

# CO-60 감마선에 대한 부정형조사면의 조직공중선량비 (TAR) 계산

원자력병원 치료방사선과

지영훈

## Calculation of Tissue-Air Ratios(TAR) in Irregularly shaped Field for Co-60 Gamma Radiation

Young-Hoon Ji

*Dept. of Therapeutic Radiology, Kangnam General Hospital*

### - Abstract -

In order to calculate the dose on each interest point in five types of irregularly shaped fields used commonly in radiotherapy, the tissue-air ratios (TAR) in these fields for Co-60 gamma radiation were calculated using the newly devised SAR-chart.

The TARs calculated from newly method of using the SAR-chart, computer method and approximation method at the interest point were compared to the TARs obtained from measurement.

The result are as follows;

In case of the interest points on central axis the calculated TARs in irregularly shaped fields by the above mentioned methods were well agreed within the error of 1%, whereas for the interest points on off-axis the calculated TARs were resulted in the maximum errors of 2.4%, 2.3% and 8.8% respectively.

From these results, the accuracy of calculation method of using the SAR-chart was confirmed.

### I. 서 론

Co-60 감마선으로 종양을 치료할 때, 종양부위에 일정한 방사선량을 조사하려면 조사면의 크기, 모양 및 조사시간을 결정하여야 한다. 조사면의 크기와 모양은 종양에 따라 결정되며, 조사시간은 조사면의 크기와 모양에 대한 심부선량백분율(Percent depth dose: %DD)과 후방산란계수(back scatter factor:BSF) 또는 조직공중선량비(tissue-air ratio:TAR)에 따라 결정된다.<sup>1,2)</sup> 조사면의 모양이 정사각형, 직사각형 또는 원형인 경우에는 이미 연구된 자료인%DD표나 TAR표<sup>2,3)</sup> 등에서 이들 값을 구하여 쉽

게 조사시간을 계산할 수 있다.

그러나 일반적으로 조사면에 포함된 정상조직 및 방사선에 민감한 기관을 보호하기 위하여 이들 부위를 납과 같은 차폐물로 일차 방사선을 차폐한다.<sup>4,5)</sup> 조사면내에 차폐물을 놓으면 이 번은 기하학적으로 불규칙한 모양이 되며, 이러한 면을 부정형조사면이라 한다. 그 대표적인 예로는 팔각형 L형, M형, 역Y형 및 mantle형 등이 있다.<sup>1)</sup>

이와같이 조사면의 모양이 불규칙하게 되면, 방사선에 조사되는 조직내의 흡수선량이 변하게 되어 %DD,BSF 및 TAR등도 변하게 되므로 조사시간을 쉽게 계산할 수 없게 된다. 현재 이러한 부정형 조사면들의 %DD나 TAR를 계산하는 데

는 통상적으로 다음 두가지 방법을 이용하여 구한다. 첫째는 주어진 조사면을 직사각형인 유효조사면으로 근사시켜 이미 연구된 자료들을 연구하는 방법이고<sup>4,5)</sup>, 둘째는 흡수선량을 일차방사선의 직접 반응에 의한 기여분과 산란방사선에 의한 기여분으로 나누어 계산하는 Clarkson 방법을 이용한 컴퓨터 계산법이다.<sup>1,5)</sup>

이두가지 방법중 근사법은 사용하기에는 가장 간편한 방법이나 경우에 따라서는 부정확하고, 컴퓨터계산법은 정확하기는 하지만 컴퓨터를 이용해야 하는 번거로움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 부정형 조사면에 대한 TAR 및 %DD의 계산에 있어서 누구나 간편하게 이용할 수 있으며 정확한 값을 계산할 수 있는 도표를 이용한 새로운 방법을 고안하고, 이 방법의 정확성을 확인하기 위하여 측정법, 컴퓨터 계산법 및 근사법등과 비교 분석하였다.

## 2. 이론적 배경

### 1) Clarkson 방법

이 방법은 조직내 주어진 한 관심점에서의 흡수선량중 일차방사선의 직접반응에 의한 기여분은 조사면의 크기나 모양에 따라서 변하는 원리를 이용한 것이다. 여기서 산란방사선량을 계산하기 위하여 새로운 값인 산란공중선량비 (scatter-air ratio: SAR)를 사용한다.<sup>1)</sup>

부정형조사면에 대한 한 관심점에서의 TAR는 다음과 같이 주어진다.

$$(TAR)_{ave} = TAR(0) + (SAR)_{ave} \quad (1)$$

여기서, TAR(0)은 일차방사선의 직접 반응에 의한 기여분으로 조사면의 크기가 zero area (0x0 cm<sup>2</sup>)이고, 깊이가 d인 관심점에서의 TAR이다. 이것은 또한,

$$TAR(0) = \text{Exp}-\mu(d-d_m) \quad (2)$$

으로 쓸 수 있다. 여기서,  $\mu$ 는 선형감쇠계수이고

$d_m$ 은 최대 흡수선량을 나타내는 깊이로 Co-60에서는 표면으로부터 0.5 cm되는 곳이다.

(SAR)<sub>ave</sub>는 관심점에서의 조사면 전체에 대한 평균 산란공중선량비이다.

이것은

$$(SAR)_{ave} = \sum_{i=1}^n SAR(d, r_i) \theta / 2\pi \quad (3)$$

로 주어지는데, Fig.1에서 보는 바와 같이 조사단면을 관심점 0를 중심으로 절편각  $\theta$ 로 나누어 점 0에서 조사면 경계선과 만나는 점까지의 길이를 반지름으로 하는 각각의 원형조사면에 대한 SAR를 평균한 값이다.

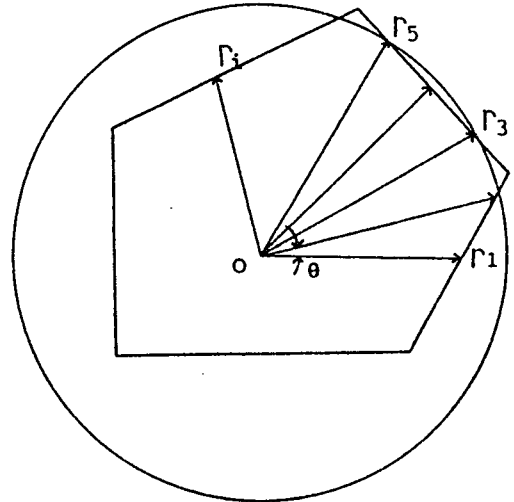


Fig1. Diagram of scatter-air ratios to calculated the dose at point 0.

한편, (TAR)<sub>ave</sub>가 구해지면 다음 식에 의하여 %DD도 구할 수 있다.

$$\%DD = 100 \times (TAR)_{ave} \times k \times (f + d_m / f + d)^2 / \text{BSF} \quad (4)$$

여기서, K는 중심이탈계수(off-axis ratio)이고 f는 선원표면간거리(source surface distance : SSD)이다.

2) 근사법

부정형조사면을 근사시키는 방법에는 Hende<sup>6)</sup>에 의한 방법이나 Khan 등<sup>5)</sup>에 의한 방법 등 여러가지가 있는데, Khan 등은 관심점 주변의 조사면을 대부분 포함시키고 그 점에서 멀리 떨어져 있는 조사면을 제외시키는 방법으로 부정형 조사면을 직사각형조사면으로 근사시켰다. 이때 차폐된 부분은 면적이 작게 되거나, 재배치되어 근사된 직사각형조사면을 유효조사면이라 하고, collimator에 의해 정해진 조사면을 collimator 조사면이라 한다.

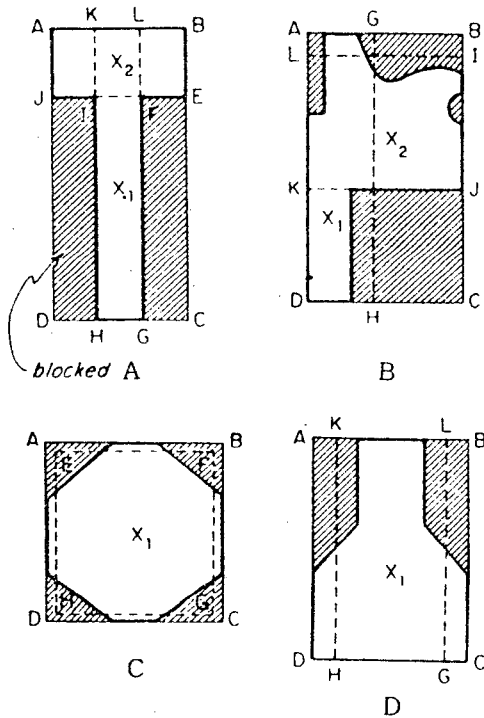


Fig2. Example of irregularly shaped fields. Equivalent rectangles for dose at point of interest are shown by dashed lines. Points vs. equivalent rectangles are,  
 (A) 1: GHKL, 2: ABEJ  
 (B) 1: AGHD, 2: LIJK,  
 (C) 1: EFGH (D) 1: KLGH

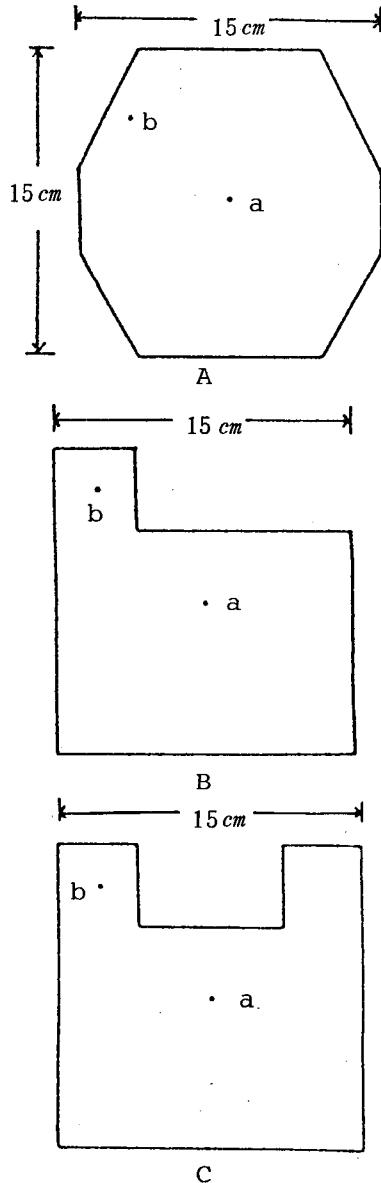
유효조사면이 결정되면 이것이 대응하는 등가조사면을 표<sup>3'7)</sup>에서 찾아, 이 등가조사면에 대한

%DD와 TAR를 이미 연구된 자료에서 구한다.

3. 실험 및 계산

1) 부정형조사면 모델

부정형 조사면의 모델로서는 Fig.3과 같이 팔각형, L형, M형, 역Y형 및 mantle형 다섯가지를 고안하였다. 이와같은 모델로부터 SAR 및 TAR를 측정하거나 계산하기 위한 선속 중심축상의 점a와 중심축에서 벗어난 점b의 두지점을 선정하였다.



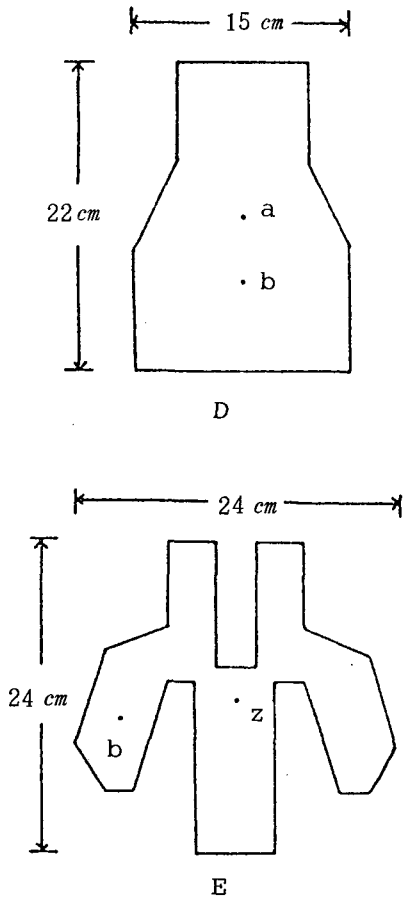


Fig3. Models of irregularly shaped fields A:Octagonal shaped field, B:L shaped field, C:M shaped field, D:inverted Y shaped field, E:mantle shaped field

2) 실험장치 및 방법

실험은 지방공사 강남병원 치료방사선과에서 실시하였으며, 실험에 사용된 장치는 Co-60 원격치료장치와 방사선 측정장치 및 물팬텀 등으로 구성되었다.

Co-60 원격 치료장치의 구조도 및 방사선량 측정 체계도는 Fig.4 및 5 와 같다.

Co-60 원격 치료장치는 Toshiba사 제품 모델 RCR-120-C1으로  $1.7 \times 10^{14}$  Bq의 Co-60이

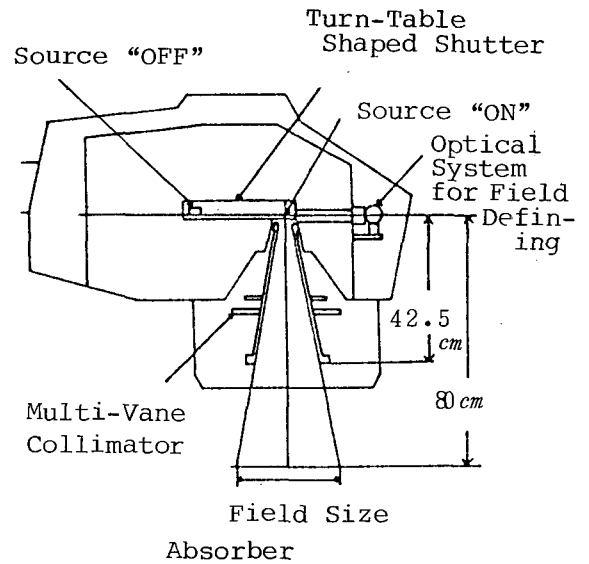


Fig4. Schematic diagram of Co-60 teletherapy unit. Model RCR-120-C1, Japan, Toshiba

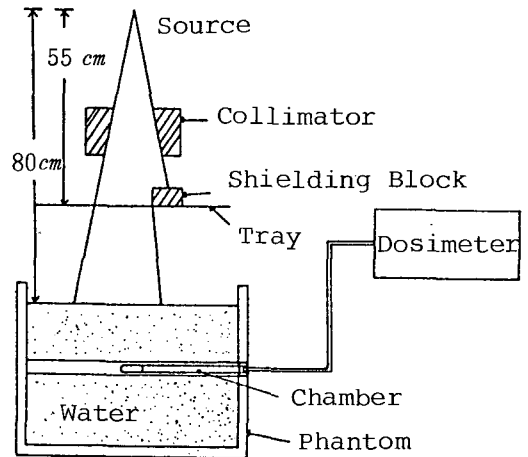


Fig5. Schematic diagram of dosimetry system

장착 되어 있다. 방사선 측정장치로는 NE사 제품 Baldwin Farmer dosimeter, 모델 2570,

과 감각피부가 0.6 cc인 이온화함, 모델 2505 , 를 사용하였다.

물팬텀은 아크릴로 제작되었으며, 팬텀의 바닥 으로부터 17 cm되는 지점에 이온화함을 삽입할수 있도록 지름이 1.9 cm인 아크릴봉을 삽입하였다. 팬텀의 규격은 30×30×40cm이다.

부정형조사면은 선원으로부터 55 cm되는 수직하 방에 차폐물을 올려 놓을 수 있는 두께가 1 cm인 아크릴판을 고정시키고 그 위에 두께가 5 cm인 납 을 놓아 선원으로부터 80 cm되는 지점에서 조사면 이 Fig.3의 모델들과 일치하도록 하였다.

(Fig.5)

각 조사면 모델들의 점 a와 b에 대한 깊이 5 cm, 10 cm 및 15 cm에서의 TAR는 팬텀내 물표면 과 선원간의 거리를 80 cm로 유지시킨 다음 물표 면과 이온화함간의 거리를 5 cm, 10 cm 및 15 cm 로 변화시키면서 표준측정법<sup>8)</sup>을 사용하여 60 초 동안 각 점에서의 흡수선량을 측정하였다.

한편, 동일 위치에서 자유공간내의 흡수선량을 측정하여 이들 측정값을 다음 식에 대입하여 계산 하였다.

$$TAR(d) = Dd / Dfs \quad (5)$$

여기서, Dd는 팬텀내의 물표면으로부터 깊이가

d인 지점의 흡수선량이며, Dfs는 동일 위치에 서의 자유공간내 흡수선량이다.

### 3) 도표에 의한 계산

서론에서 언급한 바와 같이 근사법은 사용하기에 간편하나 경우에 따라서는 부정확하고, Clark-SON 방법은 정확하나 컴퓨터를 이용하여야 하는 번거로움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 방사선 치료현장에서 누 구나 간편하게 이용할 수 있는 도표를 고안하고, 이 도표를 이용하여 조사면 모델(Fig.3)들의 점a와 b에 대한 깊이 0.5 cm, 5 cm, 10 cm 및 15 cm에서의 TAR과 %DD를 구하였다.

도표는 반지름이 1 cm로부터 25 cm까지 1 cm 간 격으로 동심원을 그리고, 중심에서 절편각이 15° 씩 또는 선분을 그어 동심원들을 24 등분하였다. 그다음, 보다정확한 SAR 값을 구하기 위하여 도 표의 제 1 상환에 중심에서 1.5 cm, 2.5 cm..... 24.5 cm인 4 분원을 그리고 다시 절편각이 5° 씩 되는 선분을 그어 미소면적을 6 등분하였다.

그리고, 깊이 0.5 cm, 5 cm, 10 cm 및 15 cm에 대한 반지름이 0 ~ 1cm, 1 cm ~ 2 cm ..... 24 cm ~ 25 cm인 미소면적의 중심 0 점에 대한 SAR를 원형조사면에 대한 SAR 표를 이용하여 계산하였다. (참조 Table.1)

Table 1. Co-60 scatter-air ratios for SAR-chart. SAR E-5, sector angle=15°

Radius (cm)	depth (cm)				Radius (cm)	depth (cm)			
	0.5	5	10	15		0.5	5	10	15
0 ~ 1	29	171	159	129	13 ~ 14	13	23	35	44
1 ~ 2	28	146	153	122	14 ~ 15	11	22	35	40
2 ~ 3	26	129	142	119	15 ~ 16	9	21	31	37
3 ~ 4	25	112	113	113	16 ~ 17	8	20	28	33
4 ~ 5	24	75	104	101	17 ~ 18	8	16	26	32
5 ~ 6	23	59	83	91	18 ~ 19	8	15	23	30
6 ~ 7	23	50	75	83	19 ~ 20	5	14	19	29
7 ~ 8	23	45	67	75	20 ~ 21	4	12	19	25
8 ~ 9	22	39	59	67	21 ~ 22	4	11	17	21
9 ~ 10	20	32	53	62	22 ~ 23	3	10	16	17
10 ~ 11	19	26	43	54	23 ~ 24	2	6	11	16
11 ~ 12	17	25	41	47	24 ~ 25	2	5	9	13
12 ~ 13	14	24	37	46					

조사면모델 (Fig.3)들의 점 a와b에서 SAR은 각 조사면을 0.5 cm, 5 cm, 10 cm 및 15 cm 깊이로 사영시켜, 이 사영된 조사면을 도표에 올려놓고 관심점과 도표의 중심점을 일치시킨 다음 조사면에 관심점을 중심으로 수직선과 수평선을 그었다. 그 다음 조사면이 차지하는 미소 면적의 수를 반지름에 따라 세어 그 미소면적에 대응하는 SAR를 곱하고, 이들 값을 합하여 조사면 전체의 SAR를 구하였다. 이때 미소면적의 일부 분만을 차지하는 조사면은 제 1상환을 이용하여 SAR를 계산하고, 미소면적을 6등분한 면에도 걸치는 부분은 반으로 간주하였다.

이렇게 하여 구한 값을 식 (1) 및 (4)에 대입하여 TAR과 %DD를 구하였다.

#### 4) 컴퓨터에 의한 계산

조사면 모델 (Fig.3)들의 점 a와b에서 SAR를 구하기 위해 사용된 컴퓨터는 NEC사 제품 CAP-PLAN이며 Clarkson 원리를 계산방법으로 채택하고 있다. 이 컴퓨터는 기본적인 자료로서 TAR(0), 원형조사면에 대한 SAR 및 중심이탈계수등이 기억되어 있다.

이 컴퓨터에 조사면 모델 (Fig.3)들의 Collimator 조사면의 크기, 조사면의 모양, 방사선의 종류, SSD 및 관심점의 깊이등을 입력하여 각 점에서 평균 SAR를 구하였다.

이렇게 하여 구한 SAR를 식(1)에 대입하여 TAR를 구하였다.

#### 5) 근사법에 의한 계산

본 연구에서는 부정형조사면을 동일 면적의 유효 조사면으로 근사시키는 방법을 이용하여 TAR 및 %DD를 계산하였다.

이 결과 조사면 모델 (Fig.3) A, B, C, D 및 E의 유효조사면 크기는 각각  $14 \times 14 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 12 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 13 \text{ cm}^2$ ,  $12 \times 22 \text{ cm}^2$  및  $12 \times 19 \text{ cm}^2$ 가 되었다. 그 다음 이 유효조사면들의 등가조사면을 표에서 찾아 이미 연구된 자료를 이용하여 TAR 및 %DD를 구하였다.

## 4. 결과 및 논의

Table.2는 조사면모델 (Fig.3) A, B, C, D 및 E의 선속중심축상의 점 a에 대해 팬텀내 물 표면으로부터 0.5 cm, 5 cm, 10 cm 및 15 cm 깊이에서 측정법과 계산법인 도표, 컴퓨터계산법 및 근사법에 의해 산출한 TAR와, 계산법들로 구한 TAR를 측정법으로 구한 TAR에 비교한 것이다. (참조 Table.2)

이 표에서 도표나 컴퓨터계산법으로 구한 TAR는 측정법으로 구한 TAR에 비해 모델 A, B, C, D 및 E 모두에서 오차가 1%미만으로 잘 일치함을 보였으며, 근사법에서도 잘 일치하고 있으나 모델 E는 mantle 형에서만 1.8%의 조금 큰 오차를 보였다.

한편, 도표나 컴퓨터계산법으로 구한 TAR가 측정법에 의한 TAR보다 작은 것으로 나타났다. 이것은 두께가 5 cm인 납으로 일차방사선을 차폐하여도 5%정도의 방사선이 투과되어 산란방사선을 발생시키나 도표나 컴퓨터계산법은 이를 고려하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

Table.3은 조사면 모델 (Fig.3) B, C 및 D의 선속 중심축에서 벗어난 점 b에 대해 팬텀내 물표면으로부터 0.5 cm, 5 cm, 10 cm 및 15 cm 깊이에서 측정법과 계산법인 도표, 컴퓨터계산법 및 근사법에 의해 산출한 TAR와, 계산법들로 구한 TAR를 측정법으로 구한 TAR에 비교한 것이다. (참조 Table.3)

이 표에서 도표, 컴퓨터계산법 및 근사법으로 구한 TAR는 측정법으로 구한 TAR에 비해 최대의 오차가 2.4%, 2.3% 및 8.8%임을 보였다.

이들 결과로부터 관심점이 선속 중심축을 벗어나면 중심축상에 있을때 보다 오차가 커짐을 알수 있으며, 근사법이 도표나 컴퓨터계산법보다 오차가 큰 것은, 근사법에서는 관심점의 위치가 변하여도 유효조사면의 크기가 변하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

Table.4는 모델 E인 mantle 형 조사면의 선속 중심축상의 점 a와 중심축에서 벗어난 점

b에 대해 팬텀내 물표면으로부터 5cm, 10cm 및 15cm 깊이에서 도표, 컴퓨터계산법 및 근사법으로 구한 TAR를 식(4)에 대입하여 각각의 %DD를 나타낸 것이다. 이때 중심축에서 벗어난 점에 대하여는 중심이탈계수를 곱하여 계산하여야 한다.<sup>5,9)</sup> (참조Table.4)

이 표에서 컴퓨터계산법으로 구한 %DD와 도표 및 근사법으로 구한 %DD를 비교하면, 전자는 평균 0.2%의 차를 보여 서로 잘 일치하였으며 후자는 평균 1.2%의 조금 큰 차를 보였다.

또한, 중심축에서 벗어난 점 b에서는 전자는 평균 0.03%의 차를 보여 서로 거의 일치하였으며 후자는 평균 3%의 큰 차를 보였다. 이러한 결과는 Khan 등<sup>8)</sup>의 보고와 잘 일치한다.

Fig.6은 1/L (1: 중심점과 중심점에서 벗어난 점을 잇는 선분의 길이, L: 중심점에서 앞의 선분을 연장하여 조사면 끝과 만나는 점까지의 길이)에 대한 중심이탈계수를 나타낸 그림이다. (참조Fig.6)

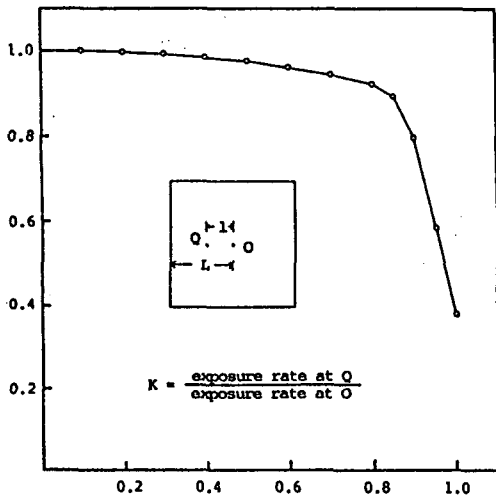


Fig.6. A plot of off-axis ratio K vs. 1/L. 1 is the off-axis distance to point Q from the central axis and L is the distance to point of the edge of the beam from the central axis

이 그림으로부터 중심에서 멀어질수록 중심이탈 계수가 작아지는데 이것은 선원이 부피를 가지고

있어 반응영이 생기는 것과, 선원으로부터 각점까지의 거리가 다르기 때문이다.

이상의 결과등을 종합하면 관심점이 선속 중심축상에 있는 경우 mantle형과 같이 매우 복잡한 조사면을 제외하면 TAR를 계산하는데 있어서 앞의 어떠한 계산방법을 사용하더라도 무리가 없음을 알 수 있다. 관심점이 중심축에서 벗어난 경우에는 도표나 컴퓨터계산법이 근사법에 비해 TAR의 보다 정확한 값을 구할 수 있었다.

또한, 도표와 컴퓨터계산법에 의해 구한 TAR 및 %DD는 거의 일치함을 보여 주었다.

## 5. 결 론

부정형조사면인 팔각형, L형, M형, 역Y형 및 mantle형 조사면 다섯가지의 각 관심점에서 도표, 컴퓨터계산법과 근사법으로 계산한 TAR와 %DD에 비교 분석하였다.

이들 결과는 다음과 같다.

a) 위의 다섯가지 조사면의 중심축상의 점에서 도표, 컴퓨터계산법 및 근사법으로 계산한 TAR는 측정법으로 구한 TAR에 비해 대부분 오차가 1%미만으로 잘 일치함을 보였으며 mantle형의 경우에서만 근사법에서 오차가 1.8%로 조금 크게 나타났다.

b) L형, M형 및 역Y형조사면의 중심 축에서 벗어난 관심점에서 도표, 컴퓨터계산법 및 근사법으로 계산한 TAR는 측정법으로 구한 TAR에 비해 최대의 오차가 2.4%, 2.3% 및 8.8% 로서 도표나 컴퓨터계산법으로 구한 TAR가 근사법으로 구한 TAR보다 정확한 것으로 나타났다.

c) mantle형조사면의 중심축상의 관심점에서 도표 및 근사법으로 구한 %DD는 컴퓨터계산법으로 구한 %DD에 비해 전자는 차가 평균 0.2%로 서로 잘 일치하였으며 후자는 차가 평균 1.2% 조금 크게 나타났다. 또한, 중심축에서 벗어난 관심점에서 전자는 차가 평균 0.03%로 서로 거의 일치하였으며 후자는 차가 평균 3%로 크게 나타났다.

이상의 결과로부터 방사선 치료현장에서 누구나

Table 2. Comparison of calculated and measured TARs for irregularly shaped fields at central axis points. Central axis SSD=80cm

Model	Depth (cm)	Measured	Calculated (%)		
			SAR - chart	Computer	Approximation
A	0.5	-	1.048( - )	1.047( - )	1.048( - )
	5	0.934	0.933(-0.1)	0.934( 0.0)	0.935( 0.1)
	10	0.765	0.760(-0.7)	0.761(-0.5)	0.761(-0.5)
	15	0.610	0.605(-0.8)	0.606(-0.7)	0.606(-0.7)
	average		(-0.5 ± 0.4)	(-0.4 ± 0.4)	(-0.4 ± 0.4)
B	0.5	-	1.045( - )	1.044( - )	1.046( - )
	5	0.925	0.924(-0.1)	0.924(-0.1)	0.931( 0.6)
	10	0.752	0.747(-0.7)	0.747(-0.7)	0.756( 0.5)
	15	0.594	0.591(-0.5)	0.592(-0.3)	0.599( 0.8)
	average		(-0.4 ± 0.3)	(0.4 ± 0.3)	(0.6 ± 0.2)
C	0.5	-	1.046( - )	1.046( - )	1.048( - )
	5	0.930	0.928(-0.2)	0.927(-0.3)	0.935( 0.5)
	10	0.756	0.752(-0.5)	0.752(-0.5)	0.760( 0.5)
	15	0.600	0.597(-0.5)	0.598(-0.3)	0.605( 0.8)
	average		(-0.4 ± 0.2)	(0.4 ± 0.1)	(0.6 ± 0.2)
D	0.5	-	1.053( - )	1.052( - )	1.051( - )
	5	0.942	0.940(-0.2)	0.943(-0.1)	0.940(-0.2)
	10	0.777	0.772(-0.6)	0.773(-0.5)	0.770(-0.9)
	15	0.622	0.620(-0.3)	0.621( 0.2)	0.616(-0.1)
	average		(-0.4 ± 0.2)	(0.2 ± 0.3)	(-0.7 ± 0.4)
E	0.5	-	1.048( - )	1.047( - )	1.050( - )
	5	0.923	0.918(-0.5)	0.920(-0.3)	0.938( 1.6)
	10	0.753	0.742(-1.5)	0.746(-0.9)	0.765( 1.6)
	15	0.597	0.594(-0.5)	0.593(-0.7)	0.611( 2.3)
	average		(-0.6 ± 0.3)	(-0.8 ± 0.6)	(1.8 ± 0.4)

(%) = calculated-measured / measured × 100



Table 3. Comparison of calculated and measured TARs for irregularly shaped fields at off-axis points. Central axis SSD=80 cm

Model	Depth (cm)	Measured	Calculated (%)		
			SAR-chart	Computer	Approximation
B	0.5	-	1.031(-)	1.030(-)	1.046(-)
	5	0.884	0.869(-1.7)	0.869(-1.7)	0.931(5.3)
	10	0.696	0.678(-2.6)	0.679(-2.4)	0.756(8.6)
	15	0.532	0.521(-2.1)	0.523(-1.7)	0.599(12.6)
	average		(-2.1 ± 0.5)	(-1.9 ± 0.4)	(8.8 ± 3.7)
C	0.5	-	1.032(-)	1.032(-)	1.048(-)
	5	0.890	0.872(-2.0)	0.872(-2.0)	0.935(5.1)
	10	0.701	0.681(-2.9)	0.681(-2.9)	0.760(8.4)
	15	0.537	0.525(-2.2)	0.526(-2.0)	0.605(12.7)
	average		(-2.4 ± 0.5)	(-2.3 ± 0.5)	(8.7 ± 3.8)
D	0.5	-	1.052(-)	1.052(-)	1.051(-)
	5	0.942	0.941(-0.1)	0.944(0.2)	0.940(-0.2)
	10	0.780	0.772(-1.0)	0.773(-0.9)	0.770(-1.3)
	15	0.621	0.624(0.5)	0.622(0.2)	0.616(-0.8)
	average		(-0.2 ± 0.8)	(-0.2 ± 0.6)	(-0.8 ± 0.6)

(%) = calculated - measured / measured × 100

Table 4. Comparison of calculated percents for the mantle field at points a and b (Fig. 3). Central axis SSD = 80 cm

Model	point	Depth (cm)	% DD relative to Dmax at CA		
			SAR-chart	Computer	Approximation
	a	5	78.6	78.8	80.1
		10	56.6	57.0	58.3
		15	40.7	40.7	41.8
E	b	5	72.9	72.9	75.3
		10	51.7	51.7	54.8
		15	36.3	36.2	39.3

간편하고 쉽게 사용할 수 있도록 새로 고안한 도표를 이용한 계산법의 정확성을 확인하였다.

### References

1. Khan, F.M., "The Physics of Radiation Therapy." Baltimore, Williams & Wilkins, 1984.
2. Johns, H.E., Cunningham, T.R., "The Physics of Radiology.", 4th Ed., Springfield, Ill., Charles C.T., 1983.
3. Hospital Physicists' Association., "Central Axis Depth Dose Data for Use in Radiotherapy." (Supp. 11), Brit. J. Radiol., 1978.
4. Wrede, D., Tai, D., Edwards, F., Coffey, C., Schroader, K. "An Inter-comparison Between Two Methods of Obtaining Percentage Depth Dose for Irregularly Shaped Fields and Comparison of Each Method with Experimental Data for Co-60 and 10MV X-Rays." Brit. J. Radiol., 52, 1979.
5. Khan, F.M., Levitt, S.H., Moore, V.C., Jones, T.K. "Computer and Approximation Methods of Calculating Depth Dose in Irregularly Shaped Fields." Radiol., 106, Feb., 1973.
6. Hendee, W.R., "Medical Radiation Physics." Chicago, Ill., Year Book Medical, 1970.
7. Day, M.J., "A Note on the Calculation of Dose in X-Ray Field.", Brit. J. Radiol., 23, 1950.
8. ICRU, "Measurement of Absorbed Dose in a Phantom Irradiated by a Single Beam of X and Gamma Rays." ICRU Report 23, 1973.
9. Cundiff, J.H., Cunningham, J.R., Golden, R., et al. "A Method for the Calculation of Dose in the Radiation Treatment of Hodgkin's Disease.", Am. J. Roentgenol., 117, Jan., 1973.