

상용 의학용 X-ray 필름의 특성곡선

허 훈, 정연태, 이재성

부경대학교 공과대학 화상정보공학부

(2001년 1월 20일 접수, 2001년 2월 27일 최종 수정본 접수)

The Characteristic Curves of Commercial Medical X-ray Films

Hoon Heo, Yeon-Tae Jeong, Jae-Sung Lee

Division of Image & Information, College of Engineering,

Pukyong National University

(Received 20 January 2001, in final form 27 February 2001)

Abstract

For the purpose of determining characteristics of widely used commercial medical x-ray films, which are used for obtaining the Linac-grams for radiational treatment of cancers, we placed several commercial x-ray films at a fixed distance from the linear accelerator. After varying the exposed amount of radiation step by step, we could obtain a continually increasing density image for each film whose densities were determined by microdensitometer readings. The characteristic curves of the films were obtained by plotting the densities vs. the exposed radiation amounts, and their γ values were determined. These values can be used to suggest a minimum necessary amount of exposed radiation to get a useful Linac-gram. The measured γ values of the characteristic curves of the Kodak-DVP/RA-1 film were 1.73 when used 6MV x-ray, 1.70 when used 15MV of intensity. For the Konica-AX film, γ values were 1.29 and 1.18 respectively. The result suggests that the effective conditions for high resolution of a L-gram be 6 MV of x-ray intensity and about 3 rad of exposed dose on a Kodak-DVP/RA-1 film.

I. 서론

사진을 빛의 예술이라고 한다면 방사선 사진은 Roentgen 선의 의학적 종합예술이다. 최근 수년 간, 방사선사진 과학분야는 눈부신 과학 및 의학기술의 발전과 함께 많은 변화를 거듭해 왔다. 방사선사진이 임상의학에서 진료의 중심이 되고 있는 것은 X-선 사진 위주의 진료에서 한 걸음 더 나아가 더욱 정도 높은 진료정보를 획득할 수 있는 MRI(Magnetic Resonance Imaging), CT(Computed Tomography), 초음파(Ultrasonic wave), DR(Digital Radiography) 시스템 등의 발견과 도입에 의해 진료의 객관적 신속도가 높아진 결과이다. 이러한 특수장비의 발전과 더불어 보다 효율적인 진단 및 치료의 효과를 극대화시키기 위해서는 이에 수반하는 방사선사진이 인체 내부의 형태적, 생리적 기능현상을 충실히 재현시키기는 것이 필요하며 이것은 올바른 검사법에 따른 X-선 필름과 screen, contrast media 등의 특성이 유지되고 현상처리 시스템의 성능관리가 동시에 이루어져야만 가능하다. 아무리 고감도 감재라 하더라도 X-선 필름의 현상시간을 줄이고, 환자의 피폭을 줄이는 것이 반드시 고려되어야 한다. 이러한 방사선 진단장치들의 발전은 동시에 방사선 치료장치에도 많은 영향을 주게 되는 계기가 되어, 초창기의 의료용 치료장치(Cockroft Walton generators, Marx generators, resonant transformers-Resotrons⁽¹⁾, Van de Graaffs⁽²⁾, Dynamitrons)에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 선형가속장치(linear accelerator⁽³⁾⁻⁽⁵⁾, Linac)까지 많은 발전을 하고 있다.

암 치료요법 중 국소 요법으로서의 위상이 확립된 방사선요법은, '암에는 충분한 선량을 조사하고, 그 외 정상조직에는 될 수 있는 한 조사되지 않도록 한다'라는 원칙이 있다. 이 원칙을 충실히 이행하기 위해서 방사선 치료기술은 저에너지에서 고에너지로 X선에서 중입자 선으로 2차원에서 3차원으로 수동에서 자동으로 점차적으로 발전되어 왔으며, 한정된 범위 내에서 정밀도가 높은 치료를 시행하고 있다. 방사선 치료에 있어서 무엇보다 중요한 것은 치료받는 환자의 자세 재현성이다. 설계를 아무리 정확하게 했다고 하더라도 치료실에서의 재현성이 좋지 못하다면 치료의 좋은 효과를 보기가 어렵다. 그래서 방사선 치료에 있어서는 치료 중에 환자의 자세를 유지시키면서 치료를 받는 부위에 X-선 필름으로 치료부위의 정확성을 파악하기 위한 촬영을 시행한다. 아직까지 치료장치에는 치료부위를 확인하기 위한 다른 장치가 없고, 환자의 몸을 투과한 X선을 필름으로 받아서 그 상을 확인하는 방법인 조사야 확인 촬영(Linac-gram⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾ 또는 L-gram)이 가장 기본적이며 보편적인 방법으로 사용되고 있으며, L-gram을 촬영할 때의 X-선은 치료 중에 이용되는 X-선량과 치료부위와는 별개의 것이기에 가능한 한 L-gram을 촬영하는데 사용하는 에너지와 촬영부위의 크기는 작아야 좋다.

본 연구에서는 방사선 치료에 이용되는 고에너지 발생장치인 선형가속장치(CL 1800,

Varian Co. USA)로 산출되는 6MV, 15MV X-선으로부터 일정한 거리에 필름을 위치하고, 여러 가지 다른 종류의 X-선 필름(일반촬영용 X-선 필름^{(10),(11)}, 유방촬영용 X-선 필름⁽¹²⁾, 초음파용 필름, laser 필름)에 조사한 후 얻어진 상의 농도와 조사량과의 관계를 이용해 특성곡선⁽¹³⁾을 구하여 각 필름의 특성에 관하여 알아봄으로써 원하는 상의 질을 유지하면서, 최대한 적은 양의 X-선으로 L-gram을 촬영할 수 있는 방법을 제시해서 환자에게 불필요한 X-선에 대한 노출을 줄일 수 있게 하려는 목적으로 수행되었다.

II. 실험

2-1. 실험기자재 및 재료

본 실험에서는 고에너지 X-선 발생장치로 선형가속장치(CL1800, Varian Co, USA)를 사용하였으며 저에너지 X-선의 이용을 위해서는 설계장치(Ximatron, Varian Co, USA)를 사용하였다. 실험에 사용한 필름으로는 일반촬영용 X-선 필름(Kodak-DUP/RA-1, Konica-AX: 14×17, 11×14 inch)과 유방촬영용 X-선 필름(Kodak-MIN: 8×10 inch), 초음파 필름(Kodak-EM: 10×12 inch) 그리고 PL type cassette(고에너지: 납증감지, 저에너지: 형광증감지)를 사용하였다.

2-2. 실험 방법

X-선 필름의 특성곡선 작성방법에는 시간스케일법과 강도스케일법⁽¹⁴⁾이 있는데 가장 일반적으로 시행하는 강도스케일법은 알루미늄(Al) 성분으로 된 계단을 이용하지만, 고에너지에 적당한 알루미늄 계단이 없는 관계로, 본 실험에서는 시간스케일법을 사용하였다. 그 방법으로는 선형가속장치의 target 부분에서 100 cm 되는 위치에 필름을 놓고, 그 위에 에너지에 따라 최대선량(build-up)을 이루는 깊이 만큼의 아크릴 팬텀(phantom : 1.5 cm)을 올려서 필름 사이의 일정한 간격(1 cm)을 두고서 1 rad씩 에너지를 증가시켰고 동일하게 납(Pb) 성분이 포함된 증감지를 사용하였다.

한 장의 필름에 다양한 조사량을 주기 위하여 각 조사단계마다 팬텀을 변화시켜 필름의 각 부분에 조사되는 x-선량을 조절하였는데 이의 실험을 위하여 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 두 가지 모양의 조사모양을 사용하였다. 앞에 보이는 가운데를 중심으로 한 사각형 조사 모양에서는 바깥 부분부터 시작하여 최소단위인 1 rad에서부터 가운데로 갈수록 1 rad씩 증가시켜 대략 20단계 정도까지 조사량을 변화시켰고, 뒤의 막대그래프 모양에서는 중앙에서부터 시작하여 양옆으로 갈수록 조사량을 증가시켜 30 rad 이상까지 관찰할 수 있게 하였다. 두 가지 경우 모두 대략 10단계가 넘어가면 각 경계부분의 세심한 관찰이 필요했다.

Table 1. Experimental conditions of the X-ray films

	1	2	3	4
Phantom	1.5cm	3cm	1.5cm	N/A
Energy (X-ray)	6MV	15MV	6MV	40KVP, 10mA, 0.1sec 22KVP, 8mAs
Development	Auto development(Konica, QX-130I): develop·fix·wash temp. 32℃, dry temp. 45℃			

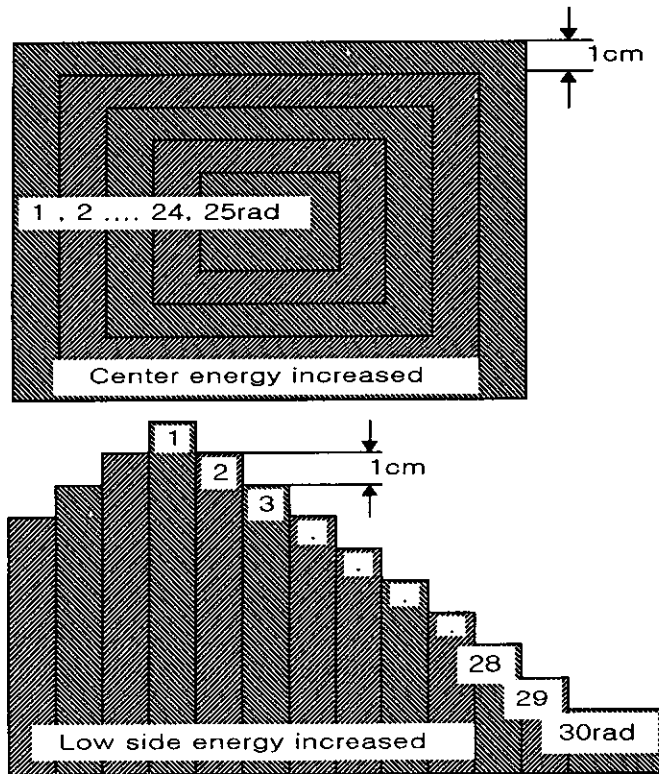


Fig. 1. Exposed shapes of the X-ray film.

2-3. 실험조건 및 측정

본 연구에 이용된 선형가속장치(CL 1800, Varian Co. USA 1991)의 촬영 조건은 사용한

X-선의 에너지와 필름에 따라 변화시켰는데 이러한 조건들은 Table 1에 정리되어있다. 표에 나타나 있는 1번과 2번 조건은 일반촬영용 X-선 필름(Kodak-DUP/RA-1, Konica-AX)에 대하여 조사에너지 강도가 각각 6 MV와 15 MV일 경우이며, 3번과 4번은 초음파용 필름(Kodak-EM) 및 유방촬영용 필름(Kodak-MIN)에 대한 것인데 각각 6 MV의 고에너지인 경우와 40 kVP의 저에너지인 경우를 나타낸다.

필름 현상후 얻어진 각 단계마다의 농도는 미소농도계(microdensitometer)를 이용하여 측정하였다. 농도 측정시 처음의 몇 단계는 쉽게 구분이 가능 하지만 조사량이 증가함에 따라서 각 단계마다의 경계구분이 어렵기 때문에 이의 방지를 위하여 양쪽의 끝 부분에 직선을 그어서 각 단계마다의 경계를 구분하였다. Fig. 1에 있는 필름 조사야 모양 중 첫 번째 것은 14×17inch(35×43cm)의 크기에 있어서 양쪽으로 1 cm씩 조사야를 확대하면 대략 20단계 정도밖에는 가능하지 않기 때문에 보다 많은 단계의 결과가 필요할 경우에는 두 번째 조사야의 모양을 사용하였다.

일반적인 X-선 필름의 fog 농도는 0.03-0.04정도이고, 필름 base의 농도는 0.11-0.13정도라고 알려져 있지만, 실질적으로 X-선을 조사하지 않은 필름의 농도를 측정하였을 때, 위의 값보다 더 높은 값이 나왔는데, 이것은 자동 현상기(QX-130II, Konica 1992) 현상액의 신선도, 현상 온도 그리고 전체적인 현상시간(120초) 등의 원인 때문이라고 판단되지만 본 실험에서는 자동현상기를 사용하였기 때문에 이러한 현상조건외의 완벽한 조절은 불가능하였다. 다만 Kodak의 자동현상기용 현상액을 사용하고 현상시간을 비교적 단축시킨 뒤, 현상 온도를 28℃, 건조온도를 40℃로 하였을 때 0.15의 fog + 필름 base 농도를 얻을 수 있었으며 이에 따라 모든 현상은 이러한 조건하에서 행하였다.

III. 결과 및 고찰

Table 2는 각 필름에 대하여 조사 및 현상 후에 얻은 농도를 조사량에 대하여 그림을 그려 얻은 특성곡선(Figs. 2-5)으로부터 결정한 수치들로 각각의 경우에 rad 단위를 사용해 표시한 조사량이다. 각 조사단계마다 1 rad씩 변화시켰으므로 이러한 숫자들은 조사단계라고 해석해도 좋다. 일반적인 X-선 필름의 특성곡선 실험에 있어서는 10단계로 만들어진 알루미늄 성분의 계단을 이용해서 X-선을 한번만 조사하는 강도스케일법을 사용하지만 (Fuji의 예: X-ray sensitometry 80kVp. 0.1sec. 100mm H₂O phantom, FPM4200, RD-3, 35℃(90sec) , Konica의 예: Konica QX-400, X-ray sensitometry 90KV. H₂O phantom 150mm, Konica KM screen, XD-90. 35℃, 90sec), 본 실험에서는 시간스케일법으로 실험하였다. 가장 일반적으로 사용되고 있는 일반촬영용 X-선 필름(양면 도포- Kodak, Konica)에 선형 가속기의 6 MV, 15 MV X-선을 조사하여 얻어진 특성곡선을 통하여

아래와 같은 내용들을 알 수 있었다.

Table 2. Results of the characteristic curves

Characteristic curves	Fig 2	Fig 3	Fig 4	Fig 5
Threshold	1	1	1	1~3 (1~5)
Toe	1~2	~	1~7 (1~3)	3~10 (5~13)
Straight line	2~7 (2~9)	1~4 (1~8)	7~11 (3~6)	10~19 (13~21)
Shoulder	7~30 (9~30)	4~30 (8~30)	11~30 (6~30)	19~24
Reversal	x	x	x	24~25 (21~23)
Gamma values	1.73 (1.29)	1.70 (1.18)	1.21 (0.76)	2.53 (3.00)
* Figs. 2-3; Kodak general X-ray film, () is for Konica general X-ray film Figs. 4-5; Kodak ultra-sonographic film, () is for Kodak mammography X-ray film				

감재의 대조도(gradation or gradient)를 결정하는 γ -value는 Kodak 제품이 Konica 제품보다 크게 나타났다. 전반적으로 고에너지 방사선은 일반적인 특성곡선의 발부분(Toe)이 잘 나타나지 않고 1 rad의 에너지에서부터 직선부(Straight line)가 바로 형성되고 있다. 이에 따라 그래프의 곡선들이 전반적으로 S자형이라기보다는 직선에 가깝게 나타났으며, 현상액의 노후도가 작을 경우 차이가 컸다.(Fig 3의 Konica-현상액 교체후 바로 현상)

Fig. 4는 유방촬영용 X-선 필름과 초음파용 필름을 앞에서 사용한 일반촬영용 필름과 동일한 방법으로 실험을 하고 얻어진 결과로 유방촬영용 X-선 필름은 전용 장치인 진단 장치에 적합한 것이지만 고에너지인 치료용에도 이용할 수 있다. 초음파용 필름의 경우에는 방사선 발생장치로 상을 만드는 것이 아니지만 일반적인 필름과 비슷한 농도를 얻을 수 있었다.

Fig. 6에는 일반촬영용 X-선 필름중 Kodak사 제품에 대한 것으로 6 MV X-선의 특성 곡선을 예로 들어 표시하였다. 그 결과를 보면 fog 농도와 film base 농도를 더한 농도

(1)는 0.15이며, Toe부(2)는 1-2 rad, 직선부(3)는 2-7 rad, Shoulder부(4)는 7-30 rad, γ 값(5)은 1.73, Exposure Latitude range(6)는 2-7 rad, 전체 농도 영역(7)은 1.14-2.08 (2-7 rad) 정도이며, D-max(8) 값은 그림에서 최대 농도점인 30 rad(2.52)에 임의적인 선을 그어 표시했지만 반전(reversal) 부분이 없고 농도가 계속해서 증가하고 있으므로 올바른 D-max 점을 표시 할 수 없었다. 이러한 결과에서 알 수 있듯이 고에너지(6MV X-선)에서는 최소선량인 1 rad에서의 농도 값이 0.73(Kodak), 0.79(Konica)로 fog농도와 필름 base의 농도를 합한 0.15보다 훨씬 높은 농도 값이 얻어지므로 threshold가 1 rad 보다 아래에서 이루어질 것으로 여겨지며 반전부분은 30 rad 정도에서까지도 생기지 않았다.

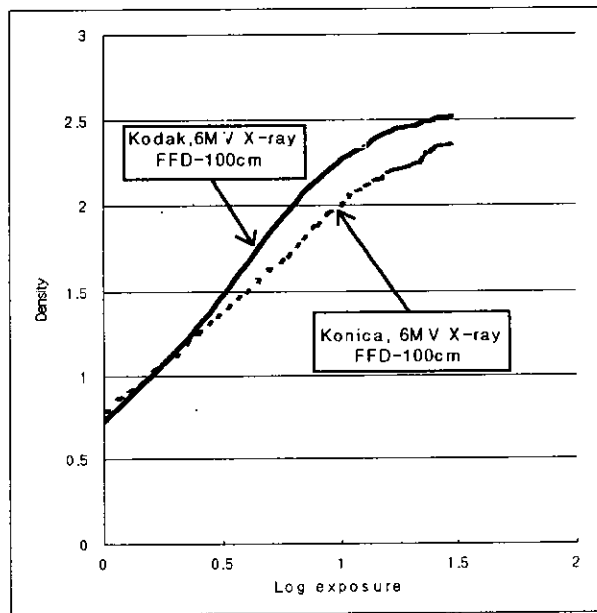


Fig. 2. Characteristic curves of the general X-ray films for 6 MV X-ray.

The unit for x-axis(exposure) is rad. The same unit is used on following graphs.

Fig 5는 저에너지를 사용하여 얻어진 결과를 보여주고 있는데 이것은 고에너지와의 γ -value를 서로 비교하기 위해서 수행하였다. 이 결과는 0.15의 fog 농도+필름 base 농도 값과 threshold값, toe부, 직선부, shoulder부 및 반전부를 포함하는 전형적인 S자 모양을 보여주며 γ 값은 1.88, 농도범위는 0.61~1.23, maximum density range는 0.15~1.48 등의 값을 나타내었다. 이로부터 x-ray 필름도 고에너지 방사선이 아닌 에너지가 작은 양으로 조사하면 일반적인 필름의 특성이 나타나며 치료용으로 사용하는 고에너지의 값은 threshold보다 훨씬 높은 농도 값의 범위에 속한다는 것을 확인할 수 있었다.

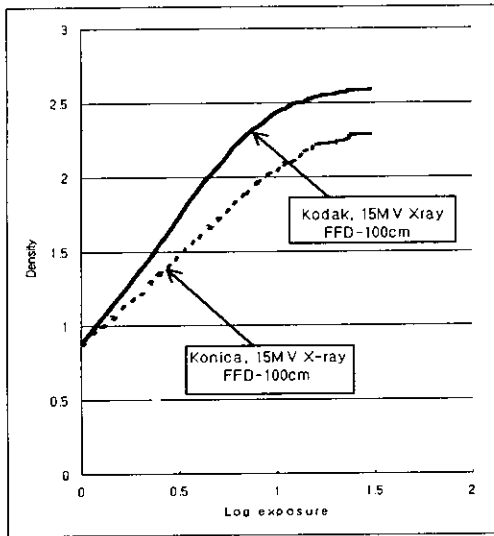


Fig. 3. Characteristic curves of the general X-ray films for 15 MV X-ray.

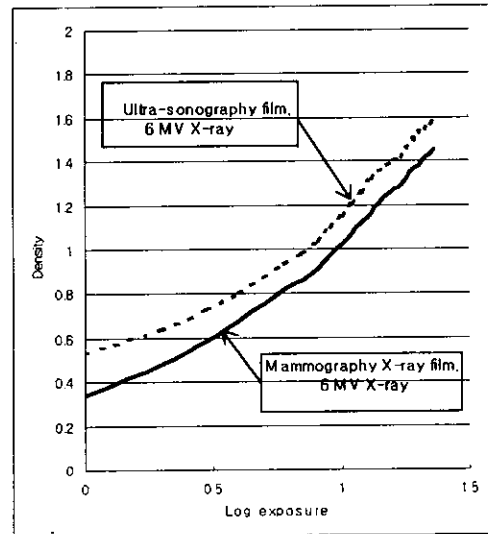


Fig. 4. Characteristic curves of the ultra-sonographic X-ray films for 6MV X-ray (FFD-100cm).

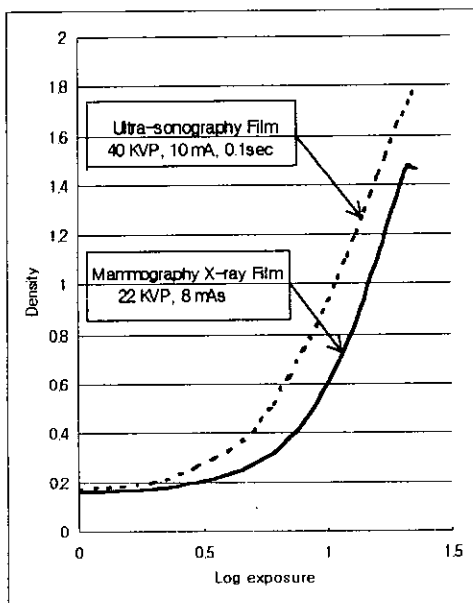


Fig. 5. Characteristic curves of the ultra-sonographic and mammographic X-ray films for the low energy X-ray (FFD-100cm).

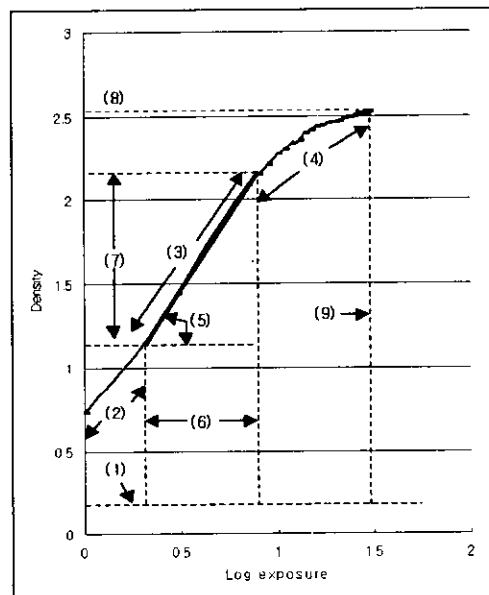


Fig. 6. Analysis on the characteristic curve of the Kodak general X-ray film for 6MV X-ray(FFD-100cm).

Ⅳ. 결 론

이상의 결과들로 알 수 있는 바와 같이 몇 rad 정도의 X-선으로 대조도가 큰 사진을 얻기 위해서는 Konica 제품보다는 Kodak 제품이 L-gram 용으로 적당하다고 볼 수 있다. 특성곡선 상의 6 MV X-선과 15 MV X-선에서 γ 값의 차이는 작으므로 환자의 피폭에 관한 측면에서 에너지가 낮은 6 MV X-선이 15MV X-선 보다 적당하리라 판단된다. 또한 L-gram 촬영은 최소한의 선량으로 최대한의 효과를 볼 수 있는 것이 제일 중요하며 1 rad의 조사에 해당되는 농도 값이 이미 특성곡선의 직선부에 있다는 결과로부터 보통의 임상에서는 6 MV X-선을 2-3 rad 정도로 사용하고, 자동현상기의 현상액이 신선할 경우는 1 rad 정도의 에너지로 줄여도 필름의 현상과 상의 관찰에는 큰 문제가 되지 않을 것이다.

이상의 실험에서 알 수 있는 바와 같이 일반촬영용 X-선 필름의 진단 장치의 경우에는 수십 kV의 에너지만으로도 촬영에 충분하지만 치료용의 장치에 있어서는 최소단위가 수 MV이기 때문에 촬영용으로는 적당한 장치가 아니지만, 환자의 피폭을 줄인다는 차원에서 장치의 개발단계에서부터 치료장치에 진단장치를 결합하는 방법을 연구하는 것이 필요하다고 여겨진다.

참고문헌

- (1) E. E. Charlton, W. F. Wetendrop, L. E. Depster and G. Hotaling, *J. Appl. Phys.*, **10**, 374-385 (1939).
- (2) D. W. Kerst, *Phys. Rev.*, **60**, 47-53 (1941).
- (3) E. L. Ginton, W. W. Hansen and W. R. Kennedy, *Sci. Instr. Rev.*, **19**, 89-108 (1948).
- (4) L. M. Zata, C. F. Essen and H. S. Kaplan, *Clinical experience ; 10 to 40 MeV Radiology*, **77**, 928-939 (1961).
- (5) R. H. Varian and S. H. Varian, *J. Appl. Phys.*, **10**, 321-327 (1939).
- (6) J. Rosenam, C. A. Ror, R. Cromartie, K. E. Muller and S. M. Pizer, *Int. J. radiat. Oncology Biol. Phys.*, **2**, 333-338 (1973).
- (7) R. W. Bhardt, J. D. Cox, A. Hornburg and G. Liermann, *Int. J. Radiat. Oncology Biol. Phys.*, **4**, 881-887 (1978).
- (8) 최병돈, 이제희, 박진홍, 박홍득, *대한방사선치료기술학회지*, **9**, 18-24 (1997).

- (9) 조정근, 박영환, 주상규, 김영곤, 조현상, *대한방사선치료기술학회지*, 9, 25-28 (1997).
- (10) Eastman Kodak Company, "The fundamental of radiography", Kodak Publication 18, 36-47, (1988).
- (11) Fuji Photo Film Company, "Fuji medical X-ray film SUPER HR series" (1993).
- (12) Konica Corporation, "Konica medical film".
- (13) 오제웅, "사진공학", 청문각, 188-190 (1991).
- (14) 허 준, "X-선기술원론", 고문사, 217-220 (1984).