

개인피폭 선량 측정을 위한 필름 배지 선량계의 새로운 알고리즘 개발 및 특성

이병용, 장혜숙, 봉정균*, 권수일*
울산대학교 의과대학, 서울중앙병원 치료방사선과학교실
경기대학교 물리학과*

초 록

목적 : 필름배지를 이용하여 개인 피폭 선량을 측정하는 방법을 개발하고 그 특성을 알아보고자 한다.

재료 및 방법 : 필름으로는 Agfagaevart Personal monitoring 2/10을 사용하였고, 필터로는 구리 0.3mm, 플라스틱 1.5mm, 알루미늄 0.6mm, 주석 0.8mm를 사용하였으며, 필름은 표준기관에서 교정하였다. 사용에너지는 ANSI N13.11 Category III, IV였고, 현상기는 수동현상기를, 농도계는 Xrite 농도계를 사용하였다. H&D 곡선을 선량에 따라 구한 뒤 다항식 전개를 이용하여 선량에 대해 직선성을 갖도록 변환 하였다. 이후 필터와 방사선 에너지 관계를 구하여 선량 및 에너지를 추정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

결 과 : 본 연구에서 개발된 선량 평가 알고리즘은 해당 Category의 전에너지에 대해 30%이내의 정확도를 만족시켜 이 알고리즘이 개인 피폭 선량 측정에 이용될 수 있음을 알았다. Category I, II, V에 대하여 보완한다면 완벽한 선량 평가 알고리즘이 될 것으로 기대된다.

1. 서 론

필름은 TLD와 더불어 가장 흔한 선량계로 사용되고 있다. 필름은 TLD와는 달리 사용후 증거가 남고, 값이싸며, 사용하기에 쉽다는 장점이 있는 반면, 에너지 특성, 온도 의존성 잠상퇴행등 여러 문제가 있다. 특히 필름 배치(batch)에 따르는 차이, 필름 현상 조건의 변화에 따르는 QA가 어렵다는 단점이 있다. 방사선 작업 종사자에 대한 개인 피폭 선량 평가의 정확성과 신뢰도를 높이기 위하여 미국의 ANSI¹⁾, 유럽의 CEC²⁾, ISO³⁾, 일본의 JIS⁴⁾ 등에서 개인 선량계 성능에 대한 시험 기준을 상세히 규정하여 정도관리 목적 및 기술 공인 프로그램에 의한 선량 평가의 검증 방법으로 이용하고 있다.

국내에서도 1992년 개인피폭 선량계의 기술 기준을 과기처고시로 지정하였고⁵⁾ 의료법에서도 개인 피폭 관리에 관심을 두고 있는 등⁶⁾ 관심이 점증되고 있다. 이러한 중요성에도 피폭관리 방사선 관련 산업체에서 방사선 개인 피폭 관리용으로 사용되고 있는 필름배지의 신뢰할 수 있는 선량 평가 기술 및 노하우를 축적하기 위한 연구는 아직도 미진한 상태로, 1995년 김장렬,⁸⁾ 1994년 정운관⁹⁾ 등 소수의 연구 보고가 있을 뿐이다.

본 연구의 목적은 과기처 고시 기준 및 ANSI N13.11의 시험 기준을 토대로하여 필름을 이용한 개인 피폭 관리의 새로운 알고리즘 개발에 있다. 지금까지는 피폭 선량을 측정하는데

있어서 필름의 H&D 곡선이 선형으로 변화하는 부분만을 선량평가에 이용하였던 것은 H&D곡선의 선량에 대해 직선성을 갖도록 다항식으로 전개하여 개인 피폭선량을 측정하는 영역을 넓힐 수 있는 새로운 알고리즘 개발과 가능성을 알아보려고 한다. 이를 토대로 선량평가 기준을 만족시키므로써 선량 평가 결과의 신뢰도를 높이고자 하는데 있다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 사용한 필름은 아그파(Agfa, 일본)사의 personal monitoring 2/10 필름으로 고감도와 저감도 필름인 D-10과 D-2로 구성되어 있다. 필름배지의 필터는 Table 1에 나타낸바 대로 필터 없음, 플라스틱, 구리, 알루미늄, 주석, 카드뮴 등으로 구성되어 있다.

Table 1. filter material thickness

Filter	O.W	Plastic 1	Plastic 2	Plastic 3	Al	Cu	Sn	Cd
Thickness(mm)	No filter	0.5	1.5	3.0	0.6	0.3	0.8	0.8

사용된 방사선에너지는 ANSI N13.11의 Category III, IV (M60, M100, M150, Cs-137)이었으며, 표준기관인 원자력 연구소에서 표준 조사하였고, 4MeV광자선을 서울중앙병원에서 조사하였다.

방사선 조사시 사용한 팬텀은 ANSI N13.11에서 권장하고 있는 판형의 PMMA(poly-methylmethacrylate)를 30×30×15cm³로 사용하였다. 팬텀위에 고감도 필름과 저감도 필름을 넣은 필름 배지를 4매씩 장착하여 동시 조사하였으며, 매조사시 방사선을 조사하지 않은 control 필름 한 조를 방사선을 조사하는 필름과 동일한 환경에 놓아 fog에 대해 고려하였다.

방사선조사 환경은 주위 온도 20℃이다. 기준 측정기로는 표준기관인 원자력연구소에서 조사할 때는 Shonka-wyckoff 전리함과 Keithley 35617 Electrometer를 사용하였다. 선량의 오차한계는 ±5%이다. 4MeV 광자선의 교정은 Farmer type 전리함과 Keithley 35617 Electrometer를 사용하였다.

조사된 필름은 3~7일 이내에 X-dol 현상제와 X-fix 정착제로 현상, 정착하였다. 현상기는 수동 현상기를 사용하였고, 20℃의 온도를 유지시키면서 5분간 현상기에 담겨 필름을 현상하였다. 정착은 정착제로 20분간 정착한 후 1시간동안 수세를 하고 건조시켰다. 농도계로는 X-rite densitometer를 사용하였다.

선량과 농도의 관계는 직선이 아니며 특히 고선량 부분에서 심한 포화 현상이 생기게 된다. 따라서 필름을 선량계로 이용하고자 할 때 이 곡선을 이용할 수 있는 범위가 제한되게 된다. 본 연구에서는 다항식 변환 방법으로 Fig. 1과 같이 곡선을 직선으로 1:1 변환시킴으로서 선량 평가 영역을 늘림은 물론이고, 에너지 평가의 filter에 대한 특성을 최대한 살릴 수 있도록 하였다. H&D curve의 포화되는 부분을 직선으로 전환시키기 위하여 최소자승법을 이용하였고, 고감도와 저감도에 맞는 다항식의 변수들의 값을 구하였다.

직선으로 전환된 H&D curve로부터 선량을 환산하였다. 그리고 변환된 H&D curve에서 필터가 없는 곳의 농도와 각 필터들의 농도의 비율을 구하여 에너지를 판별하는데 사용하였다.

3. 결 과

Cs-137 기준 감마선에 대하여 실험조사 한 결과를 Fig 1에 나타내었다. 직선 변환 전에는 저선량 부분에서 직선으로 보이지만, 고선량 부분에서는 포화 상태가 나타났다. 고감도와 저감도에 대해 각각 직선으로 전화하는 다항식을 최소자승법에 의해서 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

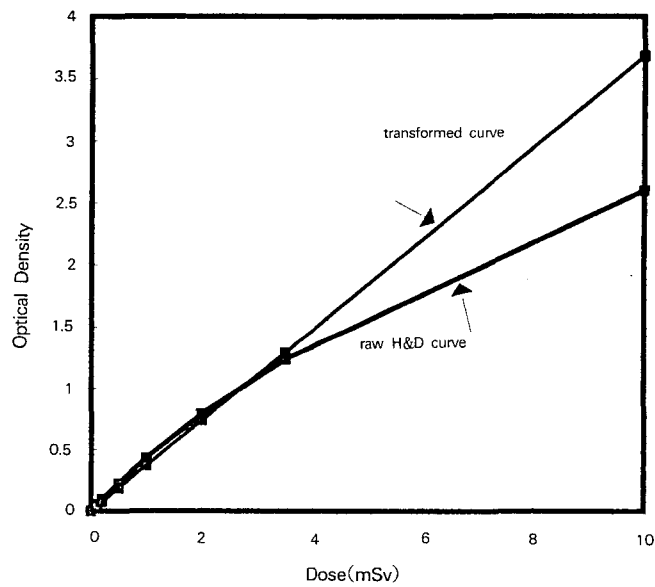


Figure 1. Transformation of H&D curve to liner shape by polynomial fitting for Cs-137

고감도 필름

$$O.D_{transform} = 0.6905x + 0.3808x^2 - 0.0930x^3 + 0.0224x^4 - 0.0008x^5 \quad (1)$$

저감도 필름

$$O.D_{transform} = -0.0086x + 0.9443x - 0.0895x^2 + 0.0192x^3 \quad (2)$$

선량의 평가는 직선으로 변환된 각각의 필터들의 농도를 갖고 고감도와 저감도에 대해 심부선량과 피부선량을 구하였다. 계수를 각각 구하여 선량을 환산할 수 있었다.

$$Dose = b_1O + b_2P/2 + b_3Al + b_4Cu + b_5 \cdot \frac{Al \cdot Cu}{O \cdot W} + b_6 \cdot \frac{Sn \cdot Cu}{o \cdot w} \quad (4)$$

Table 2,3은 4식에 의하여 계산된 선량과 그 오차를 보여주고 있다.

개인피폭 선량 측정을 위한 필름 배지 선량계의 새로운 알고리즘 개발 및 특성

Table 2. Irradiated dose vs evaluated dose new algorithm for deep dose

High speed film			Low speed film		
Irradiated(mSv)	Evaluated(mSv)	Error(%)	Irradiated(mSv)	Evaluated(mSv)	Error(%)
M60 0.82	0.78	5.2	M60 10.7	9.90	7.5
M100 1.03	1.01	1.3	M100 16.5	21.20	28.5
M150 1.08	1.21	12.4	M150 19.2	23.46	22.2
H150 1.06	1.07	0.3	H150 18.0	12.75	29.2
Cs-137 0.2	0.24	18.6	Cs-137 12.1	13.20	9.1
0.5	0.64	28.1	18.15	18.51	2.0
1	1.28	28.3	24.2	29.24	20.8
2	2.53	26.5	121	115.55	4.5
3.5	4.46	27.4	363	335.72	7.5
			1210	1098.98	9.2

Table 3. Irradiated dose vs evaluated dose using new algorithm for skin dose

High speed film			Low speed film		
Irradiated(mSv)	Evaluated(mSv)	Error(%)	Irradiated(mSv)	Evaluated(mSv)	Error(%)
M60 1	0.85	14.5	M60 10	7.43	25.7
M100 1	1.00	0.5	M100 10	12.10	21.0
M150 1	1.11	11.3	M150 10	12.53	25.3
H150 1	1.00	4.0	100	103.15	28.3
Cs-137 0.2	0.23	14.3	H150 10	7.17	4.4
0.5	0.62	23.5	Cs-137 10	9.56	10.3
1	1.24	23.8	15	13.46	6.6
2	2.44	21.9	20	21.33	16.3
3.5	4.30	22.8	100	243.40	20.3
			300	243.40	20.3
			100	79.7.03	

직선으로 전환된 흑화도를 이용하여 선량과 에너지를 독립적으로 구하였는데, 이는 선량평가가 에너지에 따르는 의존성을 갖을 때 있을 수 있는 오차를 줄이기 위함이다. 에너지 판별은 Table 4에서 할 수 있다.

Table 4. Energy evaluation method using filtered optic density

Energy	Ratio
High Energy	Sn/O.W>0.6
H150	Cu/O.W>0.5, Sn/O.W<0.6
M150	Cu/O.W 0.5~0.35
M100	Cu/O.W 0.3~0.2
M 60	Cu/O.W<0.15,Al/O.W>0.6

4. 결 론

본 연구에서 X-선 및 감마선의 에너지에 따른 선량과 필름의 농도의 관계를 이용하여

선량 환산식에 대한 새로운 알고리즘을 개발하였다. 개발된 선량 평가 알고리즘은 AN SIN13.11, Category III에 25%, Category IV에 15% 이내의 오차를 보여서 요구하는 기준을 만족시켰다. 그리고 과기처 고시 기준의 성능 평가를 만족시켜 개인 피폭 선량 측정에 이용할 수 있었다. 선량과 에너지를 독립적으로 구하여 측정시 생길 수 있는 오차를 줄일 수 있었으며, Category, II, I, V에 대해 보완한다면, 완벽한 선량평가 알고리즘이 될 것으로 기대된다.

5. 참 고 문 헌

1. ANSI, American National Standard for Dosimetry - Personal Dosimetry Performance-Criteria Testing, ANSI N13.11, 1993.
2. CEC, Technical Recommendation for monitoring the exposure of individuals to external radiation, Luxemburg, CEC, EUR 5287, 1975
3. International Organization for Standardization, standards for personal photographic dosimeters, ISO 1757, 1971
4. 日本工業規格, X선용 Film Badge, JIS Z 4301, 1990.
5. 과학기술처, 개인피폭선량 판독에 관한 기술기준, 과학기술처 고시 제 92-15, 1992.
6. 보건복지부, 진단용방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙, 보건복지부령 제 95-3호, 1995.
7. 김장렬, 장시영, 이재기, ISO 표준방사선장을 이용한 필름배지의 선량평가 알고리즘 개발, 방사선방어학회지, 20(1), 37-44, 1995.
8. 정운관, 필름배지 선량계의 개인피폭선량 측정에 관한 연구, 방사선 방어학회지 19(1), 37-50. 1994

The Development and Its Characteristics of New Film Dosimetry Algorithm for Personal Dosimetry

Byong Yong Yi, Hye Sook Chang, Jung Kyun Bong*, and Soo Il Kwon*

Univ. of Ulsan, College of Medicine, Asan Medical Center

Dept. of Radiation Oncology Univ. of Kyunggi, Dept. of Physics*

Abstract

Purpose : We have developed new film dosimetry algorithm for personal dosimetry and examined its characteristics.

Materials and methods : Agfaevart personal monitoring 2/10 films are used. Films which are in the film badges filtered with Cu 0.3mm, plastic 1.5mm, Aluminum 0.6mm and tin 0.8mm, were exposed by standard dosimetry laboratory. Irradiated energy categories are ANSI N13.11 Category III, and IV. Manual type film processor and X-rite film densitometer was used. Filtered densities to energy relations and does to transformed densities relations can be obtained after transformation of H&D curves to linear shape by polynomial fitting.

Results : Personal dose be determined within 25% error for category III and 15% for category IV. And we are able to evaluate the exposed energy.

Conclusion : New algorithm developed in this study is good for personal dosimetry within 30% error range for category III and IV. It is expected to be complete personal dosimetry algorithm with further study for category, I, D and II V.

Key Words : Personal Dosimetry, Film Dosimetry