

## 연령 확산 이론에 의한 전자선의 조직내 선량분포 평가

추성실

연세대학교 의과대학 치료방사선과

### 초 록

고에너지 전자선은 방사선치료에서 중요한 역할을 담당하고 있으나 전하를 갖인 입자로서 인체조직과 상호작용이 복잡하여 조직내 전자선량분포를 정확히 표현하기에는 매우 어렵다. 전자선분포를 계산하는 데는 심부율과 평면분포율등 여러방법이 제시되고 있었으나 수학적 모형을 이용하는 것이 가장 신속하고 다양한 계산을 수행할수 있는 수단으로 알려져 왔으며 컴퓨터의 발달과 병행하여 실용화 되고 있다.

저자들은 연령확산방정식을 기초로한 수식적 모델을 도입하고 연세암센터에 설치된 선형가속기에서 측정된 전자선의 분포를 이용하여 실험식의 상수인자를 결정 삽입하므로써 조직내 어떤 깊이 어느 지점에서든 정확한 선량이 계산될 수 있는 실험식을 완성하였다.

사용자는 연령확산 실험식에서 전자선의 에너지와 조사면 그리고 선원간의 거리만 입력하면 조직내 전자선의 심부율과 등선량곡선을 정확히 예측할 수가 있고 고선량부위에서는 위축되고 저선량부위에서는 확산되는 등선량곡선의 모양을 정확히 기술할 수 있으며 컴퓨터에 의한 선량계획은 어떤 임상상태에서도 간단하고 신속하게 표시할 수 있었다.

전자선의 에너지 6-20MeV 에서 심부율의 정확도는 심부율 50%이상일 때는 2% 이내이며 낮은 심부율 부위에서는 5%의 오차를 가졌고 조사면  $6 \times 6 \text{cm}^2$ 에서  $25 \times 25 \text{cm}^2$ 에 대한 심부율 오차는 3% 이내이며 확산오차는 3mm 이하로서 정확성이 비교적 높았다.

### 1. 서 론

고에너지전자선은 전하를 갖인 입자선으로서 조직내 일정 깊이에서 완전히 흡수 됨으로 종양에 집중조사가 가능하고 정상조직의 피폭을 격감시킬 수 있어 방사선치료에 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

최근에는 전자선을 이용한 회전, 진자조사와 다문조사, 전신조사 및 광자선과 혼합 사용등 다양한 조사법이 개발되어 진행되고 있으며 이에 따른 정확하고 다양한 전자선 선량분포 계산방법도 끊임없이 연구 발표되었다.

조직내 선량 분포는 조직과 전자선의 상호작용에 의하며 입사전자는 조직내 구성원자에 충돌하여 에너지 일부를 조직내 원자의 이온화와 여기시키는데 소모하고 그자신은 산란되는 복잡한 과정을 밟기 때문에 수학적 표현은 매우 어렵고 복잡하다.

그러므로 조직내 전자선의 분포를 전자와 조직간의 상호작용을 이용한 물리적 연산에 의한 계산대신 실제 측정치와 같은 분포를 표시할 수 있는 수학적인 모델이 필요하게 되었다.

과거에는 방사선의 분포를 조직선량비(TMR)와 산란비(SMR)에 대한 측정자료를 입력하여 근사적으로 계산하였으나 종류가 다양화된 전자선에너지, 조사면, 평면여과판, 콜리메터 위치등에 따른 정확한 선량분포의 계산은 거의 불가능하였다. 최근 전자선분포는

수학적 모형을 이용하는 것이 가장 신속하며 복잡하고 다양한 분포계산을 수행할 수 있는 수단으로 알려져왔으며 컴퓨터와 발달과 병행하여 실용화되고 있다.

1969년 Seltzer는 전자 수송방정식을 이용한 수학적 해석을 시도하였으나 방사선속의 방향과 일정 깊이의 선량분포(Profile)등 많은 자료의 실험결과를 입력하여야 하였다.

비교적 적은 자료를 입력하여 많은 양의 선량분포를 계산할수 있는 반실험식의 꾸준히 연구되어왔고 1975년 Boag는 가는선속(Pencil beam)의 모형과 각각을 일정한 조사면에 걸쳐 적분시키는 방법을 채택하였으며 이는 주사선속(Scanning beam)을 이용하는 치료 장치에 매우 적합하였다.

1975년 Kawachi등은 Edlund(1952)의 연령확산식(Age diffusion equation)을 사용하여 전자선분포를 기술하였다. 확산공식은 일반적으로 선속밀도를 표시하는데 사용되었으며 고에너지 전자선분포는 확산공식에 의한 분포와 매우 다른 모형을 갖기 때문에 Simpson과 Lentz는 많은 의학물리학자들이 관심을 갖고 연구하여 왔다.

저자는 연령확산방정식을 기초로한 수식적 모델을 도입하고 연세암센터에 설치된 선형가속기(NELAC 1018)에서 측정된 전자선의 분포를 이용하여 상수인자를 결정 삽입하므로써 조직내 어떤 깊이 어느 지점에서든 정확한 선량이 계산될 수 있는 실험식을 완성하였다.

사용자들은 연령확산 실험식에서 전자선의 에너지와 조사면 그리고 선원간의 거리만 입력하면 조직내 전자선의 심부율과 등선량곡선을 정확히 예측할 수가 있고 고선량부위에서는 위축되고 저선량부위에서는 확산되는 등선량곡선의 모양을 정확히 기술할 수 있으며 컴퓨터에 의한 선량계획은 어떤 임상상태에서도 간단하고 신속하게 표시할 수 있었다.

## 2. 이론 및 방법

### (1) 연령확산방정식(Age-diffusion function)

확산방정식은 본질적으로 입자속(Fluence)의 분포를 표시하며 입자속( $\phi$ )과 전자 선량(D)은 다음과 같은 관계가 있다.

$$D = \int \phi(E) (-dE/pdx) dE$$

즉 전자는 조직내에서의 질량저지능(-dE/pdx)에 의하여 연속적으로 감쇄되며 선량과 전자속은 상호비례적 관계를 가지므로 전자선량분포는 다음식과 같이 확산 즉 감쇄된 동현상으로 표시할 수 있다.

$$\frac{\delta D(r,t)}{\delta t} = \nabla^2 D(r,t) \quad 1)$$

여기서  $D(r,t)$ 는 위치  $r$ 에 대한 시간의 함수  $t$ 에서의 전자선량을 표시하며 전자선의 비정거리에 비례한다.

식 1)은 전자선의 조직내 선량분포를 표시하는 확산방정식으로서 방정식의 해를 간단하게 하기 위하여 무한균질 물팬텀에 평행한 단일에너지의 전자선이 일정한 크기로

추성실

수직입사 한다고 가정한다. 일반적으로 방사선치료에는 선속중심축을 통과하는 X-Z평면의 선량분포를 중요시하므로 X-Z의 2차원 분포계산을 위한 방정식의 해를 구하였다.

해를 얻기위하여 식 1)을 변수 분리하면

$$D(x, z, t) = D(x) \times D(z) \times D(t)$$

로 표시 할 수 있고  $D(x)$ ,  $D(z)$ ,  $D(t)$ 는 각각의 단독계수가 되며 이를 1) 식에 대입하고  $D(x, z, t)$ 로제하면

$$\frac{1}{D(t)} \frac{dD(t)}{dt} = \frac{1}{D(x)} \frac{d^2D(x)}{dx^2} + \frac{1}{D(z)} \frac{d^2D(z)}{dz^2} = \gamma^2 \quad 2)$$

식 2)는 양변이 각각 독립변수임으로 그값은 항상 일정한 상수( $\gamma^2$ )가 되며 그 해는 다음과 같다.

$$D(t) = A \exp(\gamma^2 t) \quad (t > 0) \quad 3)$$

$$D(z) = B \cos \alpha (z - C) \quad (\infty > z > 0) \quad 4)$$

$$D(x) = E \cos \beta (a - \xi) \quad (\infty > x > \infty) \quad 5)$$

여기서 A, B, C, E는 임의의 정수이고  $\gamma^2 = \alpha^2 + \beta^2$  로 표시하면  $\alpha^2, \beta^2$ 는 정의 실수이며 전자선량이 조직내 어느 지점이든간에 유한한 정수의 값을 가진다.

조직내에서 전자평형 현상이 있으므로  $Z=C$  위치에서  $D(z)$ 가 최대치가 되며 제동방사선에 의한 선량의 기여를 무시하고 전자의 외삽비점  $Z=R_p$  일때  $D(z)=0$  이 되도록 경계조건을 설정하여 식 4)에 대입한다.

$$\alpha = 2\pi/3R_p \quad \alpha C = \pi/6$$

$$\text{고로 식 4)는 } D(z) = B \cos[(2\pi/3R_p)z - \pi/6]$$

확산방정식 2)의 해는 3), 4), 5)식의 곱으로 표시할 수 있으며 이 식을 쉽게 풀기 위하여 Fourier적분을 도입 변환시키면 연립확산방정식은 선형적이 되며 완전해를 얻기 위하여  $\beta, \xi$  전체에 대한 적분은 일반해가 될 수 있다.

$$D(x, z, t) = B \cos \alpha (z - c) \iint \phi(\xi) \cos \beta(\xi - x) \exp(-\gamma^2 t) \delta \beta d\xi \quad 6)$$

x축방향의 분포는  $\beta$ 에 관계되며 전체를 적분으로 표시할 수 있다.

$$D(x, t) = 1/2\pi \iint \phi(\xi) \cos \beta(\xi - x) \exp(-\beta^2 t) \delta \beta d\xi$$

적분공식에 의거

$$\int \cos \beta(\xi - x) \times \exp(-\beta^2 \tau) d\beta = (\sqrt{\pi}/\tau) \times [-(\xi - x)^2/4\tau]$$

연령 확산 이론에 의한 전자선의 조직내 선량분포 평가

$(\xi-x)/2\sqrt{t} = s$  로 놓으면

$$D(x, t) = 1/\sqrt{\pi} \int \phi(x + 2\sqrt{t}s) \exp(-s^2) ds$$

입사표면의 전자선강도에 비례하는 선량을  $D_0$  로 하고 전자선 입사면의 폭을  $2X_0$  로 놓으면 경계조건은 다음과 같으며 식 7) 에서  $s$ 의 범위를 결정할 수 있다.

$$\phi(\chi) = D_0 \quad |x| \leq X_0$$

$$\phi(\chi) = 0 \quad |x| > X_0$$

$$S_+ = (X_0 - x)/2\sqrt{t} \quad S_- = -(X_0 + x)/2\sqrt{t}$$

$$D(x, t) = D_0/\sqrt{\pi} \int_{S_-}^{S_+} \exp(-s^2) ds$$

$$S_+ = (X_0 - x)/2\sqrt{t}, \quad S_- = -(X_0 + x)/2\sqrt{t}$$

선원의 조건에 따라 7)식을 적분하면

$$D(x, t) = D_0/2 \{ \text{erf}(S_+) + \text{erf}(-S_-) \}$$

단 오차함수 erf(x)는 다음과 같다.

$$\text{erf}(x) = \pi \int_0^x \exp(-s^2) ds$$

연령 확산 방정식에 의한 식 7)의 공간선량분포는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$D(x, z, t) = A \{ \text{erf}(S) + \text{erf}(-s) \} \times \cos(z-C) \times \exp(-\alpha^2 t)$$

단 A는 전체정수를 포함하고 있으며 t는 연령인자로서 전자선의 선량분포에 크게 관계되며 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$t = G^2(z/Rp + p)^{2n}$$

여기서 Rp는 전자선의 실용비정거리(Practical range)이며 G, n, p는 전자선 에너지에 의하여 결정할 수 있는 정수로서 G는 깊이에 따른 분산에 영향을 주며 n는 전체적인 분포에 영향을 주고 p인자는 표면에서의 선량분산에 주로 영향을 주고 있다.

식 9)에 의한 기본적인 의미는 erf의 항이 선량분포의 횡적인 방향의 특성을 표시하고  $\cos\alpha(z-C) \times \exp(-\alpha^2 t)$ 의 항은 심부율 특성을 표시하고 있다.

심부율에 영향을 주고 있는 cos항은 측정치에 접근할 수 있고 쉽게 계산할 수 있도록 다음과 같은 다항식으로 전개하여 상수를 결정하였다.

$$\cos\alpha(z-C) = \cos(q_1(z/Rp)^2 + q_2(z/Rp) + q_3)$$

또는

$$\cos\alpha(z-C) = \cos(Q_0 Z^6 + Q_1 Z^5 + Q_2 Z^4 + Q_3 Z^3 + Q_4 Z^2 + Q_5 Z + Q_6) \quad (10)$$

연령확산식에 의한 전자선의 선량분포는 식 9)는 다음과 같이 실용적이고 최적한 계산식으로 표시할 수 있다.

$$D(x, z, t) = A \{ \operatorname{erfc}[(X_0 x)/2\sqrt{t}] + \operatorname{erfc}[(X_0 - x)/2\sqrt{t}] \} \\ \times \cos[q_1(z/R_p)^2 + q_2(z/R_p) + q_3] \times \exp(-(2\pi/3R_p)^2 t)$$

선량분포곡선은 측정치와 비교하여  $R_p, G, n, p$  및  $q_1, q_2, q_3$  등을 입력하면 어떤 조사면, 에너지에서도 잘 일치하고 있다.

깊이에 따른 조사면은 선원과 피부간의 거리(F)에 관계되며 깊이 z에서 조사면  $X_0(z)$ 의 크기는 다음과 같다.

$$X_0(z) = X_0(F+z)/F$$

식 11)에 의한 상수항들은 선량분포 측정장치 (RTD, wellhoffer)와 물팬텀을 이용하여 선형가속기에서 발생된 전자선의 표준심부율과 선량분포곡선을 측정하여 결정하였다. 즉 전자선 에너지 6, 9, 12, 15, 18MeV와 조사면  $10 \times 10 \text{cm}^2$ 에서 중앙심부백분율, 실용비정거리, 조사면, 선원과 피부간거리를 측정하고 실측치에 의한 계산인자를 도출하였다.

유도된 계산인자들은 표 1과 같으며 6~18MeV의 전자선 분포는 이들을 삽입한 실험식을 작성하여 컴퓨터로 하여금 계산 도시하도록 하였다.

### 3. 결 과

#### 1) 심부백분율

전자선 에너지 6~18MeV, 조사면  $10 \times 10 \text{cm}^2$ 에서 심부백분율은 그림 1과 같이 각 에너지에 따라 측정치와 잘 일치하고 있으며 표 2는 조직깊이에 따른 심부백분율을 측정치와 계산치로 비교 기록하였다.

Table 1. Parameter characteris on elelectron beam

Energy MeV Parameter	6	9	12	15	18
$R_p$	2.75	4.20	5.68	6.95	8.90
G	1.00	1.00	0.88	1.00	0.85
n	1.50	1.50	1.45	1.50	1.40
p	0.25	0.25	0.19	0.25	0.15
$q_1$	2.35	2.02	1.91	1.99	1.41
$q_2$	0.45	0.36	0.27	0.18	0.40
$q_3$	-0.81	-0.67	-0.57	-0.32	-0.34
$Q_0$	0.740E+0	0.416E-1	0.170E-3	0.529E-4	0.174E-3
$Q_1$	-0.594E+1	-0.440E+0	0.503E-3	0.810E-4	0.425E-1
$Q_2$	0.174E+1	0.164E+1	-0.422E-1	-0.120E-1	-0.384E-1
$Q_3$	-0.222E+2	0.248E+1	0.307E+0	0.109E+0	0.152E+0
$Q_4$	0.120E+2	0.113E+1	-0.648E+0	-0.246E+0	0.172E+0
$Q_5$	-0.248E+1	0.391E+0	-0.648E+0	-0.388E-1	-0.241E+0
$Q_6$	0.617E+0	0.522E+0	0.478E+0	0.368E+0	0.317E+0

Table 2. Percentage depth dose at several energies electron field size  $10 \times 10 \text{cm}^2$ , target surface distance  $100 \text{cm}$

d.cm \ MeV	6		9		12		15		18	
	Cal	Mea	Cal	Mea	Cal	Mea	Cal	Mea	Cal	Mea
0	85.2	85.0	88.6	88.3	94.1	94.0	95.2	95.0	96.8	96.5
0.5	97.1	97.3	93.1	93.0	95.0	95.0	96.2	96.1	97.4	97.2
1	100	100	99.2	99.4	97.4	97.3	98.0	98.0	98.5	98.3
1.5	98.0	98.0	100	100	99.3	99.5	98.9	99.1	99.1	99.2
2	79.5	79.4	98.3	98.6	100	100	99.8	99.9	99.9	100
2.5	38.3	38.4	91.2	91.5	98.2	98.5	100	100	100	100
3	0	2.5	78.9	79.2	95.8	96.0	99.1	99.3	100	100
3.5			51.3	51.5	89.5	89.7	97.2	97.4	99.5	99.7
4			23.2	23.8	79.7	79.5	93.8	93.7	98.3	98.5
4.5			0	2.8	60.8	60.4	88.2	88.0	95.2	95.3
5					41.8	41.5	78.9	78.7	91.8	92.0
5.5					21.3	21.8	65.1	65.2	85.0	85.2
6					0	3.0	51.0	51.3	76.1	79.0
6.5							35.2	35.5	64.3	64.7
7							19.8	20.3	52.1	52.5
7.5							0	3.5	39.8	40.3
8									26.3	26.8
8.5									14.1	14.9
9									0	4.2

Table 3. Percentage depth doses for 12MeV electrons

d.cm \ FS.cm	$6 \times 6$		$10 \times 10$		$15 \times 15$		$20 \times 20$		$25 \times 25$	
	Cal	Mea	Cal	Mea	Cal	Mea	Cal	Mea	Cal	Mea
0	93.0	93.0	94.1	94.0	95.2	95.0	96.0	95.4	97.0	96.3
0.5	94.2	94.1	95.0	95.0	95.7	95.6	96.9	96.5	98.0	97.5
1	97.0	97.1	97.4	97.3	98.1	98.0	98.2	98.	98.7	98.0
1.5	99.0	99.5	99.3	99.5	99.4	99.5	99.5	99.8	99.8	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.5	96.8	96.9	98.2	98.5	98.7	98.6	99.2	99.0	99.6	99.8
3	92.8	92.7	95.	96.0	97.0	97.0	97.9	97.8	98.5	98.5
3.5	85.0	84.8	89.5	89.7	92.1	92.0	94.1	94.0	95.7	95.4
4	71.3	71.0	79.7	79.5	82.2	82.5	84.8	84.6	88.3	88.0
4.5	50.2	49.8	60.8	60.4	63.4	63.6	65.3	65.2	68.2	68.3
5	35.1	35.7	41.8	41.5	44.3	44.7	46.2	46.8	47.3	47.6
5.5	18.2	19.3	21.3	21.8	22.5	23.1	23.2	24.0	24.1	24.8
6	0	2.5	0	3.0	0	3.0	0	3.2	0	3.5

표3은 조사면 크기에 따른 12MeV 전자선의 심부백분율을 표시하며 각각 다른 크기의 조사면에 같은 상수인자를 사용하여도 심부백분율은 정확히 일치하였다.

그림 2는 전자선 에너지 12MeV에서 조사면에 따른 심부백분율을 도시한 것으로서 이 도표에서 심부백분율 50%이상에서는 2%의 오차 그리고 50%이하의 선량부위에서는 5%보다 좋은 정확도를 가졌다. 전자선의 심부백분율은 조사면의 크기에 상당히 영향을 받고 있지만 확산계산식 자체가 확산인자를 포함하여 계산함으로 오차가 적었으며 다만 저지 x-선에 의한 오염선량을 표시할 수 없는 것이 흠이었다.

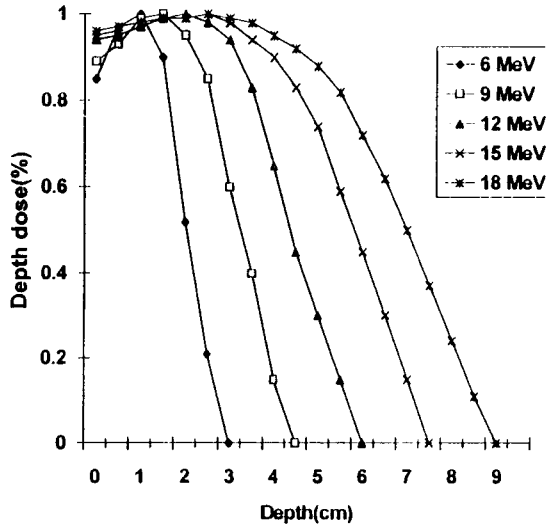


Fig 1. Percentage depth dose for  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  electron beam at several energies. Calculated by age diffusion equation

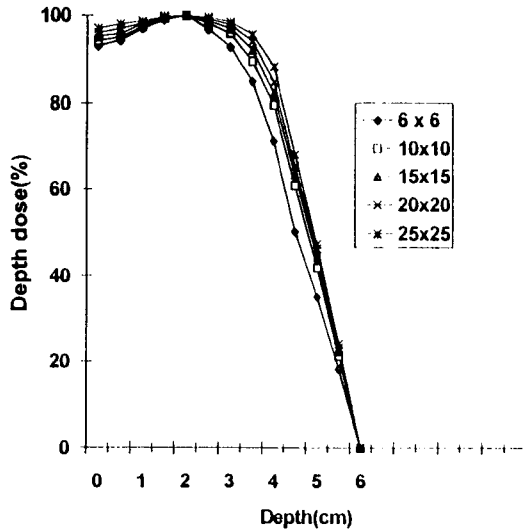


Fig 2. Electron beam central axis percentage depth dose plotted against field size. Calculation by age diffusion equation.

## 2) 선량분포곡선

전자선의 선량분포모양을 결정하는 상수인자  $G, n, p$ 는 심부백분을 결정인자 이전에 조정되어야 하며 전자선 에너지에 따른 값은 표1과 같고 분포 결정 상수인자는 저에너지보다 고에너지쪽이 더 크다.

그림 3은 컴퓨터 계산에 의한 전자선 에너지 12MeV, 조사면  $10 \times 10 \text{cm}^2$ 의 전자선 선량 분포이며 계산치와 측정치는 서로 잘 일치하고 있다.

그림 5는 선량분포의 컴퓨터 계산에서 상수인자( $G, n, p$ )의 변화에 따른 분포도의 변형을 표시하며  $G$ 와  $n$ 는 등선량곡선의 횡축 방향에 영향을 주는 인자로서 산란에 의한 전자선 편향에 관계된다. 즉  $G$ 의 크기는 산란각을 크게하며  $n$ 는 전자의 입사표면으로부터 전자선의 산란 방향을 표시하는데 영향을 주고 있고  $p$ 는 전자선 입사표면의 산란선 증감에 영향을 준다.

계산에 의한 전자선 분포를 관찰하면 고선량부위에서는 위축되고 저선량부위에서는 확산되는 등선량곡선의 모양을 정확히 신속하게 묘사할 수 있다.

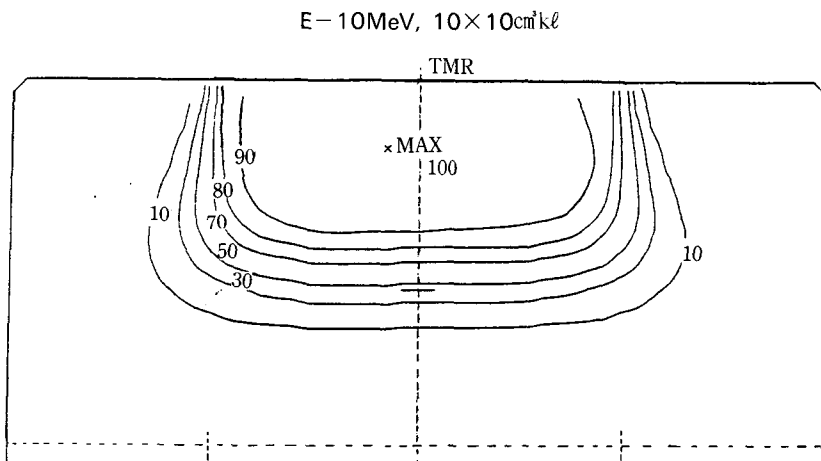


Fig 3. Central plane isodose distribution for a 12MeV electron beam of  $10 \times 10 \text{cm}^2$  field. Calculated by age-diffusion equation.

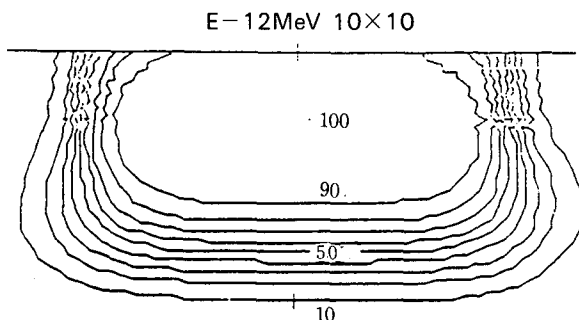


Fig 4. Central plane isodose distribution for a 12MeV electron beam of  $10 \times 10 \text{cm}^2$  field. Measured by isodose plotter.



E-15MeV, 10×10cm<sup>2</sup>

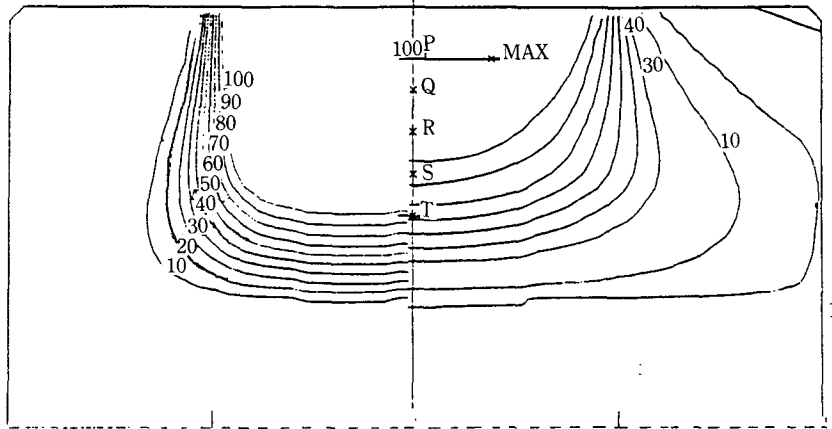


Fig 5. Calculated isodose distribution in water assuming a mono-energetic incident electron energy at 15MeV and field size of 10×10cm<sup>2</sup> with a parallel beam.  
 The values of G, n and p are, left side, G=1.0, n=1.5, p=0.2  
 Right side, G=1.5, n=4.0 p=0.2

#### 4. 고 찰

조직내 전자선의 분포는 전자와 조직간의 상호작용을 이용한 물리적 연산에 의한 계산대신 실제 측정치와 같은 분포를 표시할 수 있는 수학적인 모델이 필요하게 되었다. 그중에서 전자 수송방정식을 이용한 수학적 해석은 방사선속의 방향과 일정 깊이의 선량분포(Profile)등 많은 자료의 실험결과를 입력하여야 하는 복잡성이 있었다. 그러나 연령확산식(Age diffusion equation)은 일반적으로 선속밀도를 표시하는데 사용되었으며 고 에너지 전자선분포를 표시하는데 가장 적합한 것으로 연구되어졌다.

연령확산 실험식에서 전자선의 에너지와 조사면 그리고 선원간의 거리만 입력하면 조직내 전자선의 심부율과 등선량곡선을 정확히 예측할 수가 있고 어떤 임상상태에서도 간단하고 신속하게 계산 할 수있다.

전자선의 에너지 6~18MeV에서 실측치와의 심부율 오차는 2~5% 이고 조사면에 따른 심부율 오차는 3%이내이며 확산오차는 3mm이하로서 정확성이 비교적 높았다.

연령확산식에 의한 전자선의 선량분포 계산은 여러종류의 에너지, 조사면, 콜리메터, 산란판에 적용될 수 있으며 신속하고 정확하며 간단하기 때문에 임상응용에 매우 적합하다고 생각된다.

## 5. 참고문헌

1. K. Ayyanger, C. Leonard, N. Suntharalingam : Computerization of electron beams for treatment planning. *Med. Phys.*, 7, 440~445, 1980.
2. K. E. Ekstrand, R. L. Dixon : The problem of obliquely incident beams in electron beam treatment planning. *Med. Phys.*, 9, 276~280, 1982.
3. M. Gitein : Limitations of two dimensional treatment planning programs. *Med. Phys.* 9, 580~585, 1982.
4. W. F. Hanson, L. W. Berkley : Measurement of electron beam ionization as depth in various tissue like materials. *Med. Phys.*, 9, 607~613, 1982.
5. K. R. Hogstrom, M. D. Mills, P. R. Almond : Electron beam dose calculations. *Phys. Med. Biol.* 26, 445~458, 1981.
6. A. L. McKenzie : Air gap correction in electron beam treatment planning. *Phys. Med. Biol.*, 24, 608~628, 1979.
7. M. D. Mills, K. R. Hogstrom, P. R. Almond : Production of electron beam output factors. *Med. Phys.* 9, 60~64, 1982.
8. D. J. Perry, J. G. Holt : A model for calculating the effects of small inhomogeneities on electron beam dose distributions. *Med. Phys.*, 7, 207~213, 1980.
9. B. L. Werner, F. M. Kahn, F. C. Deibel : A model for calculating electron beam scattering in treatment planning. *Med. Phys.*, 9, 180~185, 1982.
10. J. D. Steben, K. Ayyanger, N. Suntharalingam : Betatron electron beam characterization for dosimetry calculations. *Phys. Med. Biol.*, 24~2, 299~309, 1979.
11. L. Papiez, J. McLellan, G. A. Sandison, S. Sawchuk, X. Lu, J. J. Battista : Inclusion of energy stragling in a numerical method for electron dose calculation. *Med. Phys.* 21~10, 1591~1598, 1994.
12. P. R. Storchi, H. Huizenga : On a numerical approach of the pencil beam model. *Phys. Med. Biol.* 30, 467~473, 1985.
13. A. S. Shiu, K. R. Hogstrom : A pencil beam redefinition algorithm for electron dose distributions. *Med. Phys.*, 18, 7~18, 1991.
14. J. McLellan, L. Papiez, G. A. Sandison, W. Huda, P. Therrien : A numerical method for electron transport calculations. *Phys. Med. Biol.* 37(5), 1108~1125, 1992.
15. H. Huizenga, P. R. Storchi : Numerical calculation of energy depositin by broad high energy electron beams : *Phys. Med. Biol.*, 34, 1371~1386, 1989.

## Evaluation of Electron Beam Dose Distribution by Age Diffusion Equation

Sung Sil Chu, Ph. D.

Dept. of Radiation Oncology, College of Medicine Yonsei University. Seoul Korea.

### ABSTRACT

Electron beams have found unique and complementary used in the treatment of cancer, but it's very difficult to delineate dose distribution, because of multi-collisions. Numerical solution is more usefull to describe electron distributed in tissue. A semi-empirical eqution is given for the dose at any point at various depths in water. This equation is a modified model which was based on solutions of a general age diffusion equation. Parameters have been calulated from electron beams data with energies 6~18MeV form a LINAC for use in computerised dosimetry calculations.

The depth doses and isodose curves are predicted as a function of the practical range, source skin distance and field size. Depth dose accuracy have been achieved 2% above 50% depth dose and 5% at lower doses, relative to maximum dose. Also, the shape of the isodose curves with the constrictions at higher dose and bulging of lower values are accurately predicted. Computer calculated beams have been used to generate ever isodose distribution for certain clinical situations.