

## LiF(Mg, Cu, Na, Si) 열형광선량계를 사용한 $^{60}\text{Co}$ $r^-$ 선의 수중 흡수선량 측정

김현자 · 정운혁  
부산대학교 물리학과

이우교 · 도시흥  
부산수산대학 응용물리학과

### 요 약

새로 개발한 LiF(Mg, Cu, Na, Si) 열형광선량계를 사용하여  $^{60}\text{Co}$  원격조사장치에 의한 수중흡수 선량을 측정하였다. 공기중 조사선량으로부터 TLD 공동의 흡수선량 교정인자( $D_{\text{TLD}}/\text{TL}$ )를 결정하였고, 수중흡수선량은 TLD 공동의 흡수선량을 측정하여 공동이론에 의해 해석하였다.  $10 \times 10 \text{cm}^2$  및  $5 \times 10 \text{cm}^2$ 의 빔 크기에서 팬텀내 여러지점에 대하여 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD로 수중흡수선량을 결정하고 동일한 위치에서 NE 2561 전리함을 사용하여 측정한 값과 비교한 결과, LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD의 측정오차( $\pm 3\%$ ) 범위내에서 잘 일치 하였다.

빔의 크기가  $5 \times 5 \text{cm}^2$ ,  $10 \times 10 \text{cm}^2$  및  $30 \times 30 \text{cm}^2$ 인 경우에 깊이-선량 백분율과 팬텀-공기 선량비를 측정하였으며 이 값들은 British Journal of Radiology(1983)의 데이터와 잘 일치하였다.

Key words : TLD, absorbed dose, percentage depth dose, phantom-air ratio

### I. 서 론

방사선 진단과 치료등의 방사선 의학, 방사선 방어 및 식품가공에 있어서는 선량계의 지시값을 매질의 흡수선량으로 해석하는 것이 중요하다. 일반적으로 매질(물 혹은 조직)과 선량계의 공동 물질(공기 등) 및 공동벽 물질(graphite, lucite 등)은 서로 다르므로 선량계의 지시값을 선량계 공동의 흡수선량과 관련짓고 이를 공동이론(cavity theory)[1-3]에 의해 매질의 흡수선량으로 해석한다.

열형광선량계(TLD)는 선량계의 형태와 크기를 임의로 변화시킬 수 있어, 방사선 치료시 필름이나 전리함등의 다른 선량계로 측정이 곤란한 영역에서 in vivo 측정에 적합하며 특히 공간적 분해

능이 좋고 선량 측정범위가 넓은 장점이 있어, 선량변화가 심한 영역에서의 선량분포 측정이 용이하다[4-7]. 또한 TLD는 다루기 쉽고 재사용이 가능하며 환경의 영향을 거의 받지 않는다.

TLD 가운데  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 : \text{Mn}$ , BeO 및 LiF : Mg, Ti를 비롯한 LiF계 등의 조직등가 물질은 조직내 흡수선량 측정에 유리하다. 그러나 BeO는 독성이 강하고  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 : \text{Mn}$ 은 습기에 약하며 [8] 또한 이들은 열형광감도에 있어서 비조직등가 물질인  $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ ,  $\text{CaF}_2$ 등에 비해 1/20-1/50에 불과하다.

그런데 최근 본 연구팀에서는 조직등가 물질 이면서 열형광 감도가 뛰어난 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 개발한바 있다[9]. 이는 환경인자(습

기, 자외선 등)의 영향을 거의 받지 않으며 열형광감도 및 감쇠특성도 기존의 LiF TLD보다 우수하였다[10].

본 연구에서는 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 조직내의 흡수선량 측정에 사용하기 위하여, 현재 방사선 치료장치로서 많이 보급되어 있는 <sup>60</sup>Co 원격조사장치에 의한 수중 흡수선량을 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 측정하였다.

먼저 공기중에서 전리함과 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 같은 방사선장에 노출한 후 전리함으로 측정된 조사선량 및 공동이론에 의해, LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD공동의 흡수선량 교정인자 ( $D_{TL}/TL$ )를 구하였다. 팬텀내 여러지점의 수중 흡수 선량은 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD 공동의 흡수선량을 측정하고 이로부터 공동이론에 의해 결정하였다. 또한 TLD로 측정된 수중흡수선량의 검증을 위하여 동일한 위치에서 공동전리함(NE 2561)을 사용하여 IAEA(1986)[11]의 방법에 따라 측정된 후 비교 분석하였다.

그리고 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 여러가지 빔크에서, 선량제산에 필요한 팬텀내 깊이-선량 백분율(percentage depth dose)과 팬텀-공기 선량비(phantom-air ratio)를 측정하였으며 이를 다른 연구자들의 결과와 비교하였다. 빔의 크기가 큰 30×30cm일 때에는 산란선에 대한 영향을 비교하기 위해 LiF(Mg, Cu, Na, Si)외에, LiF TLD-700 및 CaSO<sub>4</sub>:Dy (Teledyne Isotopes)를 함께 사용하였다.

## II. 이 론

### 1. 공동이론

매질의 흡수선량을 측정하기 위해서는 선량계가 매질내에 들어가야만 한다. 이때 선량계의 공동 및 공동벽 물질과 매질이 원자번호나 구성성분에 있어서 서로 다른 일반적인 경우에 선량계 공동의 흡수선량과 매질의 흡수선량 사이에는 다음과 같은 관계가 있다. [8]

$$D_M = \frac{1}{f} D_C \quad (1)$$

여기서  $D_M$ 은 매질의 흡수선량,  $D_C$ 는 선량계 공동의 흡수선량을 나타내며 공동이론은 이 두 양을 관련짓는  $f$ 에 대한 식을 제공한다.  $f$ 는 공동의 크기( $t_c$ ), 공동벽의 두께( $t_w$ ), 공동과 공동벽 물질의 구성성분 및 입사방사선의 에너지에 의존하는 인자로서 Burlin의 공동이론에 의하면 표1과 같이 요약할수 있다[12].

Table 1. Expressions for the correction factor  $f = D_C/D_M$  depending on the size of the cavity( $t_c$ ) and the thickness of the wall ( $t_w$ ) compared with the range of the secondary electrons,  $R$ .

	$t_w \ll R$	$t_w > R$
$t_c \ll R$	$S_{C,M}$	$(\bar{\mu}_{en/\rho})_{w,M} \cdot S_{C,w}$
$t_c \approx R$	$d \cdot S_{C,M} + (1-d) \mu_{C,M}$	$\bar{\mu}_{w,M} \cdot [d S_{C,M} + (1-d) \mu_{C,M}]$
$t_c \gg R$	$\mu_{C,M}$	$\bar{\mu}_{C,M}$

표 1에서  $S_{C,M}$ 은 매질에 대한 공동의 평균 질량 충돌 저지능비로서 식(2)와 같이 계산된다.

$$S_{C,M} = \frac{1}{E} \int_0^E \frac{(\bar{S}/\rho)_{coll,c}}{(\bar{S}/\rho)_{coll,M}} dE \quad (2)$$

여기서  $\bar{E}$ 는 매질내에서 생성된 2차전자의 평균에너지로서 입사광자의 에너지에 의존한다.  $(\bar{\mu}_{en/\rho})_{C,M}$ 은 매질에 대한 공동의 평균질량 흡수 계수비로서 (3)식과 같이 정의된다.

$$(\bar{\mu}_{en/\rho})_{C,M} = \frac{(\bar{\mu}_{en/\rho})_C}{(\bar{\mu}_{en/\rho})_M} \quad (3)$$

또한  $d$ 는 공동의 크기가 공동벽 매질에서 발생된 2차 전자 비정에 관계없이 적용가능한 일반공동이론에서 제안된 가중치(weighting factor)로서,  $d \cdot S_{C,M}$ 은 공동밖에서 발생한 전자가 공동 내부의 흡수선량에 기여하는 비율을 나타내며  $(1-d) \cdot (\bar{\mu}_{en/\rho})_{C,M}$ 은 공동내에서 photon과 공동 물질과의 상호작용에 의하여 공동내부의 흡수선량에 기여하는 비율을 나타낸다.

2. 깊이-선량 백분율과 팬텀-공기 선량비

그림 1의 오른쪽은 빔이 팬텀내로 입사하는 모습이고, 왼쪽은 같은 조건에서 팬텀만을 치운 상태이다. 깊이-선량 백분율은 최대선량 위치(Y)에서의 선량에 대한 임의의 점(X)에서의 선량을 백분율로 표시한 것이다.

$$P(W, d, SSD, hv) = 100 \cdot \frac{D_x}{D_y} \quad (4)$$

이 값은 빔의 크기(W), 수중깊이(d), 선원에서 팬텀 표면까지의 거리(SSD) 및 입사 에너지(hv)에 의존한다. 평균에너지 1.25 MeV인  $^{60}\text{Co}$  광자의 경우 최대선량은  $d_m = 0.5\text{cm}$ 에서 나타난다.

조직-공기 선량비는 조직 및 공기의 같은 위치(X 및 X')에서 측정된 선량비이다.

$$T_a(W_d, d, hv) = D_x / D_x \quad (5)$$

이 값은 빔의 크기( $W_d$ ), 깊이(d) 및 입사 에너지(hv)에 따라 다르고 특별히 최대선량 위치에서의 조직-공기 선량비를 후방산란인자라고 하며 다음과 같이 표시된다.

$$B(W_m, hv) = D_T / D_A \quad (6)$$

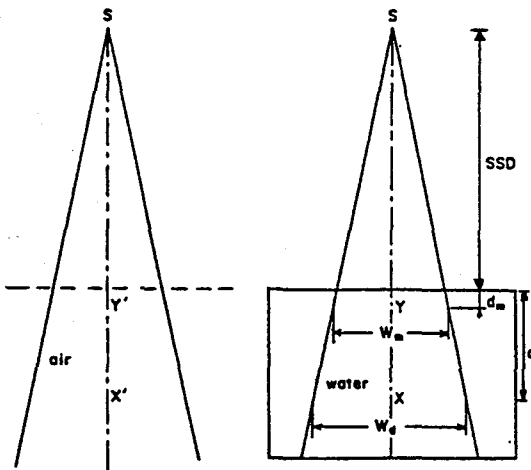


Fig. 1. Diagram to illustrate the meaning of functions that facilitate the calculation of absorbed dose in a phantom.

매질내 임의의 지점의 흡수선량은 기준점[13]에서의 흡수선량만을 측정하면 깊이-선량 백분율과 팬텀-공기 선량비 테이블을 이용하여 계산할 수 있다.

III. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 열형광선량계는 LiF(Mg, Cu, Na, Si)로서 이는 LiF에 Mg(0.6 mole %), Cu(0.6 mole %) 및  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (2.0 mole %)를 활성제로 첨가한 열형광분말이다. 이 물질의 TLD로서의 특성은 표 2에 나타내었다. 그리고  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 의 빔크기에서는 LiF TLD-700 및  $\text{CaSO}_4 : \text{D}_2$  (Teledyne Isotopes, powder type)를 함께 사용하였다.

Table 2. Characteristics of LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD

Glow peak	230°C
Approx. emission max.	400nm
Ratio of TL response 50keV/ $^{60}\text{Co}$	1.38
Sensitivity	about 20 times higher than LiF TLD-700
Linear range	$5 \times 10^{-5} - 10^2 \text{ Gy}$
Thermal fading	about 5% in 5 months
Optical fading	Not appreciable

열형광분말을 방수가 되는 플라스틱 캡슐(두께 0.9mm, 내경 3.2mm)에 넣어 공기중에서와 물팬텀내에서 선량계로 사용하였으며 공기 중에서는 2차전자평형을 위해 4mm의 루사이트판 ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$ )을 플라스틱 튜브 양쪽면에 부착하였다. 그림 2는 물팬텀내에서의 흡수선량 측정 실험 배치도로서 TLD캡슐을 플라스틱 튜브의 구멍에 끼워 위치를 고정하였으며 물팬텀은 10mm 두께의 루사이트로 된  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ 의 크기이다.

또한 LiF(Mg, Cu, Na, Si)TLD의 교정 과 TLD에 의한 측정치의 검증을 위해 일본의 ETL(Electro-

technical Laboratory)에서 교정한 NE 2561(cavity size : 0.325cc(직경 : 7.35mm). wall : graphite 0.09 g/cm<sup>3</sup>) 2차 표준전리함을 사용하였다.

조사된 TLD의 흡수선량을 읽기 위해 10mg(± 0.1mg)의 시료를 은으로 만든 planchett에 고르게 펼친 후 세라믹 열판으로 가열하였다. 선형가열율은 5°C/sec로 일정하게 하였으며 불활성 기체는 사용하지 않았다. 열전대(Chromel-Alumel)와 광전증배관(RCA 5819)으로 검출된 전기적 신호와 광신호를 각각 증폭하여 X-Y 기록제에서 glow curve를 얻었으며 주 피이크의 높이로부터 선량을 해석하였다. LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD와 TLD reader에 의한 오차는 ±2%이내였다.

γ-선 조사장치는 국립보건원과 부산 백병원에 있는 <sup>60</sup>Co 원격 조사장치를 이용하였다.

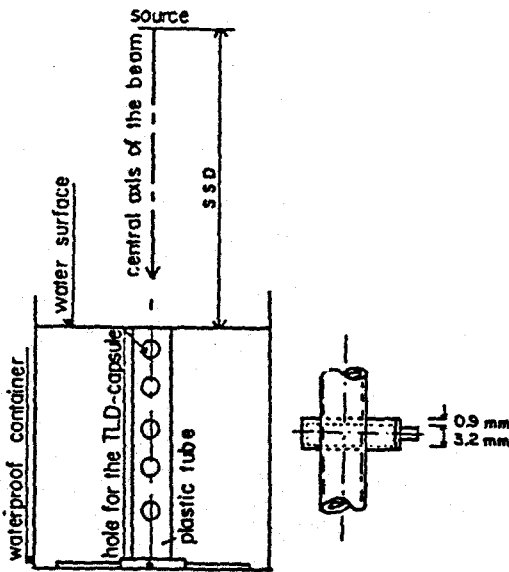


Fig. 2. Schematic diagram for measurements of absorbed doses in water.

<sup>60</sup>Co r-선 조사장치의 선원에서 팬텀표면까지의 거리는 80cm로 고정하고 비임 조절기를 사용하여 물팬텀 표면에서 빔의 크기가 5×5cm<sup>2</sup>, 5×10cm<sup>2</sup>, 10×10cm<sup>2</sup> 및 30×30cm<sup>2</sup>가 되도록 하였으며 각 빔 크기에서 팬텀 표면으로부터 수중 깊이 20cm까지 2.5cm간격으로 측정하였다.

빔은 빔의 크기와 수중깊이에 관계없이 모두 같은 시간동안 조사하였다.

#### IV. 결과 및 논의

##### 1. 수중 흡수선량

TLD공동의 흡수선량은 공기중에서 NE 2561 전리함으로 측정된 조사선량으로부터 계산하였으며 수중 흡수선량은 TLD 공동의 흡수선량으로부터 공동이론에 의해 해석되었다. 공동이론에 관련된 인자들은 다음과 같이 결정하였다. 먼저 각 물질내에서 광자에 의해 생성된 전자의 평균 에너지를 계산하였다. <sup>60</sup>Co의 1.25MeV 광자에 의해 생성된 이차전자는 거의 Compton 효과에 기인한다. Compton 효과에 의해 생성되는 이차전자의 평균 에너지는  $hv \frac{e^0}{e^0 a}$  로서 hv 는

입사 광자 에너지이고 e<sup>0</sup> 와 e<sup>0</sup>a 는 Klein-Nishina의 단면적이다[14]. 계산된 2차전자 에너지에 대한 각 물질내에서의 평균비정을 구하고 평균 질량 충돌 저지능은 ICRU Report[15]의 자료로부터 산출하였으며, 평균 질량 에너지 흡수계수는 Hubbel[16]의 값을 사용하였다. 공동이론에 관련된 인자들을 구하여 표3에 나타내었다.

LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD의 공동크기는 열형광 분말을 담은 플라스틱 튜브의 크기(내경 : 3.2mm)와 같고 이것이 <sup>60</sup>Co r-선에 의해 생성된 Compton 전자의 TLD 공동내에서의 최대비정보다 크다. 따라서 공기 중에서 2차전자평형을 위해 루사이트(두께 : 4mm)로 둘러싼 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD의 흡수선량(D<sub>TLD</sub>)은 다음과 같이 계산된다 [17].

$$D_{TLD} = (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{TLD} D_{lucite} \quad (7)$$

여기서  $(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{TLD}$ 는 <sup>60</sup>Co 1.25MeV r-선에 대한 lucite 및 TLD에서의 평균 질량흡수계수비  $[(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{TLD}/(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{lucite}]$ 이다. D<sub>lucite</sub>는 TLD를 둘러싼 루사이트판의 흡수선량으로서 D<sub>lucite</sub> = 0.869 · X · (μ<sub>en</sub><sup>-</sup>/ρ)<sub>lucite, air</sub> · 0.964이다. 0.869는 1 R당 공기의 흡수선량(red)이며 X는 조사선량(R)

이고 0.964는 루사이트를 통과하는 광자의 감쇠 보정인자이다.

식(7)을 이용하면 조사선량의 측정값으로부터 TLD공동내 흡수선량이 계산되며 이때의 TL 출력을 측정하여 단위 TL출력(arb, unit)당 TLD흡

수선량 즉, TLD 흡수선량인자( $D_{\text{TLD}}/\text{TL}$ )를 구할 수 있다. 물팬텀 내에서 조사할 때는 루사이트를 부착하지 않았으며 수중 흡수선량은 공동이론에 의해 다음과 같이 결정하였다.

$$D_{\text{water}} = (\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{water, TLD}} \cdot D_{\text{TLD}} \quad (8)$$

Table 3. The values of  $\bar{E}$ ,  $\bar{R}$ ,  $S/\rho$ ,  $\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho$ .

	material	$\rho$	$\bar{E}$	range	(S/ $\rho$ )	$\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho$
Ion. chamber cavity	Air	0.001205	0.586	0.2558	2.25	0.0267
Ion. chamber cavity wall	Graphite	2.250	0.558	0.2567	2.27	0.0268
TLD cavity	LiF	2.675	0.586	0.2802	2.06	0.0247
Build up material	Lucite	1.180	0.588	0.2330	2.47	0.0288
Medium	Water	1	0.586	0.2268	2.54	0.0297

LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 결정한 수중흡수선량을 검증하기 위해 NE 2561공동 전리함으로 수중흡수선량을 측정하여 비교하였다.

물팬텀내에서 공동전리함에 의한 흡수선량 측정은 IAEA Draft (1986)[11]의 '광자 및 전자 비임에 의한 흡수선량 결정의 국제적 실행규약'에 따라 행하였다. 이것에 의하면 2차표준전리함을 사용할때  $^{60}\text{Co}$  및 고에너지의 광자나 전자의 흡수선량은 다음 식으로 결정된다.

$$D_{\text{water}} = M_u \cdot N_D \cdot \bar{S}_{\text{water, air}} \cdot p \quad (9)$$

여기서  $M_u$ 는 전리함 Meter의 지시값을 온도와 기압에 대해 보정한 수치이며,  $N_D$ 는 전리조 기체공동의 평균 흡수선량인자로서  $N_D = N_x \cdot W_{\text{air/e}} \cdot K_{\text{at}} \cdot K_m$ 으로 계산된다.  $N_x$ 는 조사선량률 교정 인자이며 본 실험에 사용된 공동전리함(NE 2561)의 경우 107.0 R/V로서 일본의 ETL에서 교정하였다.  $K_{\text{at}}$ 는 전리조벽에서의 감쇠보정 인자이고,  $K_m$ 은 전리조벽과 build-up cap의 비공기등가 보정인자로서 각각 0.995와 0.984를 취하였다.  $W_{\text{air/e}}$ 는 공기 중에서 한개의 이온쌍을 형성시키는데 필요한 에너지로서 33.97 J/C이다. P는 물팬텀내 전리함의 교란인자로서 0.992로 계산하였다[18].

한편 물에서  $^{60}\text{Co}$  r-선에 의해 생성된 이차전자들의 기체공동에서의 평균 비정은 NE 2561 기체공동의 크기보다 훨씬 크고 전리함벽(graphite, 0.09g/cm<sup>3</sup>)에서 생성된 전자가 공동내 흡수선량에 기여하는 비율은 거의 없으므로[19] 기체공동의 흡수선량( $D_{\text{air}}$ )은 전적으로 물에서 생성된 2차전자들에 기인한다. 따라서 공동이론에 의해 수중 흡수선량( $D_{\text{water}}$ )은  $D_{\text{water}} = \bar{S}_{\text{water, air}} \cdot D_{\text{air}}$ 이다. 여기서  $\bar{S}_{\text{water, air}}$ 는  $^{60}\text{Co}$  r-선에 의해 물에서 생성된 2차전자들의 공기 및 물에서의 평균 질량 충돌 저지능비로서 1.133을 취하였다[20].

그림 3은 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD와 NE 2561 공동전리함을 사용하여 측정된 수중흡수선량을 비교한 것이다. 그림 3(a)는 비임의 크기가 10×10cm<sup>2</sup>일때 빔 중심축과 중심축에서 5cm떨어진 축을 따라 깊이 2.5cm에서 17.5cm까지 2.5cm간격으로 측정된 수중흡수선량 값이며, 그림 3(b)는 5×10cm<sup>2</sup>의 빔 크기에서 빔 중심축과 중심축에서 2.5cm 떨어진 축을 따라 깊이 2.5cm에서 17.5cm까지 2.5cm간격으로 측정된 수중 흡수선량 값이다.

이때 NE 2561 공동전리함의 및 TLD의 측정치의 표준편차는 각각 ±1.5% 및 ±3%이었으므로 두 값은 편차의 범위내에서 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

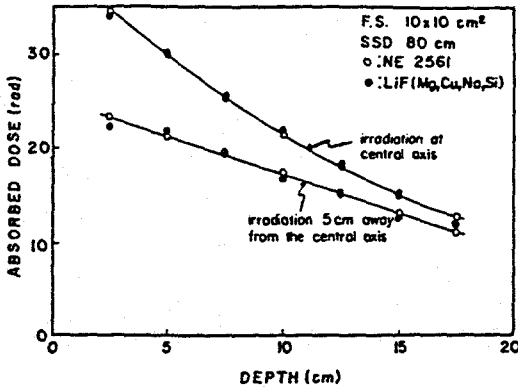


Fig. 3 (a)

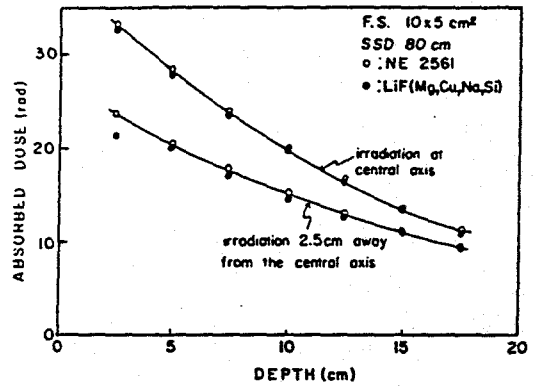


Fig. 3 (b)

Fig. 3. Comparison of absorbed doses in water for <sup>60</sup>Co determined by LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD(●) and NE 2561 cavity chamber(○).

Source to surface distance is 80cm. (a) is for field size=10×10cm<sup>2</sup>, (b) is for field size=5×10cm<sup>2</sup>.

2. 깊이-선량 백분율 및 팬텀-공기 선량비

Table 4는 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 깊이 5mm에서의 최대선량에 대한 빔 중심축에서의 깊이-선량 백분율을 측정된 것이다. 또한 Table 5는 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여, 공기중 및 물팬텀에서 측정된 비임 중심축에서의 팬텀-공기 선량비를 측정된 것이다. 이때 <sup>60</sup>Co γ-선원에서 팬텀표면까지의 거리는 80cm로 고정

하고 이지점에서 빔의 크기를 각각 5×5cm<sup>2</sup>, 10×10cm<sup>2</sup>, 30×30cm<sup>2</sup>가 되도록 하였으며 이 결과들을 British Journal of Radiology(1983)[21]의 데이터와 비교하였다. 그리고 30×30cm<sup>2</sup>의 빔 크기에서는 산란선에 대한 TLD들의 반응을 보기 위해 LiF(Mg, Cu, Na, Si) 외에 LiF TLD-700 및 CaSO<sub>4</sub> : Dy (Teledyne Isotopes, powder)를 사용하여 측정하였다.

LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 측정된

Table 4. Comparison of percent depth doses as measured by different TLDs at different field sizes with the published depth dose data(Br. j. Radiol. Suppl. 17) for <sup>60</sup>Co γ-irradiations. Source to surface distance is 80cm.

F. S	5×5cm <sup>2</sup>		10×10cm <sup>2</sup>		30×30cm <sup>2</sup>			
	Pub.*	Exp.	Pub.	Exp.	Pub.		Exp.	
Depth (cm)	LiF(MgCuNaSi)		LiF(MgCuNaSi)		LiF(MgCuNaSi)	CaSO <sub>4</sub> : Dy	LiF(TLD-700)	
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100
5	75.2	75.8	78.8	78.9	82.1	82.2	86.0	82.8
10	51.2	50.7	56.4	56.1	62.6	61.6	67.3	63.0
15	34.5	34.7	39.4	39.8	46.9	46.2	50.2	47.5
20	23.2	23.2	27.4	28.5	34.7	34.0	37.1	34.9

\* : Br. J. Radiol. suppl. 17, 45-55(1983).

깊이-선량 백분율 및 팬텀-공기 선량비는 각 빔 크기에서 모두 BJR 데이터와 잘 일치함을 알 수 있다. 그리고 빔의 크기가  $30 \times 30\text{cm}^2$ 일때 LiF TLD-700을 사용하여 측정된 깊이-선량 백분율 및 팬텀-공기 선량비는 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD의 측정치 및 BJR 데이터와 서로 잘 일치하나  $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 를 사용하여 측정된 값은 평균 20%정

도 높게 나타났다. 이는 빔의 크기가 커지면 다중산란에 의해 생성된 200 keV 이하의 광자가 빔 중심축 부분의 선량에 기여하는 비율이 현저히 증가[22]하고, 유효 원자번호가 큰  $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$  ( $Z_{\text{eff}}=15.4$ )는 이러한 저에너지 광자에 감도가 크기 때문에 해석된다.

Table 5. Comparison of phantom-air ratios as measured by different TLDs at different field sizes, with the published tissue-air ratio data (Br. j. Radiol. Suppl.17) for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -irradiations.

F. S	$5 \times 5\text{cm}^2$		$10 \times 10\text{cm}^2$		$30 \times 30\text{cm}^2$			
	Pub.* LiF(MgCuNaSi)	Exp.	Pub. LiF(MgCuNaSi)	Exp.	Pub. LiF(MgCuNaSi)	CaSO <sub>4</sub> : Dy	Exp. LiF(TLD-700)	
0.5	1.018	1.02	1.035	1.04	1.070	1.06	1.12	1.06
5	0.849	0.88	0.905	0.91	0.987	1.00	1.10	1.00
10	0.642	0.66	0.718	0.72	0.830	0.81	1.01	0.86
15	0.474	0.49	0.547	0.58	0.683	0.68	0.83	0.70
20	0.348	0.37	0.411	0.47	0.548	0.57	0.67	0.59

### V. 결 론

새로 개발한 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 식품조사 및 방사선 치료에 많이 이용되는  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -선에 의한 수증흡수선량을 측정함으로써 그 유용성을 조사하였다.

$10 \times 10\text{cm}^2$ ,  $5 \times 5\text{cm}^2$ 의 비임크기에서 팬텀내 여러지점의 수증흡수선량을 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 측정하였으며 이 결과를 동일한 위치에서 공동전리함으로 측정된 값과 비교한 결과 잘 일치하였다.

따라서 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD가  $r$ -선의 수증흡수선량 측정에 사용될 수 있음을 확인하였으며 흡수선량의 결정과정은 고에너지 전자선의 경우에도 그대로 적용할 수 있으므로 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 고에너지 광자 및 전자선의 측정에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

또한 비임의 크기가  $5 \times 5\text{cm}^2$ ,  $10 \times 10\text{cm}^2$  및  $30 \times 30\text{cm}^2$ 일때 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 깊이-선량 백분율 및 팬텀-공기 선량비를 측

정하였고 이는 British Journal of Radiology(1983)의 데이터와 잘 일치하였다. 또한 비임의 크기가  $30 \times 30\text{cm}^2$ 일때 LiF TLD-700 및  $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ (Teledyne Isotopes)를 사용하여 깊이-선량 백분율 및 팬텀-공기 선량비를 측정하고 이를 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 사용하여 측정된 값과 비교하였다. 그 결과, LiF TLD-700로 측정된 결과는 LiF(Mg, Cu, Na, Si)의 결과와 잘 일치하나 비조직등가 물질인  $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 는 저에너지 산란선의 영향으로 최고 20% 정도의 증가를 보였다. 따라서 이점에 있어서는 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD가  $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 에 비해 조직내 흡수선량측정에 유리하며, 또한 LiF TLD-700에 비해 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD의 열형광감도가 20배 정도 높으므로 조직내 흡수선량 측정시 LiF(Mg, Cu, Na, Si)의 유용성이 입증되었다.

따라서 LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD를 방사선 치료시설의 출력 점검, 빔의 균일성 점검 및 in vivo 측정등에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.





LiF(Mg, Cu, Na, Si) Thermoluminescent Dosimeters  
for In-phantom Dosimetry  
of  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays.

Hyun-Ja Kim, Woon-Hyuk Chung  
*Department of Physics, Pusan National University*

Woo-Gyo Lee, Sih-Hong Doh  
*Department of Applied Physics, National Fisheries University of Pusan*

ABSTRACT

Newly developed LiF(Mg, Cu, Na, Si) thermoluminescence phosphors sealed in a plastic capsules (3.2mm dia., 0.9mm wall thickness) were used for in-phantom dosimetry of  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -irradiation. The absorbed doses in water were determined by applying the general cavity theory to the absorbed dose in TLD cavity, which was computed from exposure.

The absorbed doses at various sites in the water-phantom were measured by LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD and compared with doses obtained by the ionization method. Both results were consistent within the experimental fluctuation ( $\pm 3\%$ ).

Central axis percentage depth doses and phantom-air ratios measured by LiF(Mg, Cu, Na, Si) TLD showed good agreement with the published values [Br. J. Radiology, Suppl. 17(1983)].