

영상의학과에서 사용되는 광자극 형광선량계와 전자식 개인선량계의 방향 의존성 비교

권순무*, 박정규**, 김부순***

요 약

최근 개인선량계로 사용이 증가하고 있는 수동형 선량계인 OSLD와 능동형 선량계인 EPD의 상대 반응도(relative response), 측정 불확도(uncertainty of measurement)를 계산하여 방향의존성(angular dependence)을 비교, 분석하였다. OSLD는 수평, 수직방향의 $0^{\circ} \sim \pm 90^{\circ}$ 범위에서 평균 상대 반응도는 0.97, 0.95의 작은 변화를 보였고 방향의존성에 대한 불확도는 0.65, 0.62로 전체 불확도에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되었다. EPD는 $0^{\circ} \sim \pm 60^{\circ}$ 범위에서 수평, 수직방향 평균 상대 반응도는 0.94, 0.97로 확인되어 IEC 61526 규정을 만족하였다. 방향의존성에 대한 불확도는 수평, 수직방향에서 0.44, 0.40로 전체 불확도에 미치는 영향은 미미하였다. 그러나 수평방향에서 $+90^{\circ}$, -90° 방향의 상대 반응도는 0.60, 0.37이고 수직방향에서 $+90^{\circ}$ 방향의 반응도는 0.06으로 반응도의 큰 변화를 관찰할 수 있었다. OSLD의 방향 의존성은 $0^{\circ} \sim \pm 90^{\circ}$ 범위까지 EPD에 비해 우수하였으며 EPD의 경우 구조적 특징으로 반응도가 급변하는 특정방향이 존재하였다. 따라서 수동형선량계와 보조선량계의 병행사용이 개인피폭선량측정의 정확도를 기할 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 전자개인선량계, 광자극형광선량계, 방향 의존성, 상대 반응도, 측정 불확도

The comparison of angular dependence for optical stimulated luminescence dosimeter(OSLD) and electronic personal dosimeter(EPD) used in Diagnostic Radiology

Soon-mu Kwon*, Jeong-kyu Park**, Boo-soon Kim***

Abstract

The angular dependence of active dosimeters, EPD, is analysed and compared with that of passive dosimeters, OSLD, after evaluating their relative response and uncertainty of measurement, where it is known that the personal use of them has been increased recently. There appeared a minor variation for average relative response of OSLD in the horizontal and vertical directions within the range $0^{\circ} \sim \pm 90^{\circ}$, which are 0.97 and 0.95 respectively. The variations of angular dependence in the same situations with OSLD are 0.65 and 0.62, respectively, which also reveals a negligible effect on the overall uncertainty. EPDs within the interval $0^{\circ} \sim \pm 60^{\circ}$ for horizontal and vertical directions are 0.94 and 0.97, respectively. These satisfy the requirements of IEC 61526. Uncertainties about the dependence of direction from horizontal and vertical directions are 0.44, 0.40, respectively. The impact of these uncertainties on the overall uncertainty was negligible. However, we observed a significant change in reactivity: the relative reactivities for $+90^{\circ}$ and -90° from the horizontal direction are 0.60, 0.37, while that from vertical direction is 0.06. The direction dependence of OSLD was superior to EPD in the range of $0^{\circ} \sim \pm 90^{\circ}$. There appeared a rapidly changing structural features in EPD response for a certain direction.

Therefore, we conclude that concurrent use of passive dosimeters and auxiliary dosimeter provides accurate data for personal dose measurements.

Keywords : Electronic personal dosimeter, Optical stimulated luminescence dosimeter,
Angular dependence, Relative response, Uncertainty of measurement

1. 서론

방사선을 이용한 의료영상분야에서 작업종사자들의 방사선 피폭을 측정하기 위한 법정선량계로 film badge, thermo luminescent dosimeter(TLD), radiophoto luminescent glass dosimeter (RPLD) 등이 사용되고 최근에는 optical stimulated luminescence dosimeter(OSLD)의 사용이 증가하고 있다[1]. 이러한 수동형 선량계 중 TLD는 넓은 선량측정 범위(수 μSv ~수천 Sv), 우수한 감도, 장기간의 집적선량측정, 낮은 온도 변동성($\pm 5\%$ 이내), 높은 정확도와 재현성($\pm 3\%$ 이내)으로 일반적으로 사용되는 개인피폭선량계이다[2, 3]. OSLD는 방사선에 조사된 알루미늄산화물($\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$)에 특정 파장의 광자극으로 형광을 발생시키고 이 형광을 광전자증배관으로 수집한다. 이때 형광의 양은 입사방사선량과 광자극의 양에 비례하여 증가하는 원리를 이용한다[4]. OSLD는 기존 TLD보다 기계적으로 강도가 우수하고 화학적으로 안정하며, 퇴행(fading)특성 중 short term이 거의 없어 조사 후 즉시 판독이 가능하고 long term은 1년에 4% 이내로 TLD(6개월에 10% 이내)에 비해 장기간 측정 시 퇴행현상이 적다[5]. 또한 정확성과 재현성이 우수하며, 방사선을 사용하는 다양한 분야에 임상목적으로 적용이 가능하다고 보고되고 있다[6]. 하지만 수동형 선량계는 즉각적인 판독이 어렵고, 재사용을 위한 열처리(annealing) 과정이 필요하며 피폭이력 확인이 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 수동형 선량계의 단점을 극복하고 효율적인 방사선 피폭 선량 측정이 가능한 능동형 선량계인 전자식 개인선량계 (electronic personal dosimeter, 이하

EPD)의 보급과 사용이 증가하고 있다. EPD는 즉각적인 선량 및 선량률 표시기능, 일정선량 이상에서 알람을 울리는 경고기능, 피폭이력 제공 및 효율적인 선량 자료 관리 등의 장점이 있다. 또한 수동형 선량계보다 3배 이상 더 낮은 저선량을 측정할 수 있어 보조선량계 역할을 하고 있다[7, 8]. 이런 장점으로 프랑스에서는 법정 선량계로서 사용되고 있으며 영국에서는 사용이 증가하고 있다[9]. EPD의 검출소자로는 Si 반도체 또는 GM관를 사용하며 반도체검출기는 기체 전리형 검출기와 유사한 동작특성(전리작용에 의해 생성된 이온쌍을 이용하여 생성된 펄스 계수)을 가진다. W값이 작아 에너지 분해능이 우수하고 소형 휴대용 개인 선량계 제작에 사용되고 있다. EPD의 에너지 의존성은 허용 가능한 범위이나 수십~수백 keV 범위에서 다소 불안하고 높은 선량률 측정과 일시적인 에너지 변화에 따른 반응과 관련하여 자세히 조사가 필요하다[10]. 또한 의료영상분야에서 수 msec 정도의 단시간 노출에 대해서는 측정결과를 신뢰할 수 없어 수동형 선량계를 대신할 수 없고 피폭상황을 고려하여 적용하여야 한다는 보고도 있었다[11]. 이와 같이 선량계는 검출기 고유의 특성과 다양한 피폭상황에 따라 그 반응의 정도가 변화하게 된다. EPD의 경우, 반응도에 영향을 끼치는 주된 인자로는 입사방사선의 에너지와 방향 등이 있다[12].

본 연구의 목적은 개인피폭선량계로 최근 사용이 증가하고 있는 수동형 선량계인 OSLD와 능동형 선량계인 EPD의 방향의존성을 비교, 분석하고자 한다. OSLD는 제조사에서 제공하는 자료, EPD는 국제전기표준회의(international electrotechnical commission)인 IEC 61526 규정을 기준으로 하였다. 의료영상분야에 종사하는 방사선 작업종사자의 피폭은 주로 저에너지의 X-선에 의해 발생되며, 직접적인 일차선을 포함하여 다양한 각도의 산란선에 의해 발생된다. 따라서 제작사와 IEC 규정에서 정한 측정방향을 포함하여 다양한 각도에서의 방향의존성을 확인하여 종사자들의 개인피폭선량 이해에 도움이 되고자 한다.

※ Corresponding Author : Jeong-kyu Park

Received : May 31, 2015

Revised : June 29, 2015

Accepted : June 30, 2015

* Daegu Health College Dept.of Radiologic Technology

** Daegu Health College Dept.of Radiologic Technology

Tel: 053-320-1363, Fax: 053-320-1449

email: pjk7407@hanmail.net

*** Daegu Health College Dept.of Radiologic Technology

2. 실험장치 및 방법

2.1 일반촬영장치

본 연구에는 진단용 방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙에 의한 성능검사에서 적합 판정을 받은 3상 전과정류방식의 일반촬영장치기(Shimadzu, UD150-40E)를 이용하였다. 장치의 용량은 630 mA/150 kVp, 총여과(total filtration)는 2.5 mmAl Eq, 초점-선량계간 거리는 100 cm, 조사면적 10×10 cm² 으로 설정하였다. 인체모형팬텀(anthropomorphic phantom model, KYOTO KAGAKU, PBU-60)의 몸통(body trunk) 부분을 사용하였으며 노출조건은 관전압 80 kVp, 관전류 200 mA, 조사시간 0.1 sec이다. 이 노출조건은 일반촬영에서 몸통에 적용하는 일반적인 조건이며 표준방사선품질(standard radiation quality)의 RQR6 선질에 해당된다[13].

2.2 선량계

2.2.1 광자극형광선량계

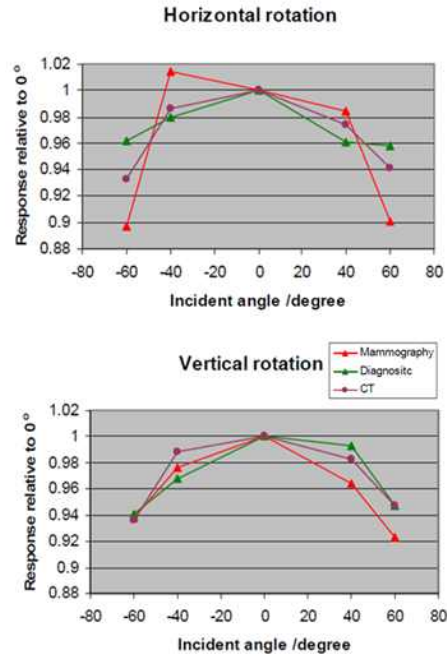
OSLD는 nanoDot™ (Landauer Inc, www.landauerinc.com)과 판독장치인 InLight microStar system (Landauer Inc, www.landauerinc.com)을 사용하였다(그림 1). 선량측정 범위는 0.01 mSv ~ 10 Sv, 진단영역에서의 재현성은 ±5% 미만이며 RQR6 선질인 80 kVp (평균에너지 44 keV, HVL 2.9 mmAl)에서 선량과 감도의 교정인자, k = 1.39, 측정 불확도는 약 5%이다. 그림 2는 IEC의 표준방사선품질에 의해 교정되어 제조사에서 제공하는 방향의존성 자료이다[14].

(그림 1) 광자극 형광선량계와 판독시스템



(Figure 1) optical stimulated luminescence dosimeter and reading system

(그림 2) 제조사에서 제공한 나노닷선량계의 방향 의존성

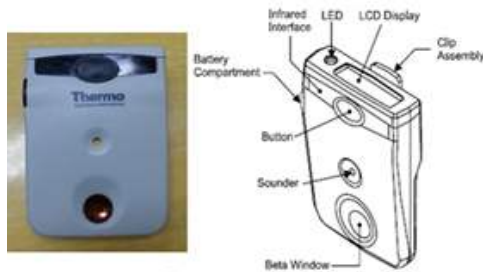


(Figure 2) Angular dependence of nanoDot™ provided by manufacturer.

2.2.2 전자식개인선량계

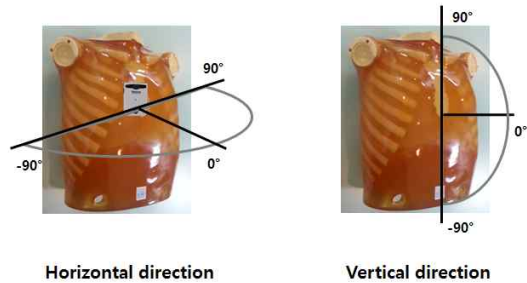
전자식개인선량계는 Si 반도체 (Silicon diodes)를 사용한 EPD Mk2 (Thermo scientific)를 사용하였다(그림 3). 이 선량계는 Hp(0.07)(skin)과 Hp(10)(deep)의 등가선량을 즉시 표시하며 에너지 측정범위는 15 keV ~ 10 MeV, 선량 측정범위는 1 μSv ~ 10 Sv, 에너지의존성은 광자의 Hp(10)의 경우 17 keV ~ 1.5 MeV에서 ±30%, 방향의존성은 ±25% ~ ±75%이다[15]. EPD의 교정은 한국인정기구(KOLAS)에서 인정한 교정기관(세안기술(주))에서 교정을 하였고, 교정에 사용된 방사선은 137Cs 감마선이며 교정인자는 1.015, 측정 불확도는 6.4%이다. EPD의 시험에 관한 국제 규격인 IEC 61526 규정에는 입사하는 방사선 에너지와 방향 의존성에 대한 범위로 감마선 에너지 80 keV ~ 1.5 MeV, 측정방향 0° ~ 60°에서 -29% ~ 67% 이내로 규정하고 있다[16].

(그림 3) 전자식 개인 선량계



(Figure 3) electronic personal dosimeter

(그림 4) 방향 의존성 측정 각도



(Figure 4) Distribution of the angle to measure the angular dependence.

2.3 실험 방법

팬텀을 촬영대 위에 위치시키고 선량계는 전방(0°방향)을 향하도록 팬텀 전면의 가운데 부분(xiphoid process) 표면에 위치시켰다. 지정한 방향에서 동일한 노출조건으로 선량계를 향해 X-선을 조사하였다. 방향의존성(angular dependence) 측정은 EPD와 OSLD에 대해 수평방향(horizontal direction)과 수직방향(vertical direction)으로 180° 범위를 30°도 간격으로 7단계(step)로 실시하였다. 수평방향은 팬텀 전면부의 정면(0°)을 기준으로 좌측으로 -90°방향, 우측으로 90°방향, 수직방향은 팬텀 전면부의 정면(0°)을 기준으로 위로 90°방향, 아래로 -90°방향으로 지정하였다(그림 4).

각 방향에 대해 EPD는 5회씩, OSLD는 3회씩 실시하고 EPD는 조사 직후 측정치를 기록하고 OSLD는 선량계 전문판독기관(한일원자력(주))에 의뢰하고 3일 이내에 판독하여 측정치를 얻었다. 수평, 수직방향 모두, 0°지점의 측정치를 기준으로 6개 지점의 상대 반응도(relative response)와 측정 불확도(uncertainty of measurement)를 평가하였다. A type 불확도(동일한 측정조건하에서 반복 측정 될 때 적용), $v_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$ 이다. 여기서 s는 표준편차, n은 측정회수이다.

3. 연구 결과

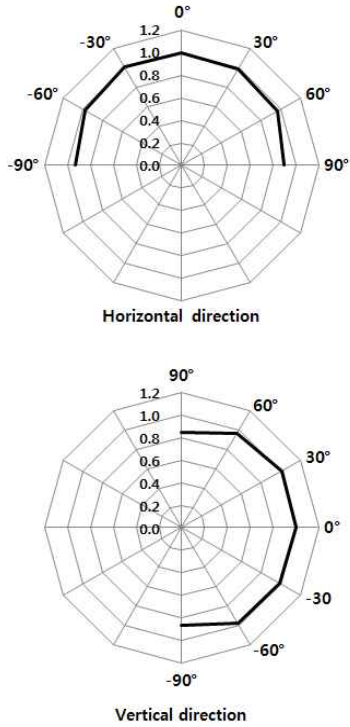
3.1 OSLD의 방향 의존성

OSLD에서 수직, 수평방향의 상대 반응도는 그림 5에서 관찰할 수 있다. 상대 반응도는 수평방향의 경우, 0°에서의 측정치를 기준으로 30°, 60°, 90°에서 각각 0.99, 0.96, 0.89를 나타냈고 -30°, -60°, -90°에서 각각 1.01, 0.98, 0.93을 나타냈다. 수직방향의 경우, 30°, 60°, 90°에서 각각 1.01, 0.97, 0.85를 나타냈고 -30°, -60°, -90°에서 각각 0.99, 0.98, 0.86을 나타냈다. 수직, 수평방향 모두 90°까지는 작은 변화를 나타냈고 좌, 우 대칭형의 변화 패턴을 보였다. 불확도는 0°~±60° 범위에서 수직방향은 0.65, 수평방향은 0.62였다.

3.2 EPD의 방향 의존성

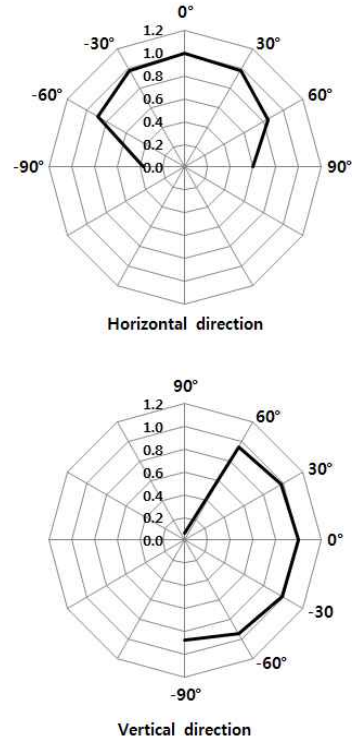
EPD에서 수직, 수평방향의 상대 반응도는 그림 6에서 관찰할 수 있다. 상대 반응도는 수평방향의 경우, 0°에서의 측정치를 기준으로 30°, 60°, 90°에서 각각 0.98, 0.84, 0.60를 나타냈고 -30°, -60°, -90°에서 각각 0.98, 0.89, 0.37을 나타냈다. 수직방향의 경우, 30°, 60°, 90°에서 각각 0.98, 0.94, 0.06을 나타냈고 -30°, -60°, -90°에서는 0.99, 0.94, 0.87을 나타냈다. 수평방향의 ±90° 지점에서는 상대 반응도가 급격히 감소하였으며 특히, 수직방향의 90°에서는 6% 정도의 상대 반응도를 나타냈다. 불확도는 0°~±60° 범위에서 수직방향은 0.44, 수평방향은 0.40이었다.

(그림 5) x선 80 keV에서 OSLD의 수평과 수직방향에 따른 상대적 반응



(Figure 5) Relative response of OSLD to 80 keV x-ray in the horizontal direction and vertical direction.

(그림 6) x선 80 keV에서 EPD의 수평과 수직 방향에 따른 상대적 반응



(Figure 6) Relative response of EPD to 80 keV x-ray in the horizontal direction and vertical direction.

4. 고찰

방사선작업종사자의 피폭은 방사선의 종류, 에너지, 선량, 선량률, 방향 등의 다양한 인자에 의해 영향을 받는다. 의료영상분야에서 방사선 작업 종사자의 피폭은 주로 μSv 단위의 낮은 선량이지만 경우에 따라서는 높은 선량의 피폭이 발생할 수 있고, 업무상 지속적으로 누적되며, 직접적인 일차선을 포함하여 다양한 각도의 산란선에 의해 발생된다. 따라서 방사선작업종사자는 TLD, RPLD, OSLD 등의 수동형 선량계를 착용하여 피폭의 정도를 확인, 관리하고 규제기관에 보고하도록 법에서 정하고 있다[17].

그 중 광자극형광선량계는 방사선에 조사된 산화알루미늄($\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$)의 물질에 특정 파장($\sim 550\text{nm}$)의 레이저를 조사하면, 조사된 방사선 에너지의 양에 비례하는 빛이 방출되는 광자극 형광과정을 이용한 선량계이다[18]. OSLD는 판독 과정에서 소량의 정보만이 소멸되므로 재판독이 가능하며 측정 가능한 선량과 에너지 범위가 넓고 온도, 습도 등의 환경적 요인에 안정적이다. 또한 낮은 검출한도(0.01mSv), 낮은 에너지 및 선량의존성을 가지고 있다. 전자식개인선량계는 GM관이나 Si 반도체를 사용한 선량계로 선량에 대한 직선성과 에너지의존성이 우수하다. 무엇보다 실시간으로 선량정보를 알 수 있고 설정된 선량 또는 선량률에서 경보를 내어 작업자의 과피폭을 방지하는 기능과 선량 정보 관리의 편리성을 가지고 있다. 환경적 요인에 안정적이며 퇴

행의 우려가 없으나 에너지, 방향, 통계적 변동을 종합하여 $\pm 30\%$ 의 성능을 보인다. 방향의존성의 경우 $\pm 50\%$ 의 비교적 높은 의존성을 가진다 [19]. 따라서 본 연구는 의료영상 분야에서 주로 사용하는 80kVp의 X선에 대해 법정 선량계인 OSLD와 보조 선량계인 EPD를 사용하여 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 범위에서 상대 반응도, 불확도를 측정하고 제작사와 규정에서 정한 기준과 비교해 선량계의 방향의존성을 알아보았다.

JR. Kerns 등은 선형가속기를 이용한 광자에 대한 연구에서 OSLD에 수직입사(0°)에 비해 수평입사($\pm 90^\circ$)의 경우, 6MV에서 4%, 18MV에서 3%의 반응도 저하를 보고하였다[20]. 연구에 사용한 OSLD의 경우, 제작사에서는 $0^\circ \sim \pm 60^\circ$ 범위에서 수평방향 평균 반응도는 0.98, 수직방향 평균 반응도는 0.97을 제시하였다. 연구결과, $0^\circ \sim \pm 60^\circ$ 범위에서 제작사가 제시한 값을 만족하였으며 그 범위를 $\pm 90^\circ$ 방향까지 확대하여도 수평, 수직방향의 평균 상대 반응도가 0.97, 0.95로 미미한 변화를 보였다. 연구에 사용한 OSLD의 측정 불확도는 5.0%이고 $0^\circ \sim \pm 60^\circ$ 범위에서 방향의존성에 대한 불확도는 수평방향에서 0.65, 수직방향에서 0.62를 포함하여도 전체 불확도에 미치는 영향이 작아 불확도 요인에서 제외해도 무방할 것으로 판단된다.

서장수 등의 연구에서 감마선 조사장치(^{137}Cs , 662keV)를 이용하여 360° 방향에서 조사한 전자개인선량계의 반응도 측정에서 전면부($0 \sim \pm 90^\circ$)의 평균 반응도가 0.98, 후면부의 평균 반응도가 0.93으로 거의 일정하였으며 방향의존성에 대한 불확도가 0.84%로 전체 불확도에 미치는 영향이 미미하다고 하였다[12]. 본 연구에서, EPD의 $0^\circ \sim \pm 60^\circ$ 범위에서 수평방향 평균 상대 반응도는 0.94, 수직방향 평균 상대 반응도는 0.97로 확인되어 IEC 61526 규정(80 keV \sim 1.5 MeV, $0^\circ \sim \pm 60^\circ$ 방향에서 -29%~67% 이내)을 만족하였다. 연구에 사용한 EPD의 측정 불확도는 6.4%이고 이 범위에서 방향의존성에 대한 불확도는 수평방향에서 0.44, 수직방향에서 0.40로 이를 포함하여도 전체 불확도에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다. 규정에서는 제외되지만 수평방향에서 $+90^\circ$, -90° 방향의 상대 반응도는 0.60, 0.37이고 수직방향에서 $+90^\circ$ 방향의 반응도는 0.06으로 반응도 값의 큰 변화를 관찰할 수 있었

다. 이는 연구에 사용한 EPD의 구조상 문제로 LCD panel, LED, battery 등이 수직방향 $+90^\circ$ 지점에 위치해 있고 모서리 부분에서 자체 재질 두께의 증가, 전자부품과 고정을 위한 clip이 위치하므로 상대반응도에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

수동형 선량계인 OSLD는 EPD에 비해 상대적으로 우수한 방향의존성을 가지고 있으나 실시간으로 선량정보를 알 수 없는 단점이 있다. 따라서 실시간의 선량정보와 예상치 못한 과피폭을 방지하고 방향의존성이 적은 피폭선량 정보를 얻기 위해서는 수동형, 능동형 선량계를 함께 사용하는 것이 좋은 방법으로 판단된다. IAEA(international atomic energy agency)에서도 선량 측정 시 정확성과 신뢰도 향상을 위해 기준 선량계와 측정 선량계를 교차 비교하여 사용할 것을 권고 하고 있다[21].

또한, 주기적인 방사선 피폭관리에 대한 조사가 필요하며, 방사선 작업종사자가 방사선에 노출될 수 있는 곳에서는 정확한 선량평가가 이루어져야 할 것이다[22].

본 연구의 제한점으로 상업화된 한 종류의 OSLD와 EPD만을 사용하였으므로 동일 방식의 모든 선량계에 적용하기엔 무리가 있다, 그러나 모든 EPD는 실시간으로 선량정보를 표시해야 하므로 검출소자 이외에 위치는 달라도 디스플레이 패널, 배터리, 전자부품, 고정클립 등은 필수적이며 이것들은 다양한 방향에서 입사하는 방사선에 대한 반응도에 영향을 미치게 된다. 따라서 각 EPD 마다 특정방향에 대해 반응도가 낮은 부위가 존재함을 인지하여야 할 것이다.

5. 결론

의료영상 분야에서 개인피폭선량계로 최근 사용이 증가하고 있는 수동형 선량계인 OSLD와 능동형 선량계인 EPD의 상대 반응도, 측정 불확도를 계산하여 방향의존성을 비교, 분석하였다. 제작사와 IEC 61526 규정에서 정하고 있는 $0^\circ \sim \pm 60^\circ$ 범위에서는 기준을 만족하여 방향의존성에 대한 불확도는 전체 불확도에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단된다. OSLD의 방향 의존성은 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 범위까지 EPD에 비해 우수하였으

며 EPD의 경우 구조적 특징으로 반응도가 급변하는 특정방향이 존재하였다. 따라서 수동형선량계와 보조선량계의 병행사용이 개인피폭선량측정의 정확도를 기할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] W.H. Lee, S.C Kim, and S.M Ahn. "Comparison on the Dosimetry of TLD and OSLD Used in Nuclear Medicine." The Journal of the Korea Contents Association Vol12. No2. pp329-334. 2012
- [2]Essers M, and BJ Milnheer. "In vivo dosimetry during external photon beam radiotherapy", International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, Vol43. No2. pp245-255. 1999
- [3] J.H.Choi, G.J. Kang, and S.G. Chang. "Comparison on the dosimetry of TLD and PLD by dose area product." The Journal of the Korea Contents Association Vol12. No3. pp244-250. 2012
- [4]Jursinic PA. Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs, for clinical dosimetric measurements. Med Phys. 2007;34(12):4594-4604
- [5] K. S. Chae, Y. K. Kim, S. I. Ho, K. S. Nho. "A Study on Thermoluminescent Dosimeter" kyungnam university. materials research Vol5. pp143-151. 1995
- [6] I. Mrčela1, T. Bokulić1, and J. Izewska2, "Optically stimulated luminescence in vivo dosimetry for radiotherapy: physical characterization and clinical measurements in 60Co beams," Physics in Medicine and Biology, Vol.56. No.18. 2011.
- [7] M Luzik-Bhadra and S Perle. "Electronic personal dosimeters will replace passive dosimeters in the near future". Radiat Prot Dosimetry. Vol123. No4. pp546-553. 2007
- [8] Bolognese-Milsztajn T, Ginjaume M, Luszik-Bhadra M, Vanhavere F, Wahl W and Weeks A. "Active personal dosimeters for individual monitoring and other New Developments". Radiat Prot Dosimetry. Vol12. No1. pp141-168. 2012
- [9] Zodiates T. "Operational experience with a legal electronic dosimetry system". 4th European ISOE, Lyon (France), 2004
- [10] JP McCaffrey, H Shen and B Downton. "Dose rate dependency of electronic personal dosimeters measuring X- and γ -ray radiation. Radiat. Prot. Dosim". Radiat Prot Dosimetry. Vol131. No2. pp229-235. 2008
- [11] Y. H. KANG,; S.M. KWON, B.S. KIM, "Relative ratio about dose value of thermoluminescence and optical stimulated luminescence dosimeter according to exposed condition in diagnostic radiation". Journal of the Korean Society of Radiology, Vol6. No6. pp 499-505. 2012
- [12] J.S. Seo etc. "Electronic personal dosimeter for gamma-ray measurement angular-dependent experiments", The Korean Association for Radiation Protection, pp 186-187. 2009
- [13] Korean Standards Association, "IEC 61267 Medical diagnostic X-ray equipment-Radiation conditions for use in the determination of characteristics".
- [14]Perks, Christopher A., Cliff Yahnke, and Marc Million. "Medical dosimetry using Optically Stimulated Luminescence dots and microStar readers." 2008..
- [15] <http://www.thermoscientific.com/en/product/epd-electronic-personal-dosimeters.html>
- [16] IEC 61526 "Radiation protection instrumentation - direct reading personal dose equivalent meters and monitors".
- [17] Nuclear safety and security commission http://www.nssc.go.kr/nssc/information/law2.jsp?mode=view&article_no=3012&pager.offset=100&board_no=9
- [18] M. S. Akselrod, Btter-Jensen L, and S.W. McKeever "Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry", Radiat Measurements. Vol.

41, pp.78-99, 2006.

[19] "Radiation detection & measurement", 2012, ISBN-13 978-89-5616-498-4, Chungu publishing co.

[20] J. R. Kerns, S. F.Kry, Sahoo, N. Followill, D. S., &Ibbott, G. S. "Angular dependence of the nanoDot OSL dosimeter". Medical physics, Vol38. No7. pp3955-3962. 2011

[21] IAEA. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. "An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water", Technical Reports Series No. 398, Vienna International Atomic Energy Agency, 2000

[22]J. K. PARK, E.H. CHO "Measurement of the Spatial Dose Rate for Distribution Room in Department of Nuclear Medicine", Journal of Digital Contents Society Vol. 13 No. 2 pp. 151-157 2012



권순무

2012년 : 대구가톨릭대학교 대학원 (방사선학 석사)

2014년 : 대구가톨릭대학교 대학원 (방사선학 박사과정수료)

1999년~2010년: 안동병원

2011년~2014년 : 경산1대학교 방사선과 교수

2014년~ 현재 : 대구보건대학교 방사선과 교수

관심분야 : 방사선학, 디지털영상처리, 방사선량측정



박정규

2008년 : 한서대학교 대학원 (방사선학석사)

2013년 : 영남대학교 대학원 (의공학 박사)

1999년~2006년: 차의과학대학교병원

2007년~2010년: 유일검사엔지니어링 방사선안전팀

2010년~ 현재 : 대구보건대학교 방사선과 교수

관심분야 : 방사선학, 디지털의료영상, 컴퓨터 저장장치



김부순

2002년 : 대구가톨릭대학교 대학원 (생물학전공, 이학박사)

1990년~ 현재 : 대구보건대학교 방사선과 교수

관심분야 : 방사선학, 투시조영영상학, 방사선생물학