에 패용한 TLD 판독 결과에 근거하여

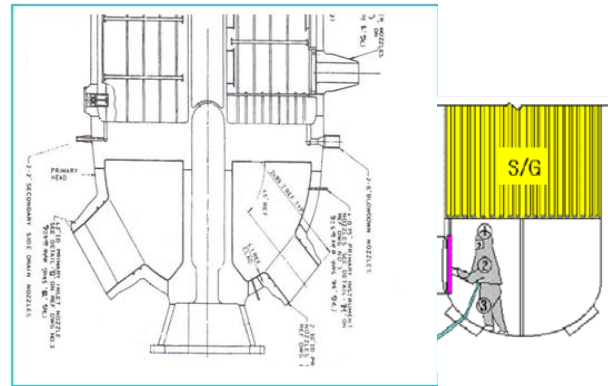


Fig. 4. Simple geometry of steam generator water chamber.

Table 2. TLD (Panasonic UD-802) Readouts of Radiation Workers for the Maintenance of Steam Generator Nozzle Dam at Yonggwang NPPs in 2004.

Workers	Element 1 (mR*)	Element 2 (mR*)	Element 3 (mR*)	Element 4 (mR*)	Deep dose (mSv)	Shallow dose (mSv)	Wearing position
AY	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
BY	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
CY	1.80	1.75	1.89	1.86	1.82	1.82	Head
	1.49	1.45	1.60	1.57	1.52	1.52	Chest
	1.81	1.84	1.91	1.94	1.86	1.86	Back
DY	2.23	2.25	2.03	2.28	2.19	2.19	Head
	1.82	1.76	1.87	1.82	1.81	1.81	Chest
	2.03	2.08	2.09	2.21	2.02	2.02	Back
EY	1.99	2.08	1.92	2.13	2.02	2.02	Head
	1.48	1.28	1.65	1.61	1.50	1.50	Chest
	1.91	1.93	2.06	2.01	1.97	1.97	Back
FY	1.24	1.18	1.20	1.31	1.23	1.23	Head
	0.90	0.81	1.02	0.97	0.92	0.92	Chest
	0.94	0.96	1.04	1.06	1.00	1.00	Back
GY	0.74	0.70	0.79	0.85	0.76	0.76	Head
	0.57	0.44	0.59	0.58	0.54	0.54	Chest
	0.58	0.60	0.72	0.71	0.65	0.65	Back
HY	1.94	1.99	1.84	1.97	1.93	1.93	Head
	1.68	1.53	1.80	1.86	1.71	1.71	Chest
	2.17	1.96	2.01	2.04	2.04	2.04	Back
IY	2.63	2.29	2.35	2.41	2.41	2.41	Head
	2.01	1.86	1.93	1.88	1.91	1.91	Chest
	2.17	2.05	2.25	2.08	2.13	2.13	Back
JY	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
KY	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
LY	0.75	0.76	0.66	0.77	0.73	0.73	Head
	0.46	0.45	0.54	0.51	0.48	0.48	Chest
	0.68	0.62	0.65	0.67	0.65	0.65	Back
MY	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

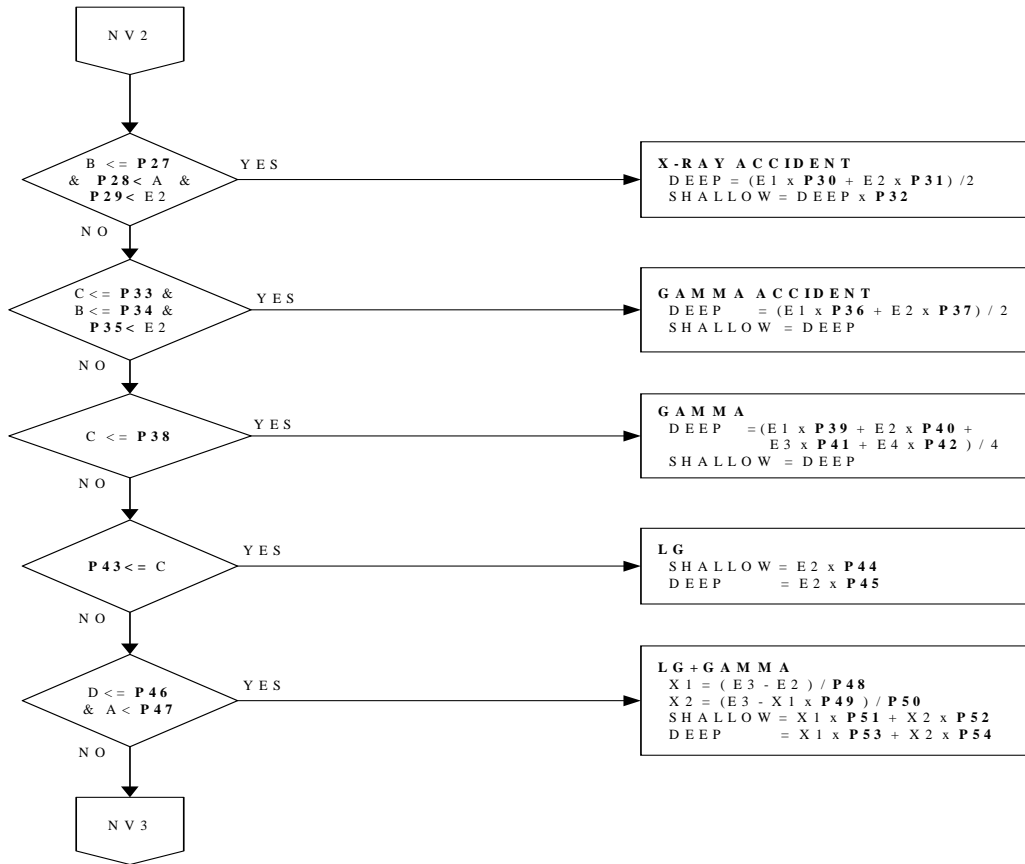


Fig. 5. Dose calculation algorithm for Panasonic TLD (Gamma branch).

한편 복수선량계 알고리즘 적용성 시험 TLD 판독결과를 이용하여 피폭방사선장을 해석하였다. 먼저 증기발생기 수실 작업에 참여한 방사선작업종사자의 심부선량과 표층선량이 동일하게 나타나, 고에너지 투과성 방사선(High energy penetrating radiation)에 의한 방사선장으로 판단되었다. 또한 Panasonic TLD 소자 반응도와 피폭 방사선량 평가 알고리즘을 근거로 종사자에게 입사된 방사선장을 유추하였다. 그 결과 4개 소자의 반응도 비율이 동일하게 나타나 고에너지 광자에 의한 피폭으로 해석되었다[14]. 영광원전에서 피폭방사선량 평가에 이용 중인 Panasonic TLD 알고리즘 중에서 고에너지 광자에 해당되는 Branch를 그림 5에 나타내었다. 따라서 이러한 점을 종합적으로 고려해볼 때 증기발생기 수실 내에서 고피폭 접촉작업의 입사방사선장은 ^{58}Co , ^{60}Co 과 같은 고에너지 광자에 의한 피폭으로 평가되었다[11-14]. 이처럼 원전에서 발생하는 피폭이 고에너지 광자에 의한 피폭이 대부분이라는 점은 Ocken의 논문을 통해서도 확인되었다[11].

이외에 원전종사자의 주요 방사선 피폭원으로 고에너지 감마 방사선장이라는 내용은 국내 원전의 주요 피폭지점에서 방사선장 측정시험을 통해 확인하였다. 국내원전의 계획예방정비기간 휴대용 감마분석용 반도체검출장비(Portable HPGe Detector)를 이용하여 원자로건물과 보조건물 주요지역에 대한 방사선장 측정이 이루어 졌는데, 산란 등에 의해 감마 방사선의 에너지가 일부 감소되기는

하나 원자로건물 내에서는 437-784 keV, 보조건물 내에서는 280-760 keV로 여전히 높게 나타났다[15,16]. 또한 국내원전의 증기발생기 내 표면오염과 냉각재 Crud에 대한 시료채집과 감마 핵종분석을 통해 ^{58}Co , ^{60}Co 이 전체 방사능의 90% 이상을 차지하는 것으로 확인되었다[17]. 이와 같이 Ocken의 연구, 국내원전에서 감마방사선장 측정시험, 증기발생기와 냉각재의 감마핵종 분석시험, 복수선량계 현장시험 등의 일치된 결과를 통해 고에너지 감마선이 주요 피폭원인을 재확인할 수 있었다.

5. 말단선량계 패용 현장시험

2009년 2월 울진원전 4호기 계획예방정비기간 증기발생기 정비작업에 참여한 작업종사자에 대해 울진원전 제2발전소 협조를 얻어 고피폭 접촉작업(High exposure and contact work)에서 입사 방사선장을 찾기 위한 현장시험(Field test)을 실시하였다[18]. 본 현장시험에서는 종사자 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 TLD를 패용하였고, 손가락에는 Extremity dosimeter(ETLD) TLD-100을 패용하였다. 따라서 방사선작업종사자는 총 4개의 TLD를 가슴, 등, 손목

과 손가락에 패용하였으며, 추가로 2개의 ADR(Auto Dosimetric Reader)를 패용하고 방사선작업을 수행하였다. 그림 6에 가슴, 등 및 손목에 패용한 Harshaw TLD 구조를 나타내었다.

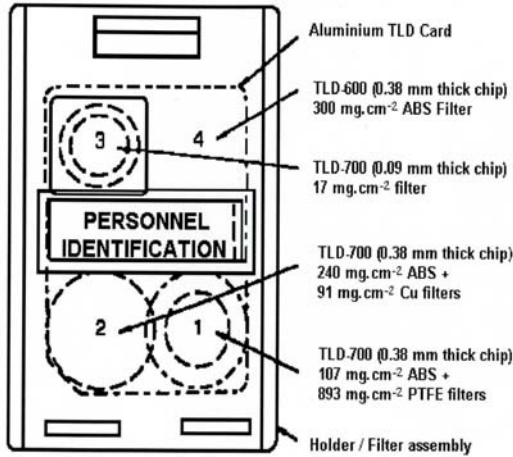


Fig. 6. Harshaw TLD Structure.

가슴과 등에 패용한 TLD는 불균일 고피폭 방사선조건에서 일상적으로 패용하는 복수선량계를 이용한 피폭 방사선량 평가 절차에 따른 것이다. 한편 손목에 패용한 TLD는 손가락에 입사하는 방사선장의 특성분석(Unfolding)을 목적으로 방사성물질과 접촉하는 손가락에 가장 가까운 손목에 패용하였다. 이 경우 손목에는 가슴과 등에 패용한 TLD와 동일한 Harshaw 8806 TLD를 패용하였다. 한편 손가락에 패용한 ETLD는 실질적인 말단선량 현황을 파악하기 위함이었다. ETLD는 형광소자가 1개만 설치되어 있으며, 손가락이 받는 등가선량을 측정하기 위함이었다. 손목에 패용한 TLD의 판독 결과를 표 3에 나타내었다[18].

Table 3. 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)
NU	253.2	243.6	256.5	259.0	2.17	2.17
OU	284.1	275.6	277.0	278.8	2.46	2.46
PU	146.6	137.3	148.6	150.6	1.21	1.21
QU	119.9	113.8	119.5	121.2	1.00	1.00
RU	313.5	303.8	308.6	320.2	2.72	2.72
SU	76.6	71.8	79.7	82.3	0.69	0.69

Table 4. TLD (Panasonic UD-802) Readouts of Radiation Workers who Wear TLD on Wrist for the Pressure Tube Replacement at Wolsong NPPs in 2009.

Workers	Element 1 (mR*)	Element 2 (mR*)	Element 3 (mR*)	Element 4 (mR*)	Deep dose (mSv)	Shallow dose (mSv)
TW	0.96	0.92	0.82	0.84	0.86	0.86
UW	0.95	0.87	0.86	0.89	0.87	0.87
VW	0.55	0.56	0.47	0.46	0.49	0.49
XW	0.51	0.48	0.44	0.44	0.45	0.45
YW	0.83	0.73	0.73	0.72	0.73	0.73
ZW	0.74	0.88	0.65	0.70	0.72	0.72

한편 고피폭 접촉작업에 대한 입사방사선장을 확인하고 말단선량을 평가하기위한 현장시험을 2009년 7월 월성 1호기의 압력관교체(Pressure tube replacement) 작업에 참여한 방사선작업종사자를 대상으로 추가로 실시하였다. 현장시험 방법은 울진4호기에서와 동일하게 진행되었다. Panasonic UD-802 선량계를 가슴, 등, 손목에 패

용하였으며, UD-807 말단선량계를 손가락에 패용하였다. 이 현장시험 결과 중에서 손목에 착용한 TLD의 소자별 판독값과 심부선량과 표층선량을 표 4에 나타내었다[19]. 그림 7에 가슴, 등 및 손목에 패용한 Panasonic TLD 구조를 나타내었다.

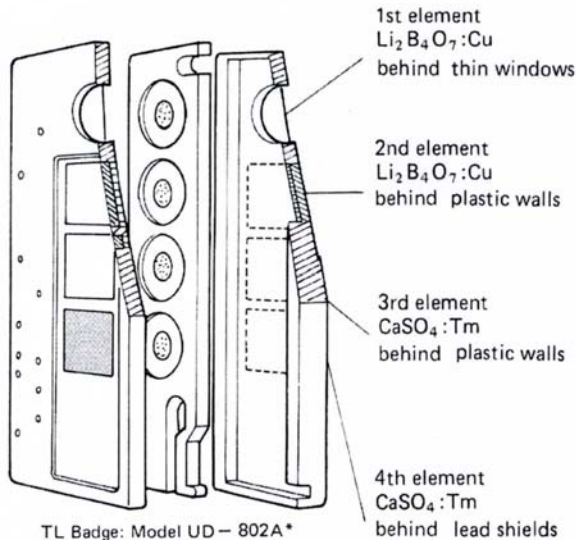


Fig. 7. Panasonic TLD Structure.

이들 울진과 월성원전 방사선작업종사자의 손목에 패용한 TLD 판독값을 분석한 결과 4개 소자별 반응도가 유사하게 나타났다. 또한 이들 소자 반응도에 근거하여 TLD 판독 알고리즘을 기준으로 계산되는 심부선량과 표층선량은 동일하게 나타났으며, 입사방사선장은 고에너지 광자로 평가되었다. 이 결과는 영광원전에서 실시한 복수선량계 적용시험 결과와 동일하였다[13]. 따라서 원전 계획예방정비기간 고피폭 접촉작업에서 종사자의 피폭방사선량은 입사방사선장이 고에너지 광자에 의해 발생하는 것으로 판단되었다.

6. 결론

국내원전 계획예방정비기간 증기발생기 수실에서 이루어진 고피폭접촉 작업의 입사 방사선은 2004년 영광원전에서 시행된 복수선량계 알고리즘 적용시험 결과를 기준으로 판단하면 심부선량과 표층선량은 동일하게 나타났다. 이에 따라 피폭방사선장은 투과성이 큰 고에너지 광자로 판단되었다. 또한 2009년 울진과 월성원전의 고피폭예상 접촉작업을 대상으로 작업종사자의 손목에 패용한 말단선량 현장시험 TLD 판독값을 근거로 판단할 때 입사방사선은 고에너지 광자로 재확인되었다. 이 과정에서 원전 계획예방정비기간 고피폭예상 접촉 방사선작업에서 작업종사자의 손이 받을 수 있는 표층선량에 대한 정확한 평가와 현황을 파악하기 위한 말단선량계 현장시험을 동시에 실시하였다. 이러한 현장시험 결과에 대해서는 별도의 논문을 통해 제시할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주) 안전기술처와 한전전력연구원의 전력사 공동중장기 연구 개발사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, 1991.
2. International Atomic Energy Agency. Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series No. 115, Vienna, 1996.
3. 교육과학기술부. 고시 제2008-31호: 방사선방호등에 관한 기준 고시, 2008.
4. International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Pergamon Press, 2007.
5. 교육과학기술부 고시 제2008-48호: 관독업무 등록 기준 및 검사 규정, 2008.
6. International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51, 1993.
7. American National Standard Institute, An American National Standard for Dosimetry - Personnel Dosimetry Performance Criteria for Testing, ANSI N13.11, 1993.
8. American National Standard Institute, An American National Standard - Performing Testing of Extremity Dosimeters, ANSI N13.32, 1995.
9. Harshaw Brochure, Extremity Dosimeter, 2008.
10. Panasonic Brochure, Extremity Dosimeter, 2008.
11. Ocken H. Techniques for Controlling Radiation Exposure, Nuclear News 1993 Feb;43-47.
12. Yoon YH. Shielding Establishment inside Steam Generator, Proceedings of Information System on Occupational Exposure, Asian ALARA Symposium, 2007.
13. 김희근, 공태영. 원전 불균일 방사선장하에서 유효선량 평가를 위한 복수선량계 알고리즘 적용방안 연구. Journal of Radiation Protection 2008;33(4):151-160.
14. 한전전력연구원. 원전 말단선량계의 방사선장 특성 조사 분석. TM.S04.R2009.0012, 2009.
15. 한전전력연구원. 열형광선량계에 의한 실효선량당량 평가기술 및 알고리즘 개발, KRC-90N-J03, 1992.
16. 송명재, 김희근, 김봉환, 장시영. PWR 발전에서의 방사선장 특성. 방사선방어학회지 1992;17(2):61-70.
17. 한전전력연구원. 원전 1차계통 방사선량 감소 기술 개발. KRC-90N-J04, 1993.
18. 한전전력연구원. 원전 고피폭 접촉작업의 방사선장 특성분석 및 말단선량 현황분석 보고서. TM.S04.P2009.0190, 2009.
19. 한전전력연구원. 고피폭 접촉작업(압력관피더 제거 작업 등) 방사선장 특성분석 및 말단선량 평가보고서 (월성 1호기 압력관교체기간 말단선량계 패용 현장 시험 분석보고서). TM.F02.P2009.0616, 2009.

An Analysis of Radiation Field Characteristics for Estimating the Extremity Dose in Nuclear Power Plants

Hee Geun Kim, Tae Young Kong
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Maintenance on the water chamber of steam generator during outage in nuclear power plants (NPPs) has a likelihood of high radiation exposure to whole body of workers even short time period due to the high radiation exposure rates. In particular, it is expected that hands would receive the highest radiation exposure because of its contact with radiation materials. In this study, characteristic analysis of inhomogeneous radiation fields for contact operations was conducted using thermoluminescent dosimeter (TLD) readouts from the application tests of two-dosimeter algorithm to Korean NPPs in 2004. It is regarded that inhomogeneous radiation fields for contact operations in NPPs are dominated by high energy photons. In addition, field tests for workers who participated in maintenance on the steam generator during outage at Ulchin NPPs in 2009 and pressure tube replacement at Wolsong NPPs in 2009 were conducted to analyze radiation fields and to estimate the extremity dose. As a result, radiation fields were dominated by high energy photons.

Keywords : Radiation Field, High Energy Photon, High Exposure Contact Work, Shallow and Deep Dose, Extremity Dosimeter, Steam Generator Maintenance Work