大韓放射線醫學會誌 Vol. XV, No. 1, 1979

필름에 의한 고에너지 전자선의 에너지 측정

서울대학교 의과대학 방사선과학교실

강 위 생

—Abstract—

Measurement of the Energy of High-Energy Electron Beam with Rapid-Processed Film

Wee Saing Kang

Department of Radiology, Seoul National University College of Medicine

Raedy packed, rapid-processable film exposed within a polystyrene phantom affords a rapid, simple and accurate method of determining electron beam energy from the range-energy relationship. For accelerators where there may be instability during the early portion of exposure, the use of the slow RP/V film is preferable because most the film exposure, the use of the produced under stable operating conditions. A particular advantage of the method is that the amount of time required is in the order of typical treatment time.

1. 서 론

여러 가지 이유에서 전자선의 에너지를 알아야 한다. 이온화 체임버를 이용하여 물에 흡수되는 전자선의 흡수선량을 측정할 때 R－rad(뢴트겐－라드)변환계수 C_E가 적용되어야 하며 이 값은 에너지의 크기에 좌우된다.[1][2][3] 더우기 전자 가속기를 인수할 때 조정란에 주어진 전자선의 에너지를 시험해야 한다. 초기검사를 하고 난 뒤에도 에너지를 정기적으로 검사하여야 하며, 또 기계나 에너지에 영향을 줄 수 있는부분에 변화가 있을 때에는 언제나 필수적으로 전자선의 에너지를 검사하여야 한다.

2. 측 정 방 법

필자는 이미 낱개로 포장되어 있는 두 가지의 다른 신속하게 현상되는 필름(Kodak RP/V와 Kodak RP/M)을 이용하였다. 다른 회사에서 생산되는 다른 필름이 이용될 수도 있지만 여기서는 조사되지 않을것이다. RP/M필름은 약 12 rad의 흡수선량이 주어질 때 광밀도가 2.5가 될 정도로 꽤 감도가 민감하며RP/V 필름은 약 110 rad의 선량을 흡수해야 광밀도가 2.5가 될 정도로 감도가 둔감하다. 흡수선량과 광밀도의 관계는 그림 1. 에 보여진다. 전자선이 방출되는 시초에 불안정성이 있을 수 있는 가속기에 대하여 필름이 받게 되는 조사선량의 대부분이 안정된 작동조건 아래서 필름에 주어질 수 있기 때문에 감도가 낮은RP

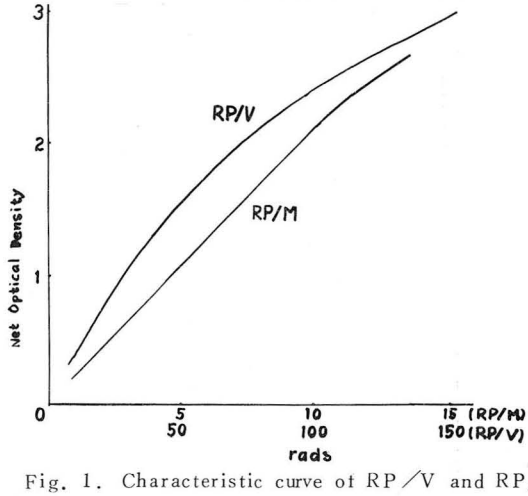

Fig. 1. Characteristic curve of RP/V and RP/M films exposed to high- energy electrons.

/V 필름이 선택되었다.

필름은 폴리스티렌 팬톰에 끼워져서 전자선에 조사된다. 폴리스티렌 팬톰이 이용되는 주요 이유는 필름이 반듯하게 펴져야 하기 때문이다. 필름 봉투에 남아있는 공기를 빼내기 위해서 봉투의 모서리에 구멍을 낸다.

필름의 가장자리가 전자선이 들어 가는 팬톰의 표면에 오도록 필름이 팬톰에 끼워진다. 필름의 가장자리는 손가락 끝으로 포장지를 통하여 감지할 수 있다. 이렇게 하는 데는 다음 두 가지 이유가 있다. (1)필름을 분석할 때에 팬톰의 표면에서 측정하는 점의 깊이는 필름의 가장자리에서 그 점까지 거리와 같다. (2) Dutreix와 Dutreix[4]에 의하여 지적된 것처럼 필름의 가장자리가 팬톰의 표면에 있게 될 때 필름봉투 덮개가 팬톰밖으로 약간 나온다. 이 덮개는 한 쪽으로 접어 테이프로 단단히 고착시킨다. 필름을 끼운 팬톰의 모양은 그림 2. 와 같다.

조사과정은 다음과 같다. 전자선의 중심축이 필름의 가장자리가 포함된 팬톰의 표면과 수직이 되도록 팬톰을 테이블위에 두고 갠트리의 위치를 정한다. 또 전자선원의 대칭축이 필름의 면 위에 있게 하고 팬톰의 표면이 전자콘의 아래 끝에 닿도록 한다. (LMR−13*은 타겟으로부터 콘의 아래 끝까지의 거리가 90 *cm* 이며 이 거리가 LMR−13에 대한 전자선의 표준치료거리이다) 조사면의 크기는 팬톰의 표면에서 직경이 10 *cm* 인 원이다. RP／V 필름에 나타나는 최대의 광밀도가 약 2.5가 될 정도로 전자선이 조사된다. 그 다음 암실에서 필름 봉투를 벗기고 자동현상기를 이용하여 현상한다.

필름을 현상한 다음 현상된 필름에 나타나는 전자선에 의하여 흑화된 부분의 대칭선상에서 5*mm*정도 거리

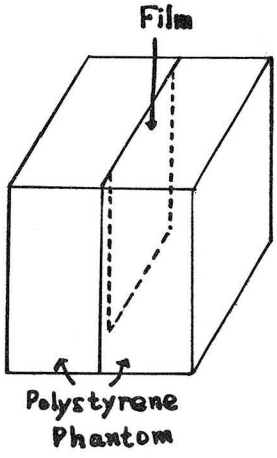

Fig. 2. Diagram of polystyrene phantom with film.

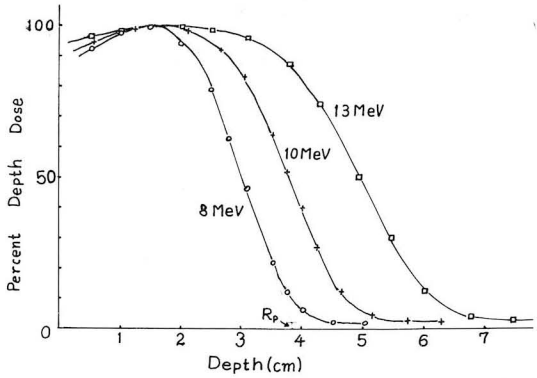

Fig. 3. Central axis depth dose curve resulting from rapid−processed film.

를 두고 필름의 가장자리에 수직인 직선을 연필로 긋는다. 이 줄은 대칭선상의 광밀도를 읽을 때 필름을 평행하게 움직일 수 있도록 해 준다. 이용한 아이소덴시토미터는 1*mm* 직경의 라이트 스포트를 가지고 있는데 라이트 스포트에서 5*mm*가량 거리를 두고 정확한 자를 부친다. 이 자는 필름의 이동 거리를 읽을 수 있어서 광밀도를 읽고 있는 점의 깊이를 쉽게 구할 수 있게 해 준다. 또 필름을 평행이동시키는데도 이용된다. 이와 같이 하여 전자선의 대칭선상에서 팬톰의 깊이에 따라 광밀도를 읽게 된다. 그러나 읽혀진 것들은 필름을 포함한 총광밀도여서 직접 이용되지 않는다. 어떠한 방사선이나 빛에 노출되지 않은 필름을 현상하여 광밀도를 읽는다. 이것이 필름 베이스의 광밀도이다. 총광밀도에서 베이스의 광밀도를 뺀 값이 순수한 광밀도이다. 그것이 흡수선량에 직접 관계가 있는 광밀도이다. 그림 1.에 보여진 광밀도곡선을 이용하여 흡수선량을 연역해 낸다. 이렇게 해서 얻어진 흡수선량중 제일 큰 값을 100으로 하여 다른 점의 상대적인 흡수선량을 구하고 그래프를 그린다. 그림 3.은 전형적인 결과를 보여 준다.

곡선상 직선 부분을 연장하여 외삽법에 의하여 실영역 (Practical Range) R_p를 결정한다.[5] 팬톰에 입사하는 전자선의 에너지는 R_p로부터 아래의 관계식에 의하여 얻어진다.

$$\rho \cdot R_p = k_1 E_0 - k_2$$

여기서 E_0는 팬톰 표면에서 전자선의 에너지이고 팬톰이 물인 경우 물의 밀도 $\rho = 1\ g/cm^3$ 이며, $k_1 = 0.521\ g/cm^2$ MeV, $k_2 = 0.376\ g/cm^2$ 이다.[6] 폴리스티렌 팬톰의 밀도 $\rho = 1.05\ g/cm^3$이며 폴리스티렌에 대한 k_1, k_2는 물과 같다. R_p의 단위는 *cm* 이다.

유사한 실험이 Baldwin Farmer 이온화 체임버를 폴리스티렌 팬톰에 끼워 행해졌다. 이 측정으로부터 얻어진 R_p가 필름에 의하여 얻어진 R_p가 비교되었다. 이온화 체임버에 의하여 얻어진 R_p의 값은 이온화 체임버의 내반경(r)의 $\frac{3}{4}$만큼 전자선원쪽으로 이동시켜 교정되었다. 또 다른 방법으로 실험을 행하였다. 즉 이온화 체임버를 고정시키고 체임버 위쪽에 폴리스티렌의 두께를 점증시켜 같은 실험을 수행했다. 그러나 다른 수정은 더 요구되지 않았다. 이와 같이 두 가지 다른 방법－필름에 의한 것과 이온화 체임버에 의한 것－에 의하여 거의 동일한 R_p 값을 얻을 수있었으며 필름도 전자선의 에너지 측정에 이용될 수 있을 것이라는 확신을 얻었다.

3. 결 과 및 토 론

한 가속기에서 방출되는 똑 같은 에너지의 전자선에 대하여 필름에 의하여 측정된 전자선의 에너지와 이온화체임버에 의한 에너지의 차이가 0.2MeV보다 작았다. 이 정도의 차이는 꽤 좋은 일치를 보여 준다고 판단된다. 8MeV와 10MeV, 13MeV 세 가지 에너지에 대해서만 연구되었다 할지라도 치료에 이용되는범위내에서 13MeV이상의 에너지를 가지고 있는 전자선에 대해서도 좋은 일치를 보여줄 수 있을 것이라고 생각된다. 이런 점은 위에서 기술한 방법으로 확인될 수 있다. 표 1.에 얻어진 결과가 나타나 있다. 동시에 제작된 필름을 이용할 경우 다른 날에 측정한 결과들도 전자선의 에너지의 차이가 0.1MeV보다 작다는 것을 보여 주었다.

Table 1. Results of Measurement of film and ion chamber method

Nominal energy / Method	8 MeV		10 MeV		13 MeV	
	R_p	Eo	R_p	Eo	R_p	Eo
Film	3.85*cm*	8.11 Mev	4.75*cm*	9.8 Mev	6.14*cm*	12.5 Mex
ion chamber	3.76	7.94	4.70	9.74	6.10	12.43

두 가지 다른 방법으로 측정한 전자선의 에너지에있어서 약간의 차이가 나는 것은 이온화 체임버를 통하여 구한 R_p에 $\frac{3}{4}r$ (r은 이온화 체임버의 내반경)을 뺀 값을 실제의 R_p로 잡았기 때문이라고도 할 수 있겠으나 확실하지는 않다.

4. 결 론

이온화 체임버를 이용하여 전자선의 에너지를 측정하고자 할 때에는 몇 가지 문제점이 있다. 첫째, 이온화 체임버의 위치를 매번 바꾸고 전자선을 조사해야 하기 때문에 많은 시간을 소요하게 된다. 두째, 전자선 발생장치가 불안정할 수도 있는데다가 동시에 조사되지 않기 때문에 선량분포가 바뀔 수 있다.

필름을 이용할 경우에는 단 한 번의 조사에 의하여 전자선의 에너지 측정이 가능하다. 동시에 제작된 필름이 동일한 조건하에서 현상되기만 하면 같은 때 현상되지 않더라도 5%의 정확도[4]를 갖고 있다. 이리하여 필름은 빈번히 행해지는 전자선의 에너지 점검에 이온화 체임버보다 편리하다고 결론지을 수 있다.

* 필자가 1977년 4월 18일부터 동년 9월 31일까지 미국 미네소타대학병원에서 연수를 받았다. LMR－13은 상기 병원 치료방사선과에 설치되어 있는 일본 도시바제 전형 가속기이다.

REFERENCES

1. Johns, H.E. and Cunningham, J.R. : *The Measurement of Absorbed Dose (the Rad), The Physics of Radiology, 3rd. ed., Charles C. Thomas, 272-320, 1974.*
2. ICRU : *Practical Dosimetry, ICRU Report 21, Radiation Dosimetry ; Electrons with Initial Energies between 1 and 50 MeV. International Commission on Radiation Units and Measurement, 42-49, 1974.*
3. Almond, P.R. : *Radiation Physics of Electron Beams in Clinical Applications of the Eiectron Beam, N. duV. Tapley, John Wuley & Sons, 7-80, 1976.*
4. Dutrei, J. and Dutrei, A. : *Film Dosimetry of High-Energy Electrons, Ann. New York Acad. Sci., 161, 33-43, 1969.*
5. AAPM-SCRAD : *Protocal for the Dosimetry of High Energy Electrons, Phys. Med. Biol., No. 4, 505-520, 1966.*
6. Markus, B. : *Energiebestimmung schneller Electronen aus Tiefendosiskurven, Strahlentherapie 116, 280-291, 1961.*