

## ANSI 13.32 말단부 팬텀에 의한 열형광말단선량계의 방향의존성 연구

김중수, 윤석철, 윤여창  
한국원자력연구소

### 요 약

본 연구에서는 ANSI N13.32(1995)에서 제시한 손가락, 손목/발목 기준 팬텀[1]을 설계 제작하여 Teledye 사의 말단선량계(finger와 wrist dosimeter)에 대한 방향의존성 실험을 수행하였다. 방사선원으로는 PTB 2차 베타표준선원  $^{204}\text{Tl}$ (0.24 MeV),  $^{90}\text{Sr/Y}$ (0.8 MeV) 그리고  $^{137}\text{Cs}$ (0.66 MeV) 표준 감마선원을 사용하였으며, 말단선량계로는 LiF Teflon(D-LiF-7-0.13)을 사용하였다.  $90^\circ$  에서  $10^\circ$  까지  $20^\circ$  씩 수직과 수평으로 팬텀을 회전하여 정상각과 비정상각에 대한 상대응답을 제시하였다. 실험결과  $90^\circ$  에서 모든 선량계는 잘 일치하였다.  $^{90}\text{Sr/Y}$ 은  $50^\circ$  정도에서 다소 방향의존성이 적은 결과를 보였으며,  $^{204}\text{Tl}$ 는  $20^\circ$  에서 최소 13% 정도의 심한 방향의존성이 나타났다. 또한  $^{137}\text{Cs}$ 은  $10^\circ$  에서도 최대 10.6% 정도의 적은 방향의존성을 나타냈다.

본 실험의 결과로 부터 말단선량계는 저에너지와 낮은 투과 방사선[2]에서 심하게 방향의존성이 나타남을 알 수 있었다.

### 1. 서 론

인체 말단부 즉, 손가락, 손목/발목에 대한 선량 평가는 방사선으로 부터 작업자의 피부가 직접 노출되기 쉬운 glove box내의 작업이나, 방사성물질 시료의 채취나 분배등에서 피부에 피폭되는 선량으로 방사선작업자의 말단부에 대한 법적으로 요구하는 방사선안전 관리 사항에 하나로 방사선작업자의 말단부로 부터 방사선피폭에 의한 장해를 미연에 방지한다 측면에서 매우 중요하다. 개개인의 신체에 따라 피부의 민감층은 다르지만 방사선 방어 측면에서 개인의 피부에 피폭하는 선량 즉, 피부선량당량(shallow equivalent dose),

$H_s(d)$ 는 피부표면으로 부터 0.07mm 깊이에서의 선량당량,  $H_s(0.07)$ 이 피부선량당량의 측정으로 ICRP 39에서는 권고하고 있다[2]. 말단 팬텀의 표면선량을 기기로 직접 측정하는 것은 측정 위치에서의 sensitive volume이 방사선장의 교란을 피하기 위하여 상당히 작아야만 하기 때문에 어려운 일이다. 유사한 접근 방법으로 열형광선량계(Thermoluminescent Dosimeter: TLD)의 사용이 채택되었다[3]. TLD는 이용성, 민감층의 두께, dosimetric 성질등에 근거하여 Vinton Inst. Limited(Dutt et al. 1984)에서 effective depth(5mg/cm<sup>2</sup>의 LiF) 선량계가 제조되었다[4].

ANSI N13.32에서는 말단선량계 피폭선량평가를 위한 성능시험의 하나로 팬텀을 이용한 방향의존성을 제시하였다. 말단선량계의 방향의존성 실험은 TLD가 방향에 의존하여 선량이 다르게 나타나므로 정상각(normal anguler)과 비정상각(non normal anguler)에 대한 상대응답의 비율을 알므로서 말단선량계 성능시험평가에 정밀도[5]를 확보할 수 있으므로 본 실험에서는 이를 제시하였다.

## 2. 말단선량계 방향의존성 실험

본 연구를 위하여 말단선량계의 TLD 판독 시스템은 Teledyne 사의 Model 7300을 사용하였다. 판독 시스템의 작동은 범위스위치를 manual 에 놓았으며, Instruction Manual의 교정절차에 따라 조사한 40개의 TLD를 판독한 후 sensitivity control을 조절하여 수행하였다[6]. 또한 선량계 보정인자(element correction factor)를 각각의 TLD에 적용하였다[7]. 사용한 TLD는 Teledyne 사의 디스크형 LiF Teflon TLD(D-LiF-7-0.13)로 두께가 0.13mm, 지름이 12.5mm이다. 이는 조사시 Ring badge case와 wrist badge PB-1 case를 포함하였다. TLD의 판독은 fading 효과를 고려하여 적어도 24시간 이후에 판독하였다.

팬텀은 ANSI N13.32의 기준에 따라 외부는 지름 73mm, 길이 300mm의 tissue 등가물질을 사용하였으며, 이것의 중심에 지름 60mm, 길이 300mm의 bone 등가 물질인 알루미늄(ICRU35)을 삽입한 손목/발목 팬텀으로 제작하였으며, 손가락 팬텀으로는 지름 19mm, 길이 300mm의 tissue 등가물질을 사용하여 제작하였다. 이 두개의 팬텀은 모형이 정원실린더형(right-circular cylinder type)이다[1,8]. ANSI N13.32의 성능시험 기준에 근거하여 선원의 중심에서 부터 팬텀의 표면까지 베타의 경우 30cm와 감마의 경우 100cm의 거리에서 조사하였다. 조사시 TLD의 위치는 선원의 빔축의 중심과 TLD 그리고 팬텀표면의 장축의 중심에 서로 수직으로 일치시켰다. 팬텀의 중심 표면에 하나의 선량계만 부착하여

90°, 70°, 50°, 30°, 10° 의 회전각으로 팬텀을 수직과 수평으로 회전시켜 각각의 회전각에 대하여 10개의 TLD에 조사하였다. 조사한 선량의 범위는 베타와 감마선원을 각각 5 mGy(500 mrad)와 500 mR를 조사하였다. 본 실험에 사용한 손가락, 손목/발목 팬텀의 크기, 회전방향 그리고 조사거리를 그림1에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

본 실험은 PTB(Physikalisch-Technische Bundesanstalt) 2차 베타 표준선원으로 평균에너지 0.24MeV<sub>avg</sub>의 <sup>204</sup>Tl(18.5MBq), 0.8MeV<sub>avg</sub>의 <sup>90</sup>Sr/Y(1850MBq) 선원과 표준 감마선원으로 0.662MeV<sub>avg</sub>의 <sup>137</sup>Cs 선원을 사용하였다. 사용한 TLD는 각각의 회전각에 대하여 10개씩 600개와 판독기 교정을 위한 40개의 총 640를 실험하였다.

그림2에서 그림7의 실험결과는 수직 수평에 대한 방향의존성을 그 회전각에서 각각의 선원에 대한 상대응답과 비교한 것으로 5% 이내였다. 그림8에서 그림11은 <sup>204</sup>Tl, <sup>90</sup>Sr/Y와 <sup>137</sup>Cs 선원에 대한 방향의존성을 90° 에서 100%를 정상각으로하여 수직 수평 방향의존성을 finger와 wrist dosimeter에 대하여 나타낸 것이다. 0° 에서의 finger dosimeter의 수직 방향의존성은 각각 55.7%, 67.3%, 8.7%를 나타냈으며, 수평 방향의존성은 각각 55.8%, 72%, 8.5%를 나타냈다. 또한 wrist dosimeter의 0° 에서의 수직 방향의존성은 각각 75%, 79%, 10.6%를 나타냈으며, 수평 방향의존성은 각각 79%, 80%, 8.8%를 나타냈다. 50° 에서 이들의 수직 방향의존성은 7.4%, 24.2%, 4.2%를 나타내며, 수평 방향의존성은 8.1%, 27.7%, 3.3%를 나타냈다. <sup>137</sup>Cs의 수직 수평에 대한 방향의존성은 0° 에서 최대 10.6%로 전반적으로 방향의존성에 민감하지 않은 결과를 보였으며, <sup>90</sup>Sr/Y <sup>204</sup>Tl은 50° 부근에서 최대 8.1%이고 50° 이하의 회전각에서 급격한 방향의존성을 나타냈다. 반면에 <sup>204</sup>Tl은 전반적으로 심한 방향의존성으로 20° 에서 최소 13%의 방향의존성을 보였다.

### 4. 결 론

개인 말단선량계 선량평가의 정밀도에 많은 영향을 미치는 에너지의존성과 방향의존성이다. 본 연구에서는 ANSI N13.32의 말단선량계 피폭선량평가를 위한 성능기준의 하나인 방향의존성을 정상각과 비정상각에 대하여 수행한 것이다. 실험에 대한 결론은 ①<sup>137</sup>Cs 감마선에 경우 거의 방향의존성이 없었다. ②평가된 ANSI N13.32에서 제안된 기준팬텀을 사용하여 말단선량계의 방향의존성을 고려해 볼 때, 특히 저에너지 베타에 경우 30° 에서

0.5이하를 나타냈으므로 정확한 선량평가를 위하여 선량계의 설계 개선이 필요하다. ③수직 수평의 방향의존성에 대한 정상각과 비정상각에 대한 차이는 5% 정도로 큰 차이가 없었다. 따라서 향후 설계 개선된 말단선량계를 사용하여 말단선량계 특성을 재검토하고자 한다.

## 5. 참고문헌

1. American National Standard Institute, American National Standard for Dosimetry—persommel Dosimetry Performance—criteria for Testing, ANSI Report, 13.32(1995)
2. International Commission on Radiation Units and Measurement(ICRU), "Determination of Dose Equivalent Resulting from External Radiation Sources", ICRU Report 39, Maryland:International Commission on Radiation Units and Measurements(1985)
3. Peter L.Roberson, Fred N.Eichner and W.Dan Reece, "Determination of Photon Conversion Factors Relating Exposure and Dose for Several Extremity Phantom Designs", Health Physics Vol.57, No.5(November), pp.733-741,1989
4. Vinton Instruments Limited, Jessomy Road, Weybridge, Surrey KT13 8LE, U.K.
5. Phillip Plato, Robert Leib and Joceph Miklos, "Two methods for examing angular response of personnel dosimeters", Health Physics Vol.54, No.6,(June) pp.597-606, 1988
6. Teledyne Isotopes' "Thermoluminescences Dosimetry System TLD-7300 Instruction Manual".
7. Phillip Plato and Joseph Mikols, "Production of Element Correction Factor for Thermoluminescent Dosimeter", Health Physics Vol.49, No.5(November), pp.873-888, 1985
8. International Commission on Radiation Units and Measurements(ICRU), "Radiation Dosimetry: Electron Beams with Energies Between 1 and 50 Mev", ICRU Report 35, 1984

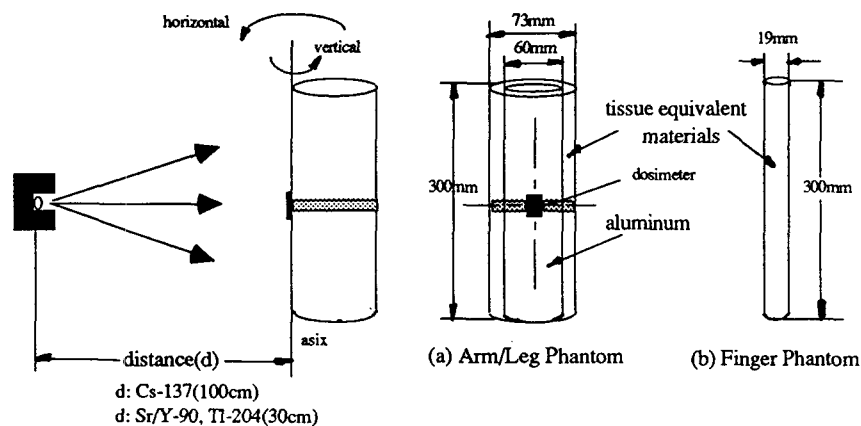


Fig.1 The direction of rotation of phantom for beam axis and its dimensions used to this study.

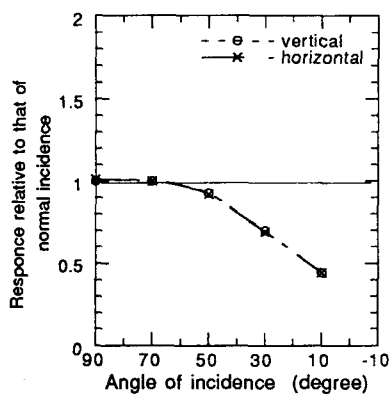


Fig.2 Relative response of TL dosimeter versus angle of incidence for Sr/Y-90 to finger dosimeter.

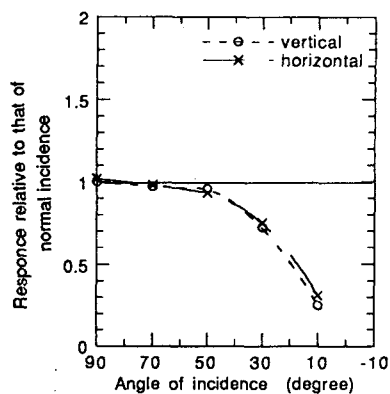


Fig.3 Relative response of TL dosimeter versus angle of incidence for Sr/Y-90 to wrist dosimeter.

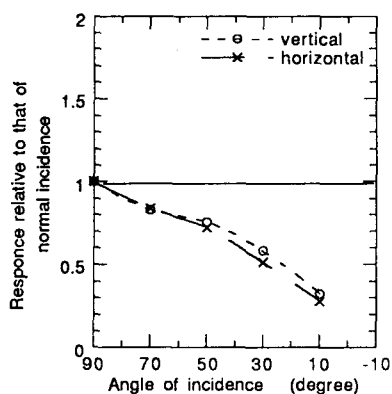


Fig.4 Relative response of TL dosimeter versus angle of incidence for Ti-204 to finger dosimeter.

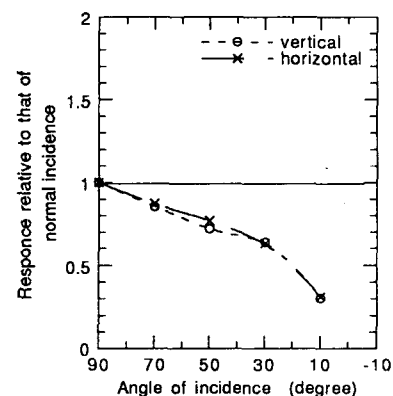


Fig.5 Relative response of TL dosimeter versus angle of incidence for Ti-204 to wrist dosimeter.

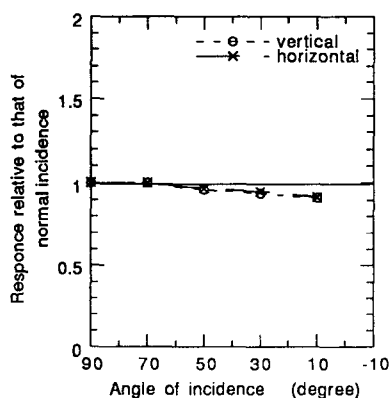


Fig.6 Relative response of TL dosimeter versus angle of incidence for Cs-137 to finger dosimeter.

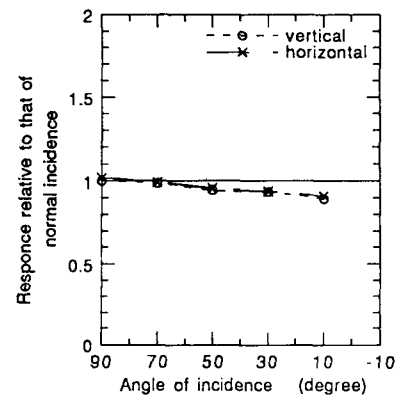


Fig.7 Relative response of TL dosimeter versus angle of incidence for Cs-137 to wrist dosimeter.

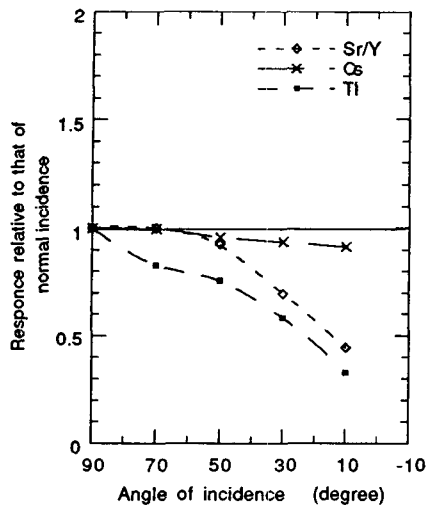


Fig.8 Vertical relative response for finger dosimeter on phantom.

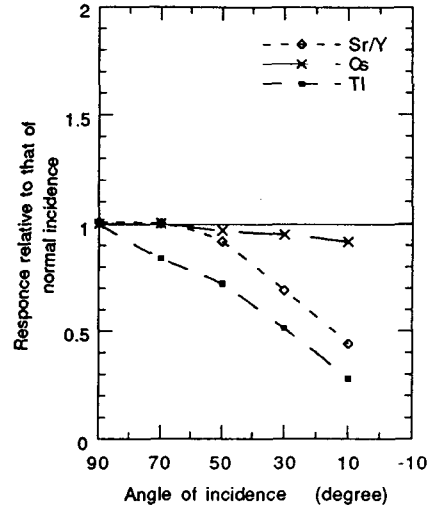


Fig.9 Horizontal relative response for finger dosimeter on phantom.

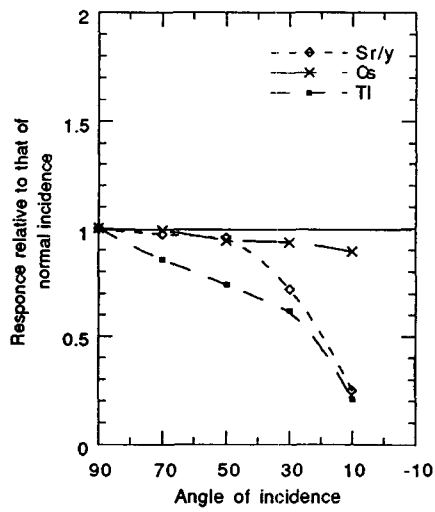


Fig.8 Vertical relative response for wrist dosimeter on phantom.

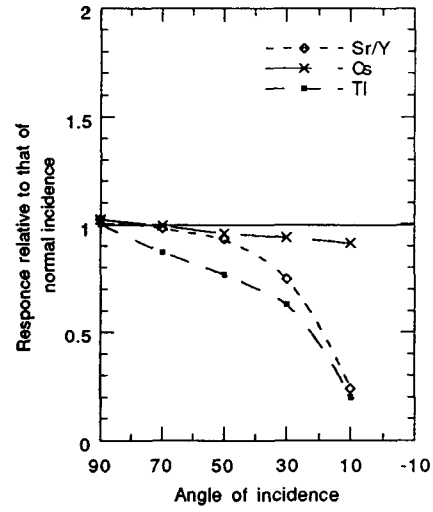


Fig.8 Horizontal relative response for wrist dosimeter on phantom.