

## 필름배지선량계에 의한 개인피폭선량 측정에 관한 연구

정운관

조선대학교

### 요 약

X선과 감마선의 에너지에 따른 선질특성과 선량 및 필름의 사진농도와의 관계를 이용한 필름배지선량계의 선량환산식을 실험적으로 체계화 하였고, 시간경과에 따른 잠상퇴행 특성과 방사선의 입사방향에 따른 방향특성을 실험적으로 조사하여 보정계수를 산출하였다. 본 연구에서 구한 선량환산식은 필름배지선량계의 기술기준인 성능판정 기준을 잘 만족시키는 것으로 나타났다.

*Key Words* : 필름배지선량계, 선질특성, 사진농도, 선량환산식, 잠상퇴행.

### 서 론

방사선 작업종사자에 대한 개인피폭선량 평가의 정확성과 신뢰도를 높이기 위하여 미국에서는 개인선량계 성능평가기준[1]을 제정하고 원자력 규제 위원회에서는 이를 미연방규정[2]에 반영하였으며 평가기관들은 미국 국립표준과학연구소의 기술공인 프로그램[3]에 의한 선량평가의 검증을 받도록 규정되어 있다.

일본의 경우 방사선 작업종사자의 피폭선량 판독에 필요한 기술기준은 일본공업규격에 상세히 기술하고 있다. 관련법규로는 방사성동위원소 등에 의한 방사선 장해방지에 관한 법률시행규칙이

있고, 이 규정에 의거 원자력관계 사업자는 방사선 작업종사자에 대한 피폭방사선량을 측정하되 인체 각 부위에 대하여 1cm, 3mm, 70 $\mu$ m 선량당량을 측정[4]토록 되어 있다.

국내의 경우 개인피폭선량은 주로 필름배지와 TLD를 이용하고 있으나 결과의 신뢰도에 문제가 있어 방사선 안전관리 측면에서 많은 논란이 되어 왔다. 이와 관련하여 기술기준[5] 및 TLD 알고리즘 개발 연구[6]가 수행되어 국내 원자력발전소의 개인방사선량 피폭관리를 체계적으로 할 수 있게 되었다.

국내의 관련법규와 기술기준으로는 원자력법 제97조 및 동법 시행령 제282조에 방사선장해방지

\* 본 연구는 한국전력공사의 연구비지원으로 기초전력공학공동연구소에서 수행되었다.

조치와 피폭선량의 측정규정 및 개인피폭선량 판독에 관한 규정이 있고, 판독과 관련된 공업규격에는 필름배지와 관련하여 배지케이스와 취급 방법에 대한 규격이 있으나 필름배지 취급방법에 필요한 선량특성 및 에너지특성 등 선량특성을 구하는데 필요한 기초자료는 명시되어 있지 않다. 또한 각 선량계에 대한 세부적인 기술기준이 원자력법 시행령에 포함되어 있지 않으며, 특히 필름배지의 경우 판독기관에서 판독 및 품질보증 절차를 작성하여 과학기술처장관의 승인을 받도록 되어 있으나 판독기관의 영세성과 전문인력의 부족 등으로 많은 어려움이 있고 규제기관에서는 심사를 위한 세부적인 기초연구도 미흡한 실정이다. 따라서 이와 관련된 연구가 매우 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 필름배지의 특성에 관한 판독기술을 개선하고자, 일본의 공업규격에 따라 필름배지에 X-선 및 감마선의 기준선량을 조사시켜 필름을 판독하고, 방사선의 에너지에 따른 선질특성과 선량 및 필름흑화도의 관계를 이용한 선량환산식을 실험적으로 체계화 하고자 한다. 또한 미국의 ANSI N13.11에 기초한 과학기술처의 기술기준을 적용하여 본 실험에서 구한 결과치의 정확도를 평가하며, 잠상퇴행 특성과 방향특성을 실험하여 보정계수를 산출하므로 필름배지 판독에 의한 개인피폭선량의 신뢰도를 높이고자 한다.

## 실 험

### 1. 실험조건

#### (1) 필름 및 필름배지 케이스 특성

본 실험에서 사용한 필름은 AGFA사의 Personal Monitoring 2/10 필름으로 고감도와 저감도 필름인 D-2, D-10 2장으로 구성된다[7].

이 필름은 낮은 X-선 선량을 쉽게 측정할 수

있는 특징이 있으며 D-2는 높은 선량을 측정하기에 적합한 저감도 필름으로 70KV의 X-선을 300 mR[77.4 $\mu$ C/kg]에서 100R[2.58 $\times 10^{-2}$ C/kg] 이상까지 측정 가능하다. D-10은 낮은 선량을 측정하기에 적합한 고감도 필름으로 Co-60의 감마선에 대하여 10mR[2.58 $\mu$ C/kg]에서 300mR[77.4 $\mu$ C/kg] 이하까지 측정 가능하다. D-10 필름은 자연방사선에 매우 민감하여 3개월 이상 보관하는 필름에 대하여 7  $\mu$ R/h[1.8 $\times 10^{-3}$  $\mu$ C/kg]를 초과할 수 없다.

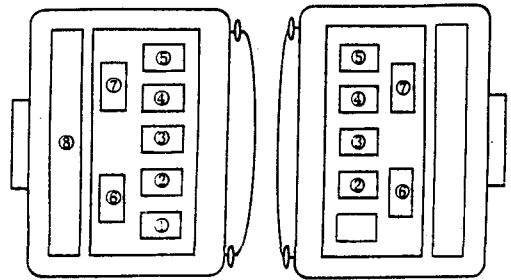


Fig. 1. Schematic diagram representation of the film badge dosimeter.

- |               |                |
|---------------|----------------|
| ① Plastic 0.5 | ② Aluminum 0.6 |
| ③ Lead 1.2    | ④ Copper 0.3   |
| ⑤ Lead 1.5    | ⑥ Plastic 1.5  |
| ⑦ Plastic 1.2 | ⑧ Open Filter  |

(unit: mm)

필름배지 케이스는 독일의 Siemens사의 필름배지와 동일한 제품을 제작 사용하였고 그림 1과 같다.

#### (2) X-선 및 감마선 조사장치

본 실험에서 사용한 X-선 발생장치는 KAREI에 설치된 독일 Philips 제품인 Model MG-320을 이용하여 발생전압이 40KV, 80KV일때의 유효에너지를 조사시켰다. 감마선 조사장치는 Cs-137의 경우 OB System과 Co-60은 OB-2 System을 이용

하였고 조사된 방사선량의 측정은 KAERI 방사선교정실의 표준측정장치에 의해 이루어졌다.

**(3) 팬텀과 방사선 조사방법**

본 실험에서 사용된 팬텀은 Slab형의 PMMA (polymethylmethacrylate)로 밀도가 1.17g/cm<sup>3</sup>이다. X-선의 경우 30×30×15cm<sup>3</sup>인 팬텀을 사용하였고 인체 표면으로 부터의 방사선산란을 모의하기 위하여 팬텀표면 위에 1cm 스티로폼을 이용하였으며 필름배지는 중앙에 1매씩 장착하여 설치 하였다.

감마선의 경우 40×40×15cm<sup>3</sup>인 팬텀을 사용하였고 필름배지를 3매씩 장착하여 설치하였다. 그 이유는 감마선원중 Co-60 선원이 약해 고선량 조사시 전체 조사시간을 줄이기 위함이다.

방사선 조사방법은 KAERI에서 TLD 알고리즘 연구[6]를 위해 제작한 방사선조사 장치를 이용하였다. X-선의 경우 선원과 팬텀과의 거리를 1m, 감마선의 경우 1.5m를 유지하였고 정면조사 뿐 아니라 필름배지의 방향특성을 시험하기 위해서 공간내의 정확한 각도를 유지하여 조사하였다.

**(4) 조사환경 및 현상처리**

방사선 표준조사 환경은 주위온도 22-23°C, 상대습도 61-70%, 기압 960-105 KPa, 조사환경의 1cm 선량당량은 0.2μSv/h 이하로 JIS 공통조건[8]을 만족 하였다.

본 실험에서 사용한 현상액은 필름회사에서 지정한 AGFA G-230과 정착액으로 G-305를 사용하였고 필름의 사진농도를 측정하는 농도계는 Digital Densitometer(X-Rite 301)를 광학적으로 교정하여 사용하였다.

현상조는 현상중의 현상액을 20±0.5°C의 온도를 유지할 수 있는 자동온도조절기가 부착된 현상조를 이용하였고, 현상액을 조합하여 10시간이

경과된 후 현상작업을 하였으며 정착액의 온도도 현상액과 같은 온도를 유지 하였다. 세척은 수도물로 30-60분간 하였고 필름을 구별하기 위한 X-ray Marking과 안전등에 의한 필름 아래짐이 사진농도에서 0.02 이하의 사진농도로 유지 되는 지를 실험하였다[9].

**2. 방사선 표준 조사 방법[8]**

**(1) 기준 감마선에 대한 선량특성 표준조사**

동일 Lot의 배지필름으로 만든 필름배지를 21개 준비한다. 3개씩 하나의 조로 하여 A<sub>1</sub>-A<sub>6</sub>조로 한다. 각 조에 Cs-137(185GBq) 감마선원을 표 1과 같이 조사한다. 단, 한조는 Control 필름으로 하여 기준 감마선을 조사하지 않는다.

조사가 끝난 배지필름은 Control 필름과 함께 3일간 방치한후 필름이 뒤섞이지 않도록 X-ray Marking을 하고 현상처리 한다. 이때 암실내의 안전등의 사용에 의한 오차를 제거하기 위하여 바래짐(Fog)농도 보정용 필름도 함께 현상한다.

각각의 필름에서 고감도, 저감도 필름을 취해서 감마선 기준필터(Pb 1.2mm)에 해당하는 부분의

**Table 1. Standard exposure for the reference gamma rays (<sup>137</sup>Cs).**

Group	Exposure in Air mR {C/kg}	Environmental Condition (Common)	Incident Beam Angle (Common)
A <sub>1</sub>	100[2.58×10 <sup>-5</sup> ]	Temperature 20±3°C Relative Humidity 70%	0~5°
A <sub>2</sub>	200[5.16×10 <sup>-5</sup> ]		
A <sub>3</sub>	300[7.74×10 <sup>-5</sup> ]		
A <sub>4</sub>	400[1.03×10 <sup>-4</sup> ]	Atmospheric Pressure 960 kPa	
A <sub>5</sub>	500[1.29×10 <sup>-4</sup> ]		
A <sub>6</sub>	1000[2.58×10 <sup>-4</sup> ]		

사진농도를 3점을 취하여 읽고 그 평균값을 구하며 각 조마다 사진농도의 값을 구해 그 평균치와 표준편차를 계산한다. 또한 조사선량과 사진농도와의 관계를 나타내는 선량특성 그래프를 구한다.

(2) X-선 및 감마선에 대한 필름-에너지 특성 표준조사

동일 Lot의 배지필름으로 만든 필름배지를 84개 준비한다. 3개씩 하나의 조로 하여 28조를 만들고 6조씩을 취하여 X-선의 유효에너지가 27keV, 46 keV와 Cs-137(662keV), Co-60(1250keV)의 감마선을 표 2와 같이 조사한다. 한조는 각 에너지에서의 Control 필름으로 하고 X-선 및 감마선을 조사하지 않는다. 조사가 끝난 필름은 Control 필름과 함께 3일간 방치한 후에 현상처리 한다. 각각의 필름에서 고감도, 저감도 필름을 취하여 각각의 필터위치 사진농도를 측정하고 실질 겉보기 선량으로 부터 상대감도를 구하여 필름-에너지 특성으로 한다.

Table 2. Standard exposure for the X or gamma rays energy.

X or $\gamma$ -rays Energy (keV)	27	46	662	1250
Exposure in Air mR (C/kg)	100 $\{2.58 \times 10^{-5}\}$			
	200 $\{5.16 \times 10^{-5}\}$			
	300 $\{7.74 \times 10^{-5}\}$			
	400 $\{1.03 \times 10^{-4}\}$			
	500 $\{1.29 \times 10^{-4}\}$			
	1000 $\{2.58 \times 10^{-4}\}$			

Table 3. Standard exposure for the image fading characteristics.

Group	A	B	C
Exposure in Air mR (C/kg)	200 $\{5.16 \times 10^{-5}\}$	500 $\{1.29 \times 10^{-4}\}$	Control Film

(3) 잠상퇴행 특성 표준조사

동일 Lot의 배지필름으로 만든 필름배지를 36개 준비한다. 3개씩을 한 조로 하여 12개의 조를 만들어 4개조씩을 취해서 A Group, B Group, C Group으로 한다. 표 3과 같이 Cs-137 감마선을 필름배지에 조사한다. 단, C Group의 배지필름은 보관일수 마다의 Control 필름으로 하여 감마선을 조사하지 않는다.

조사가 끝난 필름은 Control 필름과 함께 주위 온도  $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 각 Group의 4개조를 3, 10, 20, 30일씩 보관한다. 보관이 끝난 배지필름은 Control 필름과 함께 현상처리 한다. A Group, B Group의 고감도 필름, 저감도 필름을 취해내어 감마선 기준필터 위치의 사진농도를 측정한다. 각 조마다 정미 겉보기선량의 평균치를 구하여 각 그룹마다 각조의 상대치(RV)를 식 (1)에 의해 구한다.

각 Group 마다 상대치와 보관일수와의 관계를 잠상퇴행의 그래프로 그린다.

(4) X-선에 대한 방향특성 표준조사

동일 Lot의 배지필름으로 만든 필름배지를 54개 준비한다. 3개씩을 한조로 하여 18개의 조를 만

$$RV = \frac{\text{각 조의 실질 겉보기 선량의 평균치}}{\text{3일간 보관한 조의 실질 겉보기 선량의 평균치}} \quad (1)$$

$$AV = \frac{\text{특정 방향의 필름뱃지로 부터 산출한 1cm 선량당량의 평균치}}{0^\circ \text{ 방향의 필름뱃지로 부터 산출한 1cm 선량당량의 평균치}} \quad (2)$$

들어 9개조 썩을 취해서 2 Group으로 만들어 A<sub>1</sub> Group, A<sub>2</sub> Group으로 한다. 표 4에 따라 X-선을 필름배지에 조사한다. 닥, 각 Group의 한조씩은 Control 필름으로 하여 X-선을 조사하지 않는다. 또한, 필름배지의 전면에 대한 X-선의 입사각은 상하좌우 각 방향에 대하여 측정한다.

조사가 끝난 필름은 Control 필름과 함께 3일간 방치한 후에 현상처리 한다. 각 조로부터 고감도, 저감도 필름을 선택하여 각 필터위치의 사진농도를 측정하고 정미 겉보기선량을 구한다. 선량당량 산출식에 의해서 1cm 선량당량을 구하고 각 조의 상대치(AV)를 식 (2)와 같이 구하여 방향 특성을 구한다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 실험결과

X-선 표준조사시 유효에너지는 KAERI 연구[6]에서 실험된 데이터를 이용하였다. X-선 관의 인가전압이 40, 80 KVp일때 반가층 측정방법에 의하여 구한 유효에너지는 27, 46 keV이다. 본 실험에서 X-선 표준조사시 고전압 공급장치의 불

안정성 때문에 100 KVp 이상의 전압을 올릴 수 없어 부득이 안정한 40, 80 KVp의 전압밖에 사용할 수 없었다. 따라서 유효에너지가 27, 46 keV인 X-선과 662 keV인 Cs-137, 그리고 1250 keV인 Co-60 감마선에 의해 표준조사를 수행하였다.

X-선, 감마선의 에너지별 조사선량과 각 필터 위치에서 측정된 사진농도의 평균값 및 감마선 기준필터인 납(1.2mm)에서의 Control 필름 사진농도를 이용하여 조사선량과 사진농도의 관계인 선량특성을 그림 2-7과 같이 구하였다.

그림 2와 4에서 플라스틱 필터와 알루미늄 필터는 100mR[2.58×10<sup>-5</sup> C/kg]과 200mR[5.16×10<sup>-5</sup> C/kg] 이상에서 각각 고감도 필름의 사진농도가 포화치인 5.0을 초과하며, 구리필터의 직선성도

Table 4. Standard exposure for the incident X-ray beam angle.

Group	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
Effective Energy of X-ray (keV)	27	46
Exposure in Air mR {C/kg}	400 {1.03×10 <sup>-4</sup> }	100 {2.58×10 <sup>-4</sup> }

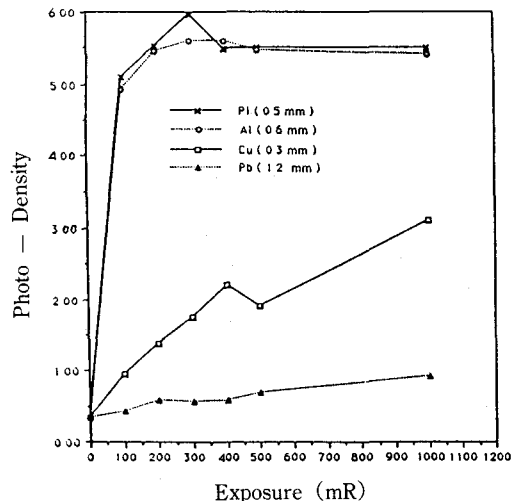


Fig. 2. Relationship between X-ray exposure and optical photo-density of the film badge dosimeter. (27 keV, Sensitive Emulsion Film)

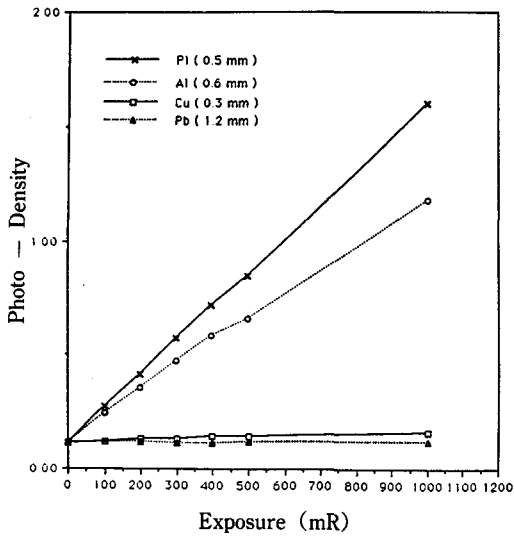


Fig. 3. Relationship between X-ray exposure and optical photo-density of the film badge dosimeter. (27 keV, Insensitive Emulsion Film)

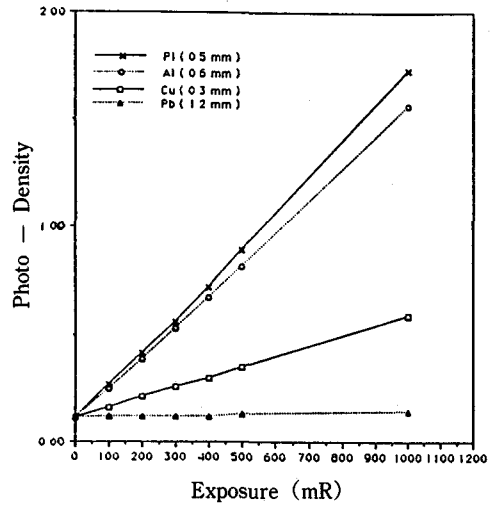


Fig. 5. Relationship between X-ray exposure and optical photo-density of the film badge dosimeter. (46 keV, Insensitive Emulsion Film)

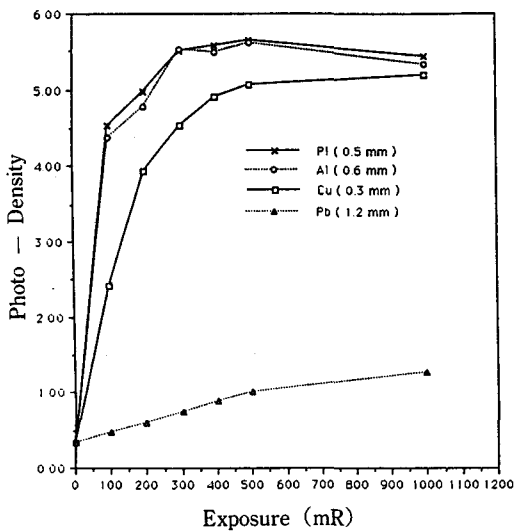


Fig. 4. Relationship between X-ray exposure and optical photo-density of the film badge dosimeter. (46 keV, Sensitive Emulsion Film)

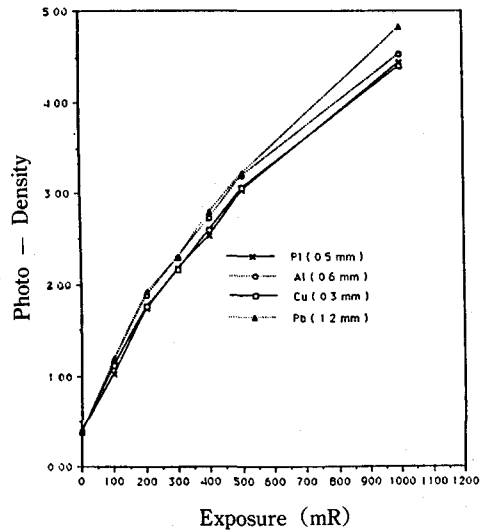


Fig. 6. Relationship between  $\gamma$ -ray exposure and optical photo-density of the film badge dosimeter. ( $^{137}\text{Cs}$ , Sensitive Emulsion Film)

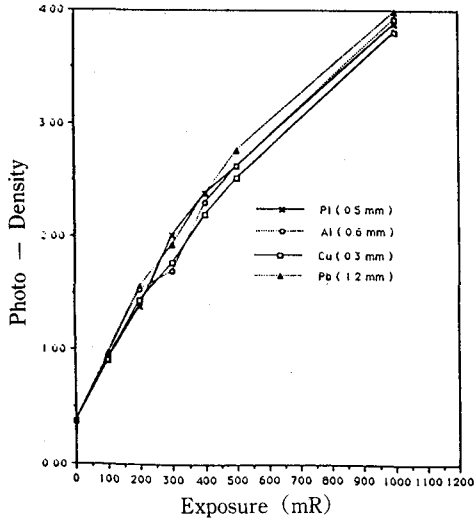


Fig. 7. Relationship between  $\gamma$ -ray exposure and optical photo-density of the film badge dosimeter. ( $^{60}\text{Co}$ , Sensitive Emulsion Film)

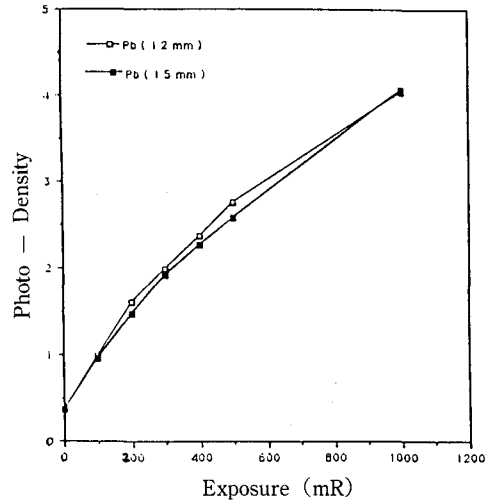


Fig. 8. Relationship between  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ -ray exposure and optical photo-density of the reference lead filter. (Sensitive Emulsion Film)

Table 5. Average optical photo-density under the Pb filters to gamma ray ( $^{137}\text{Cs}$ , 662 keV).

Film Badge Filters (mm)		Pb (1.2)	Pb (1.2)	Pb (1.5)	Pb (1.5)
Film Type		Sen.	Insen.	Sen.	Insen.
Exposure in Air mR {C/kg}	100 { $2.58 \times 10^{-5}$ }	0.98	0.12	0.96	0.12
	200 { $5.16 \times 10^{-5}$ }	1.60	0.13	1.47	0.13
	300 { $7.74 \times 10^{-5}$ }	1.99	0.14	1.91	0.14
	400 { $1.03 \times 10^{-4}$ }	2.37	0.15	2.26	0.15
	500 { $1.29 \times 10^{-4}$ }	4.03	0.20	4.06	0.20
	1000 { $2.58 \times 10^{-4}$ }	5.06	0.92	3.11	0.92

Sensitive Emulsion Control Film Optical Photo-density : 0.37

Insensitive Emulsion Control Film Optical Photo-density : 0.12

좋지 않다. 그러나 그림 3과 5를 보면 앞에서 언급한 3가지 필터에 대해 좋은 직선성을 가짐을 알 수 있어 플라스틱, 알루미늄, 구리필터에 대해서는 저감도 필름을 이용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

2. 기준 감마선에 대한 선량특성

Cs-137 기준 감마선에 대하여 실험조사 한 결과 표 5의 값을 얻었다. 저감도 필름의 경우 감마선의 조사선량을 증가시켜도 큰 변화를 보이지 않았으나 고감도 필름의 경우 그림 8과 같이 선량에 따른 직선성이 나타났다. 그림에서 납 1.2, 1.5에 대해 큰 차이를 보이지 않았으므로 감마선 기준 필터로 정한 납 1.2 필터에 대해 분석하였다. 이 선량특성을 보면 약 400mR의 선량에 해당하는 사진농도 2.4를 기준으로 하여 두개의 직선으로 나누는 방법에 의해 해석하면 식 (3)과 같은 직선의 방정식을 구할 수 있다.

$$D_4^c = 197 R_4^c - 73 \quad (0 < R \leq 2.4)$$

$$D_4^c = 366 R_4^c - 476 \quad (2.4 < R < 5.0) \quad (3)$$

여기서 D는 조사선량이며 R은 사진농도이고 상첨자 c는 Cs-137, 하첨자 4는 납필터를 의미한다.

같은 방법으로 그림 7을 이용하여 Co-60에 대한 값을 구하면 약 300mR의 선량에 해당하는 사진농도 2.4를 기준으로 식 (4)와 같은

$$D_4^d = 158 R_4^d - 79 \quad (0 < R \leq 2.4)$$

$$D_4^d = 287 R_4^d - 388 \quad (2.4 < R < 5.0) \quad (4)$$

선량환산식을 구할 수 있다. 여기서 상첨자 d는 Co-60을 의미한다.

3. X-선 및 감마선에 대한 필름-에너지 특성

감마선의 선량특성은 기준 감마선필터인 납에 의해 쉽게 구할 수 있으나 X-선의 경우는 이보다 복잡하다. 이 관계를 분석하기 위하여 그림 2-7의 결과를 이용하면 각 조사선량별로 광자에너지에 대한 각 필터별 사진농도를 얻을 수 있다. 그림 9는 500mR의 X-선 및 감마선의 필름농도와 광자에너지 특성을 나타낸 그림이다. 이 그림을 보면 동일한 조사선량 조건에서 낮은 에너지 영역의 X-선 사진 농도값이 필름도가 상대적으로 작은 필터에서 큰 변화를 보이며, Cs-137 감마선 영역 이상의 에너지에서는 값이 상대적으로 줄어들어 필터의 종류에 큰 차이를 보이지 않고, 광자에너지의 증가에 따라 사진농도값이 서서히 증가하는 필름배지의 에너지 의존성을 나타내고 있다[10]. 이와같은 특성은 500mR 이외의 선량에 대해서도 모두 같은 현상을 보였다.

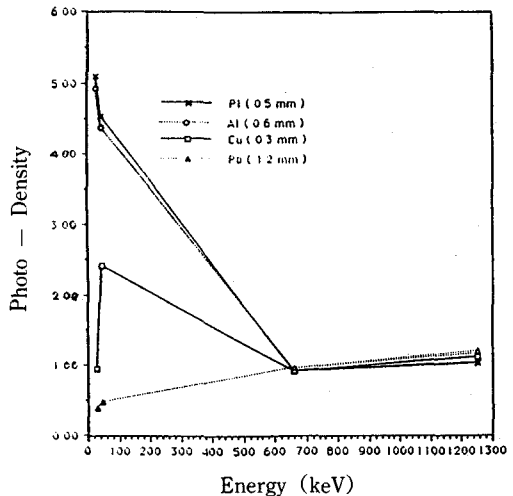


Fig. 9. Energy dependence of the film badge dosimeter to X-γ ray (500mR, Sensitive Emulsion Film).



X-선의 선량특성은 그림 2-5를 이용하여 구할 수 있다. 그림 2, 4를 보면 플라스틱, 알루미늄 필터에 대해서 선량증가에 따른 직선성을 찾을 수 없고 구리필터에 대해서도 적용시키기 어렵다. 그러나 그림 3, 5를 보면 플라스틱, 알루미늄 필터에 대해 직선성을 쉽게 알 수 있고, 구리나 납 필터에 대해서는 변화율이 너무 적음을 알 수 있다. 그러므로 저감도 필름의 플라스틱, 알루미늄 필터 농도값과 선량과의 관계식을 각각 구할 수 있으며, 플라스틱에 대해 먼저 구하면 다음 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} D_1^a &= 671 R_1^a - 74 \\ D_1^b &= 617 R_1^b - 68 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 하첨자 1은 플라스틱 필터, 상첨자 a는 27 keV, b는 46 keV X-선을 의미한다.

같은 방법으로 알루미늄 필터(하첨자 2)에 대해 구하면 식 (6)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} D_2^a &= 935 R_2^a - 103 \\ D_2^b &= 690 R_2^b - 76 \end{aligned} \quad (6)$$

이 방법은 선량 증가에 따른 농도변화율이 적기 때문에 약간의 농도값 차이에도 큰 선량변화를 줄 수 있는 단점이 있으나, 광 농도계의 성능이 유효숫자 두자리까지 정확하게 읽을 수 있으므로 큰 무리는 없으며, 정확성을 더 높이기 위하여 X-선의 경우 각 조사된 필름을 판독시, 각 에너지에 대한 플라스틱과 알루미늄 필터에 대한 선량을 각각 계산하여 평균값을 구하면 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 본 연구에서는 표준조사 시설의 사정으로 X-선에 대하여 2개의 에너지 영역밖에 찾지 못했으므로 추가적인 실험이 보완되어야 할 것이다.

#### 4. 잠상퇴행 특성

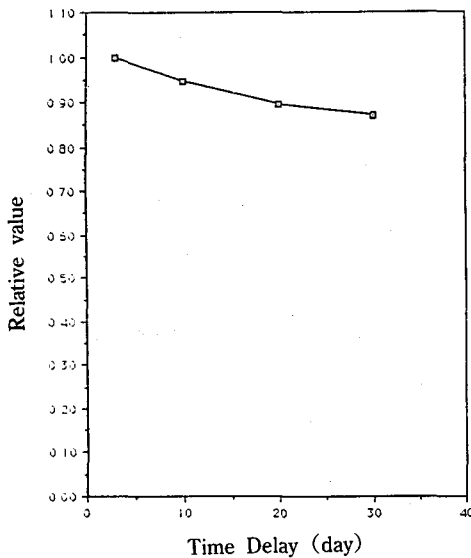
필름을 조사한 후 현상할때까지의 시간경과에

**Table 6. Average optical photo-density of the film badge filters to development delayed time (662 keV, 200 mR).**

Film Badge Filters (mm)		P1 (0.5)	A1 (0.6)	Cu (0.3)	Pb (1.2)	
Development Time (Day)	3	1.38	1.53	1.43	1.56	
	10	1.35	1.51	1.40	1.54	
	Sensitive Emulsion Film	20	1.30	1.49	1.37	1.51
		30	1.26	1.45	1.35	1.48
Development Time (Day)	3	0.14	0.14	0.14	0.14	
	10	0.13	0.13	0.13	0.13	
	Insensitve Emulsion Film	20	0.13	0.13	0.13	0.13
		30	0.13	0.13	0.13	0.13

**Table 7. Average optical photo-density of the film badge filters to development delayed time (662 keV, 500 mR).**

Film Badge Filters (mm)		P1 (0.5)	A1 (0.6)	Cu (0.3)	Pb (1.2)
Development Time (Day)	3	2.63	2.63	2.52	2.77
	10	2.60	2.58	2.45	2.60
Sensitive Emulsion Film	20	2.53	2.47	2.20	2.45
	30	2.49	2.44	2.16	2.39
Development Time (Day)	3	0.16	0.16	0.16	0.16
	10	0.15	0.15	0.15	0.15
Insensitive Emulsion Film	20	0.15	0.15	0.15	0.15
	30	0.15	0.15	0.15	0.15



**Fig. 10. Relationship between development delayed time and relative value of the image fading value (Sensitive Emulsion Film).**

따른 특성을 실험한 결과 표 6, 7과 같은 결과를 얻었다. 이 데이터 중 납 필터의 값을 식 (3)에 대입하여 각 선량에 대한 현상시간 경과에 따른

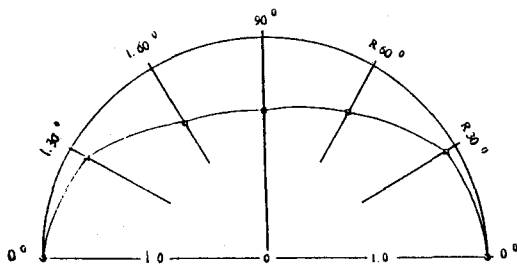
측정선량치를 구하였다. 여기서 실제 표준조사선량과 측정치간 약간의 차이가 있었으나 시간 경과에 따른 감쇄가 있음을 측정할 수 있었다. 이 값들을 식 (1)을 이용하여 조사후 3일인 초기치로 나눈 상대값을 구해 평균치를 구한 결과 그림 10과 같은 잠상퇴행특성을 구할 수 있었다. 그림에서 상대값의 역수를 취하면 잠상퇴행 보정계수인 10, 20, 30일에 대해 각각 1.057, 1.143, 1.149를 구할 수 있고, 30일 보관시 약 15%의 감소가 있음을 알 수 있다. 그러나 이 결과는 고감도 필름에 대한 잠상퇴행이며, 표준조사선량이 적어서 저감도 필름에 대해서는 구할 수 없었다.

##### 5. X-선에 대한 방향특성

필름배지를 X-선의 선량과 입사방향에 따라 표준조사하여 판독한 결과치에서 방향특성 X-선의 선량을 식 (5), (6)을 이용하여 구한 결과, 표 8을 얻었다. 여기서 AVR은 두가지 필터에 대한 선량의 평균값이다. 전면에 대한 선량값을 기준으로 각 방향에 대한 비율을 구하고, 두 에너지에 대한

**Table 8. Dose calculation of incident X-ray beam angle.** L : Left, R : Right, T : Top

Energy (keV)		27		46	
Exposure (mR)		400		100	
Reference Filter (mm)		P1 (0.5)	A1 (0.6)	P1 (0.5)	A1 (0.6)
Incident Beam Angle (Degree)	0°	416	439	99	97
		Avr. 427.5		Avr. 98	
	90°	388	290	49	55
		343.5		52	
	L 30°	375	402	86	97
		388.5		91.5	
	L 60°	286	262	74	76
		274		75	
	R 30°	415	439	86	90
		427		88	
	R 60°	341	290	74	76
		315.5		75	
	T 30°	212	224	49	48
		218		48.5	
	T 60°	314	215	49	48
		264.5		48.5	



**Fig. 11. Directional characteristic curve for the incident X-ray beam angle.**

평균을 구해 그림으로 나타내어 그림 11과 같은 방향특성 곡선을 구하였다.

그림 11에서 L60°의 값이 작게 나온 것은 표 8에서와 같이 27 keV의 실험결과에 기인한 것이다. 필름을 판독하는데 T30°와 T60°의 필름배지는 한쪽에 편중조사된 것이 나타났고 서로 비슷한 값을 가져 정확한 차이를 측정 할 수 없었다.

방향특성 보정계수는 그림 11의 각도에 해당하는 값의 역수를 취해지면 쉽게 구할 수 있는데

입사 방향이 90° 될 때의 보정계수는 약 1.5로 나타났다.

#### 6. 국내 기술기준 성능판정

개인피폭선량 판독에 관한 국내 기술기준[5]을 적용하기 위해 그림 2-7을 구할때 적용한 사진 농도 평균값을 선량환산식에 적용하였다. 그림 3, 5에서 저감도 필름의 플라스틱, 알루미늄 필터의 값을 식 (5) (6)에 대입하여 X-선의 측정선량을

구하였고, 그림 6, 7에서 고감도 필름의 납 필터 값을 식 (3), (4)에 대입하여 감마선의 측정선량을 계산한 결과 표 9를 얻었다. 여기서  $H_i$ 는 기준선량,  $H_i'$ 는 선량환산식에 의해 구한 측정선량,  $P_i$ 는 성능지수로  $(H_i' - H_i) / H_i$ 이다. 성능지수 값들의 표준편차 S를 구하면 0.085로 계산되어, ANSI N13.11 [1]에 기초한 성능판정 기술기준[5]에 대입하면  $|B| + S = 0.024 + 0.085 = 0.109$ 로 계산되어 0.5 이하라는 기준치보다 훨씬 작은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 따라서, 본 실험 결과 만들어낸

Table 9. Dose evaluation statistical data for the experimental results.

Photon Energy (keV)	$H_i$ (mR)	$H_i'$	$P_i$	$P_i - \bar{P}$	$(P_i - \bar{P})^2$
27	100	114	0.140	0.116	0.0135
	200	213	0.065	0.041	0.0017
	300	322	0.073	0.049	0.0024
	400	424	0.060	0.036	0.0013
	500	505	0.010	-0.014	0.0020
	1000	1000	0.000	-0.024	0.0006
46	100	98	-0.020	-0.044	0.0019
	200	192	-0.040	-0.064	0.0041
	300	284	-0.053	-0.077	0.0059
	400	381	-0.048	-0.072	0.0052
	500	482	-0.036	-0.060	0.0036
	1000	1000	0.000	-0.024	0.0006
662	100	118	0.180	0.156	0.0243
	200	234	0.170	0.146	0.0213
	300	307	0.023	-0.001	0.0000
	400	396	-0.010	-0.034	0.0012
	500	572	0.144	0.120	0.0144
	1000	1002	0.002	-0.022	0.0005
1250	100	110	0.100	0.076	0.0058
	200	224	0.120	0.096	0.0092
	300	283	-0.057	-0.081	0.0066
	400	379	-0.053	-0.077	0.0059
	500	479	-0.042	-0.066	0.0044
	1000	851	-0.149	-0.173	0.0299

선량환산식은 매우 정확함을 알 수 있어, 필름배지에 의한 개인피폭선량을 판독하는데 본 연구방법이 널리 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 결 론

X-선 및 감마선의 에너지에 따른 선질특성과 선량 및 필름의 사진농도와의 관계를 이용한 선량환산식을 실험적으로 체계화 하였다. X-선 및 감마선의 에너지에 따른 선량환산식은 필름배지내의 금속필터에 대한 사진농도값과 필름의 종류에 대해 각각 구했으며, 표준조사를 시킨 필름배지에 적용한 결과 매우 우수한 정확성이 입증되었다.

시간경과에 따른 잠상퇴행 특성을 시험하여 선량환산을 한 결과 30일 보관시 약 15%의 감소가 있음이 확인되었고, 실험결과의 평균치를 초기값으로 나눈 값을 이용하여 잠상퇴행 보정계수를 구하였다. 또한 필름배지 전면에 조사된 선량값을 기준으로 하여 방사선의 입사방향에 따른 방향특성을 조사한 결과, 방향특성곡선을 구할 수 있었고 이에 따른 보정계수를 산출하였다.

본 연구결과를 국내 기술기준에 적용시킨 결과 ANSI의 성능판정기준인 0.5 이하보다 훨씬 적은 0.109로 나타나 매우 우수한 신뢰도를 보였으며 더욱 정밀한 실험을 수행한다면 외국 공인기관의 국제검증에서도 합격할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서 수행한 실험방법과 분석방법은 국내의 판독업체에서 사용하는 고유한 필름배지의 종류, 현상방법 및 판독기기의 종류에 따라 유사한 실험들을 수행하므로써 판독기술의 향상을 시킬 수 있다고 확인한다. 또한 개인피폭선량의 판독기술은 방사선안전관리의 신뢰성 측면에서 매우 중요하며, 더욱 정밀한 기초자료를 구하기 위해서 산·학·연의 긴밀한 협조와 관계기관의 적극적인 노력 그리고 전문 기술인력의 양성이 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. ANSI, *American National Standard for Dosimetry-Personnel Dosimetry Performance-Criteria for Testing*, ANSI N13.11-1993, American National Standards Institute, New York(1983)
2. United States Nuclear Regulatory Commission, *Rules and Regulations, Title 10 Chapter 1, Code of Federal Regulations-Energy, Part 20, Standards for Protection Against Radiation*, 10 CFR 20, USNRC(1988)
3. R. L. Gladhill and J. Horlich, "*The National Personnel radiation Dosimetry Accreditation program*", NISTIR 86-3350, U. S. Department of Commerce, Washington, DC, Jan.(1986)
4. ICRU, *Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources*, ICRU Report 39(Bethesda, MD : International Commission on Radiation Units and Measurements), (1985)
5. 권석근 외 8인, "개인피폭선량 판독에 관한 기술기준", 한국원자력안전기술원(1990)
6. 송명재 외 4인, "열형광선량계에 의한 선량 평가 알고리즘 개발", 대한방사선방어학회지, 17(2), 1-13(1992)
7. "New Personal Monitoring Film with Higher Speed", *News-letter Medical Systems*, AGFA (1989)
8. " $\gamma$  ray and Hard X-ray Film Badge", JIS Z 4302(1990)
9. "Badge Films for  $\gamma$  and Hard X-ray", JIS K 7559(1977)
10. H. Cember, *Introduction to Health Physics, 2nd ed.*, p. 259, Pergamon Press, New York(1983)

## A Study on the Measurement of the Personal Exposure Dose by Film Badge Dosimeter

Woon-Kwan Chung

*Chosun University*

### ABSTRACT

The experimental evaluation of exposure conversion formula using the relationship between optical photo-density, exposure dose and the quality of radiation characteristics of radiation energy to X-ray and  $\gamma$ -rays. The film badge dosimeter is analyzed by exposure conversion formula which evaluate image fading characteristics for development time and directional characteristics for incident beam angle. In conclusion, exposure conversion formula evaluated of this study is satisfied with quality decision criterion of the film badge dosimeter.

*Key words* : Film Badge Dosimeter, Quality of Radiation Characteristics,  
Optical Photo-density, Exposure Conversion Formula, Image Fading