

# A Study on the Presentation of Entrance Surface Dose Model using Semiconductor Dosimeter, General Dosimeter, Glass Dosimeter: Focusing on Comparative Analysis of Effective Dose and Disease Risk through PCXMC 2.0 based on Monte Carlo Simulation

Jun-Ho Hwang,<sup>1,2</sup> Kyung-Bae Lee<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Kyunghee University Hospital

<sup>2</sup>Department of Medical Physics, The Graduate School of Bio-Medical Science, Korea University

Received: February 14, 2018. Revised: April 15, 2018. Accepted: April 30, 2018

## ABSTRACT

One of the purposes of radiation protection is to minimize stochastic effects. PCXMC 2.0 is a Monte Carlo Simulation based program and makes it possible to predict effective dose and the probability of cancer development through entrance surface dose. Therefore, it is especially important to measure entrance surface dose through dosimeter. The purpose of this study is to measure entrance surface dose through semiconductor dosimeter, general dosimeter, glass dosimeter, and to compare and analyze the effective dose and probability of disease of critical organs. As an experimental method, the entrance surface dose of skull, chest, abdomen was measured per dosimeter and the effective dose and the probability of cancer development of critical organs per area was evaluated by PCXMC 2.0. As a result, the entrance surface dose per area was different in the order of a general dosimeter, a semiconductor dosimeter, and a glass dosimeter even under the same condition. Base on this analysis, the effective dose and probability of developing cancer of critical organs were also different in the order of a general dosimeter, a semiconductor dosimeter, and a glass dosimeter. In conclusion, it was found that the effective dose and the risk of diseases differ according to the dosimeter used, even under the same conditions, and through this study it was found that it is important to present an accurate entrance surface dose model according to each dosimeter.

Keywords: Entrance Surface Dose, Monte Carlo Simulation, PCXMC 2.0, Effective Dose, Disease Risk

## I. INTRODUCTION

영상의학 분야에서 대부분의 검사는 방사선 발생장치로 생성된 엑스선을 사용하여 이루어진다. 그 중 일반 엑스선 검사는 디지털 방사선 시스템(DR; Digital Radiography)이 도입된 이래로 직접변환방식(DDR; Direct Digital Radiography)과 간접변환방식(IDR; Indirect Digital Radiography)을 사용하여 임상에 적용되고 있다.<sup>[1-3]</sup>

방사선 검사건수의 증가는 보건의료 빅데이터

개방 시스템의 청구 통계에 따라 2013년부터 2015년까지 1억5천2백만, 1억5천8백만, 1억6천5백만 건으로 증가되는 것으로 보고되고 있다.<sup>[4]</sup> 비록 행위의 정당성을 기반으로 검사를 시행한다 하더라도 방사선 검사건수의 증가는 장비의 성능저하와 환자의 피폭이 증가되는 문제를 가지게 된다.<sup>[5,6]</sup>

국내에서는 보건복지부령에 따라 방사선 발생장치의 성능저하를 막기 위해 주기적으로 관전압, 관전류, 조사시간과 같은 항목들에 대하여 정도관리를 시행하고 있다.<sup>[7]</sup> 또한 부가적으로도 장비의 성

\* Corresponding Author: Kyung Bae Lee

E-mail: yly7@hanmail.net

Tel: +82-2-958-8627

능저하를 막기 위한 다양한 연구들을 진행하고 있다.<sup>[8-10]</sup> 그렇지만 사후관리가 잘된 장비로 검사를 하더라도 엑스선을 발생시키는 과정 자체는 변하지 않기 때문에 방사선 피폭선량은 장비의 정도관리와는 다른 관점에서 논의되어야 한다.

방사선과 관계된 양은 대표적으로 조사선량, 흡수선량, 등가선량, 유효선량이 있다.<sup>[11]</sup> 방사선 기본량은 조사선량과 흡수선량으로, 방사선 방호량은 등가선량과 유효선량으로 분류한다.<sup>[11-13]</sup> 검사 후 받는 피폭선량은 방사선과 물질과의 상호작용에 따른 방사선의 양과 에너지의 흡수정도에 비례하여 결정되기 때문에, 정확한 흡수선량의 측정은 중요하다고 할 수 있다.<sup>[11-16]</sup> 보편적으로 흡수선량은 반도체 선량계, 일반 선량계, 유리 선량계 등의 선량계로 직접 측정하게 된다.<sup>[15,16]</sup>

선량계로 정확한 선량을 측정하더라도 흡수선량은 방사선의 종류와 인체 조직별로 상대적인 위험도 차이를 반영하지 못하기 때문에 방사선이 인체에 미치는 위험도를 평가할 수는 없다.<sup>[11,14,17]</sup> 그렇기 때문에 방사선 방호의 관점에서 정확한 흡수선량의 측정을 바탕으로 방사선 가중인자와 조직별 가중인자를 고려한 위험평가의 척도로써 유효선량을 도입하게 되었다.<sup>[11,17]</sup> 이를 바탕으로 다양한 연구들이 유효선량의 평가를 통해 미래의 위험도를 분석하고 있다.<sup>[13,17,18]</sup>

유효선량을 평가하는 대표적인 방법 중 하나는 PCXMC 2.0을 이용한 몬테카를로 시뮬레이션이다.<sup>[18]</sup> PCXMC 2.0은 장기별로 받는 흡수선량과 유효선량을 분석하여 미래의 발병 위험도의 예측을 가능하게 한다.<sup>[18,19]</sup> PCXMC 2.0을 통해 위험도를 예측하는 경우에는 철저한 변수들의 통제가 뒷받침 되어야 한다.<sup>[15]</sup> PCXMC 2.0은 유효선량 평가를 위해 입사표면선량(ESD; Entrance Surface Dose)의 입력을 요구한다.<sup>[18-20]</sup> 이때 선량계로 입사표면선량을 측정할 경우 선량계에 따라 모두 다른 입사표면선량을 나타낼 수 있다. 방사선 측정에 사용되는 선량계는 서로 다른 특징을 가지고 있기 때문이다.<sup>[21-23]</sup> 이는 동일한 환경임에도 불구하고 선량계의 특성에 기인하여 다른 입사표면선량을 나타낼 수 있다는 점을 의미한다.<sup>[21-23]</sup> 서로 다른 입사표면선량은 부정확한 장기흡수선량 측정의 원인이 된

다.<sup>[15,24,25]</sup> 또한 장기의 유효선량 분석 및 미래의 위험도 예측이 정확하지 못하게 될 수도 있다는 점을 의미한다.<sup>[15,18]</sup> 이는 방사선 방호의 관점에서 확률적 영향에 기인한 미래의 위험성에 대하여 잘못된 평가를 내릴 수 있다.<sup>[11,17]</sup>

따라서 본 연구는 각각 다른 특성을 가진 반도체 선량계, 일반 선량계, 유리 선량계를 이용하여 입사표면선량을 측정하고 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 PCXMC 2.0으로 선량계에 따른 결정 장치의 유효선량과 발병 위험도를 비교분석하여 선량계 별로 정확한 입사표면선량을 결정할 수 있는 모델을 제시하고자 하였다.

## II. MATERIALS AND METHODS

### 1. 조사대상 및 실험기기

실험은 2017년 11월 1일부터 20일까지 A 대학병원의 Simens 사의 Fluorospot Compact Manual로 모델명 YSIO-2D 방사선 발생장치를 이용하여 20차례에 걸쳐 진행하였다. 팬텀은 Fig. 1과 같은 조직등가물질의 Rando Man Phantom (alderson research laboratories, USA)을 사용하였다. 실험부위는 두개부, 흉부, 복부로 하였다.



Fig. 1. Rando phantom is composed of tissue equivalent matter.

입사표면선량 측정에는 Fig. 2(a)의 반도체 선량계 Piranha 657 (RTI Electronics, Sweden), Fig. 2(b)의 일반 다목적 선량계 Unfors Raysafe ThinX (Unfors, Sweden), Fig. 2(c)의 유리 선량계(AGC Techno Glass Co., Japan)를 사용하였다. Piranha 657과 Unfors로 측정한 입사표면선량은 후방산란에 대한 영향을 고

려해주기 위해서 ICRU Report No.74에 따른 후방산란계수를 곱해주었다. 유리 선량계는 남아있는 잔존선량을 감산하여 선량을 산출하였다.



Fig. 2. (a) The Piranha 657, (b) Unfors, (c) Glass dosimeter were used to measure entrance surface dose.

유효선량과 미래의 발병 위험도는 Fig. 3(a)에 나타난 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 프로그램인 PCXMC 2.0을 이용하여 평가하였다. 또한 PCXMC 2.0에서 요구하는 X선의 평균에너지 광자 수의 정보를 알기 위한 스펙트럼 분석에는 Fig. 3(b)와 같은 SRS-78을 이용하였다.

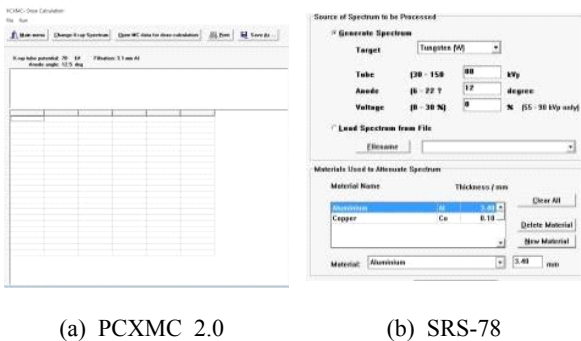


Fig. 3. Through this program, effective dose, risk of disease, energy spectrum were analyzed.

## 2. 실험방법

### 2.1 선량계에 따른 부위 별 입사표면선량 측정

두개부의 입사표면선량은 30번 촬영한 영상의 평균으로 구하였다. Wall 검출기에 팬텀을 Fig. 4처럼 전후방향으로 위치시켰으며 2번 전면에 Fig. 4(a)의 Piranha 657, Fig. 4(b)의 Unfors, Fig. 4(c)의 유리 선량계를 부착하여 입사표면선량을 측정하였다.

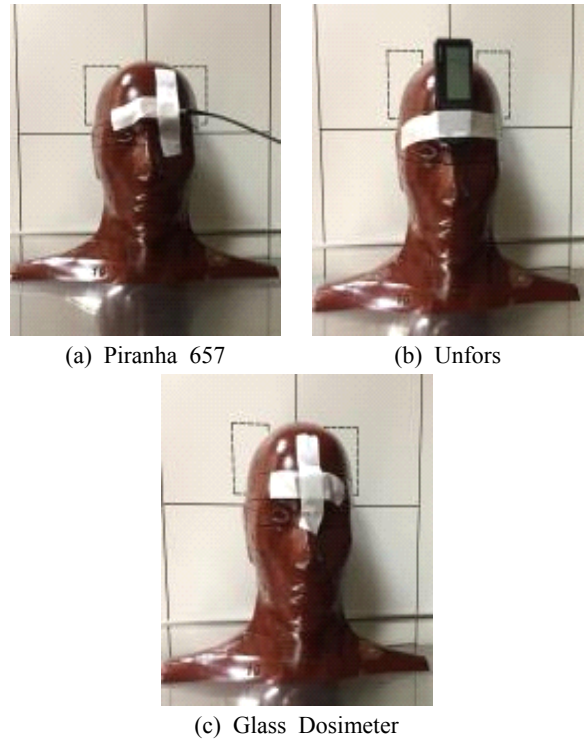


Fig. 4. To measure the entrance surface dose, (a) Piranha 657, (b) Unfors, (c) Glass dosimeter were attached to the front of the number 2 of this phantom.

흉부의 입사표면선량은 30번 촬영한 영상의 평균으로 구하였다. Wall 검출기에 팬텀을 Fig. 5처럼 후전방향으로 위치시켰으며 17번 후면에 Fig. 5(a)의 Piranha 657, Fig. 5(b)의 Unfors, Fig. 5(c)의 유리 선량계를 부착하여 입사표면선량을 측정하였다.

복부의 입사표면선량은 30번 촬영한 영상의 평균으로 구하였다. Wall 검출기에 팬텀을 Fig. 6처럼 전후방향으로 위치시켰으며 27번 전면에 Fig. 6(a)의 Piranha 657, Fig. 6(b)의 Unfors, Fig. 6(c)의 유리 선량계를 부착하여 입사표면선량을 측정하였다.

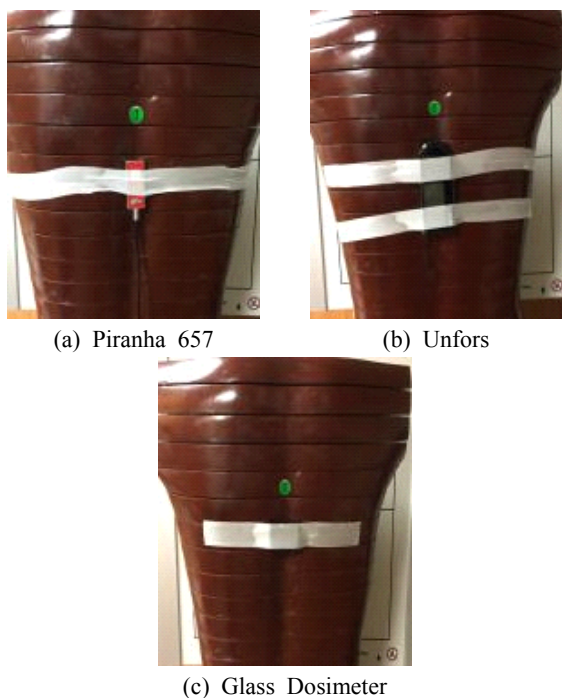


Fig. 5. To measure the entrance surface dose, (a) Piranha 657, (b) Unfors, (c) Glass dosimeter were attached to the rear of the number 17 of this phantom.

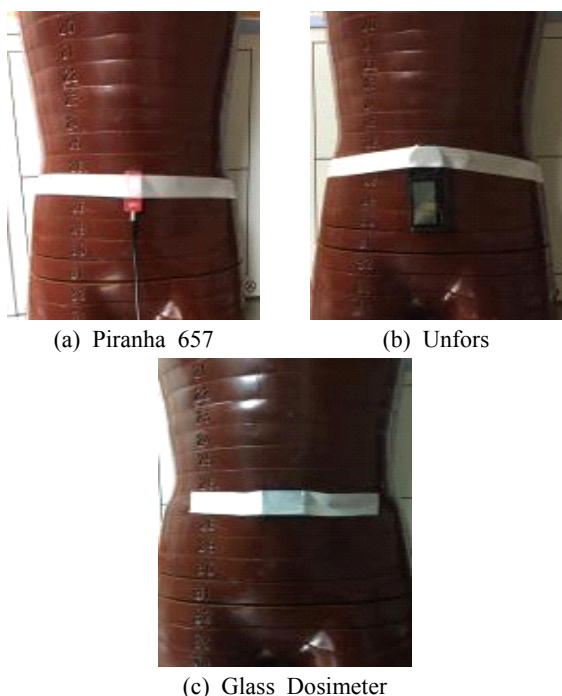


Fig. 6. To measure the entrance surface dose, (a) Piranha 657, (b) Unfors, (c) Glass dosimeter were attached to the front of the number 27 of this phantom.

## 2.2 PCXMC 2.0을 통한 선량계에 따른 부위 별 결정 장기의 유효선량 분석

PCXMC 2.0을 통해 선량계에 따른 부위 별 결정 장기의 유효선량을 측정하는 경우에는 방사선 측면의 변수와 장비측면의 변수를 입력하여야 한다. 방사선 측면의 변수는 부위 별 검사조건, SID와 Field Size, 방사선의 유효에너지와 광자 수이며 Table 1과 같이 방사선 측면의 변수들을 나타내었다.

Table 1. Radiation values to be entered in PCXMC 2.0

Part	Condition (kVp, mAs)	Field Size and SID (cm)	Effective Energy (keV)	Photon number
Skull	73, 25	31 × 31, 100	73	10000
Chest	110, 8	42 × 42, 180	110	14666
Abdomen	80, 25	42 × 42, 100	80	10666

장비 측면의 변수는 방사선 발생장치의 양극각도와 저지극의 재질, 부위 별로 사용된 총 여과이다. 또한 여과에 의한 부위 별 X선의 평균에너지 또한 입력되어야 할 변수이다. SRS-78을 통해 양극각도, 저지극 재질, 총 여과를 고려한 에너지 스펙트럼 분석을 통해 평균 에너지를 Table 2와 같이 표현하였다.

Table 2. Equipment values to be entered into PCXMC 2.0

Part	Total Filtration (mmAl + mmCu)	Average Energy (keV)	Anode Angle (o)	Target Matter
Skull	73	45.8		
Chest	110	58.1	12	Tungsten
Abdomen	80	48.6		

## 2.3 PCXMC 2.0을 통한 선량계에 따른 부위별 결정 장기의 발병확률 분석

PCXMC 2.0을 통해 선량계에 따른 부위 별 결정 장기의 유효선량을 측정한 후 몬테카를로 시뮬레이션으로 부위 별 결정 장기에서 일어날 수 있는 발병 위험도를 분석하였다.

### III. RESULTS

#### 1. 선량계에 따른 부위 별 입사표면선량의 평균값 측정결과

Piranha 657, Unfors Raysafe ThinX, 유리 선량계로 부위 별 입사표면선량을 측정한 결과는 Table 3와 같았다. Piranha 657의 입사표면선량의 평균은 두개부, 흉부, 복부 차례로 0.517 mGy, 0.233 mGy, 0.541 mGy, Unfors Raysafe ThinX는 0.541 mGy, 0.260 mGy, 0.619 mGy, 유리 선량계는 0.609 mGy, 0.313 mGy, 0.673 mGy로 나타났다. 정확한 입사표면선량의 산출을 위해 Piranha 657과 Unfors Raysafe ThinX는 두개부 1.47, 흉부 1.44, 복부 1.51의 후방산란계수를 곱해 주었고 유리 선량계는 잔존선량 0.001 mGy를 감산해주었다. 그 결과 입사표면선량은 Piranha 657은 차례로 0.759 mGy, 0.335 mGy, 0.816 mGy, Unfors Raysafe ThinX는 0.795 mGy, 0.374 mGy, 0.934 mGy, 유리 선량계는 0.608 mGy, 0.312 mGy, 0.672 mGy로 나타났다.

Table 3. Average value of the entrance surface dose per site of each dosimeter

Part	Piranha 657*	Unfors Raysafe ThinX*	Glass Dosimeter**
Skull	0.759	0.795	0.608
Chest	0.335	0.374	0.312
Abdomen	0.816	0.934	0.672

\*Entrance surface dose = Entrance surface dose (mGy) × Back scatter factor

\*\*Entrance surface dose = Entrance surface dose (mGy) - Residual dose (mGy)

#### 2. PCXMC 2.0을 통한 선량계에 따른 부위 별 결정 장기의 유효선량 분석결과

PCXMC 2.0으로 선량계에 따른 부위 별 결정 장기의 유효선량을 분석한 결과는 Table 4와 같았다. 두개부의 결정 장기는 갑상선, 흉부는 갑상선, 간, 폐, 복부는 대장, 간, 폐, 위, 방광으로 나타났다. 두개부의 결정 장기인 갑상선의 유효선량은 Piranha 657, Unfors Raysafe ThinX, 유리 선량계 차례로 0.762 mSv, 0.799 mSv, 0.611 mSv로 나타났다. 흉부의 결정 장기인 갑상선, 간, 폐의 유효선량은

Piranha 657, Unfors Raysafe ThinX, 유리 선량계 차례로 갑상선 0.229 mSv, 0.256 mSv, 0.214 mSv, 간 0.198 mSv, 0.222 mSv, 0.185 mSv, 폐 0.199 mSv, 0.221 mSv, 0.184 mSv로 나타났다. 복부의 결정 장기인 대장, 간, 위, 방광의 유효선량은 Piranha 657, Unfors Raysafe ThinX, 유리 선량계 차례로 대장 0.490 mSv, 0.561 mSv, 0.404 mSv, 간 0.307 mSv, 0.351 mSv, 0.253 mSv, 위 0.528 mSv, 0.604 mSv, 0.434 mSv, 방광 0.749 mSv, 0.857 mSv, 0.616 mSv로 나타났다.

Table 4. Result of the effective doses of the critical organs according to each dosimeter

Part	Critical Organs	Piranha 657 (mSv)	Unfors Raysafe ThinX (mSv)	Glass Dosimeter (mSv)
Skull	Thyroid	0.762	0.799	0.611
	Thyroid	0.229	0.256	0.214
Chest	Liver	0.198	0.222	0.185
	Lung	0.199	0.221	0.184
Abdomen	Colon	0.490	0.561	0.404
	Liver	0.307	0.351	0.253
	Stomach	0.528	0.604	0.434
	Bladder	0.749	0.857	0.616

#### 3. PCXMC 2.0을 통한 선량계에 따른 부위별 결정 장기의 발병확률 분석결과

PCXMC 2.0으로 선량계에 따른 부위 별 결정 장기의 발병확률을 분석한 결과는 Table 5와 같았다. 그에 따른 발병위험도는 두개부는 갑상선암의 발현으로 나타났으며 그 확률은 Piranha 657, Unfors Raysafe ThinX, 유리 선량계 차례로  $1.88 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.96 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.50 \times 10^{-4}\%$ 로 나타났다. 흉부는 갑상선암, 간암, 폐암의 발현으로 나타났으며 확률은 Piranha 657, Unfors Raysafe ThinX, 유리 선량계 차례로 갑상선암  $1.10 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.20 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.00 \times 10^{-4}\%$ , 간암  $3.10 \times 10^{-5}\%$ ,  $3.50 \times 10^{-5}\%$ ,  $2.90 \times 10^{-5}\%$ , 폐암  $1.90 \times 10^{-4}\%$ ,  $2.10 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.79 \times 10^{-4}\%$ 로 나타났다. 복부는 대장암, 간암, 위암, 방광암의 발현으로 나타났으며 그 확률은 Piranha 657, Unfors Raysafe ThinX, 유리 선량계 차례로 대



장암  $2.70 \times 10^{-4}\%$ ,  $3.10 \times 10^{-4}\%$ ,  $2.20 \times 10^{-4}\%$ , 간암  $4.80 \times 10^{-5}\%$ ,  $5.50 \times 10^{-5}\%$ ,  $4.00 \times 10^{-5}\%$ , 위암  $1.20 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.30 \times 10^{-4}\%$ ,  $0.98 \times 10^{-4}\%$ , 방광암  $1.60 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.80 \times 10^{-4}\%$ ,  $1.30 \times 10^{-4}\%$  로 나타났다.

Table 5. Result of the probability of disease risk of critical organs according to each dosimeter

Part	Critical Organs	Piranha 657	Unfors Raysafe ThinX	Glass Dosimeter
		(%)		
Skull	Thyroid	$1.88 \times 10^{-4}$	$1.96 \times 10^{-4}$	$1.50 \times 10^{-4}$
	Thyroid	$1.10 \times 10^{-4}$	$1.20 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-4}$
Chest	Liver	$3.10 \times 10^{-5}$	$3.50 \times 10^{-5}$	$2.90 \times 10^{-5}$
	Lung	$1.90 \times 10^{-4}$	$2.10 \times 10^{-4}$	$1.79 \times 10^{-4}$
Abdomen	Colon	$2.70 \times 10^{-4}$	$3.10 \times 10^{-4}$	$2.20 \times 10^{-4}$
	Liver	$4.80 \times 10^{-5}$	$5.50 \times 10^{-5}$	$4.00 \times 10^{-5}$
	Stomach	$1.20 \times 10^{-5}$	$1.30 \times 10^{-5}$	$0.98 \times 10^{-5}$
	Bladder	$1.60 \times 10^{-4}$	$1.80 \times 10^{-4}$	$1.30 \times 10^{-4}$

#### IV. DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

국제방사선방어위원회(ICRP; International Commission on Radiological Protection)에서는 무분별한 방사선 피폭을 줄이기 위한 규제 of 일환으로 다각적인 방면의 접근을 보여주고 있다.<sup>[17,26]</sup> 그 중 하나로 ICRP는 2017년에 ICRP Report 135를 출판함으로써 의료영상의 진단참조준위(DRL; Diagnostic Reference Level)의 중요성을 발표한 바 있다.<sup>[26]</sup> ICRP Report 135에서 주목할 만한 점 중 하나는, CT의 피폭선량 뿐만 아니라 상대적으로 저선량으로 검사가 이루어지는 일반촬영검사 부분까지 DRL 설정의 중요성을 명시했다는 것이다.<sup>[26]</sup> 그만큼 방사선에 의한 피폭선량은 국제적으로 중요하게 인식되고 있다.<sup>[14,17,26]</sup>

방사선 방호의 관점에서 방사선에 의한 발병은 결정적 영향과 확률적 영향을 따른다.<sup>[11,17]</sup> 결정적

영향은 병이 발현되는 문턱치가 존재한다는 개념이고 확률적 영향은 병이 발현되는 문턱치가 존재하지 않는다는 개념이다.<sup>[11,14,17]</sup> 결정적 영향은 일정 이상의 선량을 받으면 병이 반드시 발현되며 확률적 영향은 저선량 임에도 불구하고 문턱선량이 존재하지 않기 때문에 발병이 일어날 수 있다.<sup>[11,17]</sup> 이러한 방사선의 특징 때문에 방사선 방호의 목표는 결정적 영향을 방지하고 확률적 영향을 최소화하는 데에 있다.<sup>[11,17-20]</sup>

특히 일반적인 방사선 검사는 상대적으로 적은 방사선량임으로 확률적 영향을 최소화 하는 데에 주력해야한다. 확률적 영향에 대표적인 발병은 암을 들 수 있다.<sup>[17-20,24]</sup> 유효선량과 암의 발병 위험도 예측은 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 PCXMC 2.0을 통해 분석이 가능한데, PCXMC 2.0은 반드시 입사표면선량을 제시해주어야 한다.<sup>[18-20]</sup> 입사표면선량은 선량계를 통해 측정이 가능한데<sup>[17-20]</sup>, 기존의 연구에 따르면 동일한 환경임에도 불구하고 입사표면선량은 어떤 선량계를 사용했느냐에 따라 다른 값을 나타낸 경우가 있었다.<sup>[15,21-23]</sup> 이는 사용한 선량계에 따라 유효선량과 암의 발병 위험도 모사의 결과가 다르게 나타난다는 것을 의미한다. 이에 본 연구는 선량계별로 유효선량과 암의 발병 위험도의 차이를 분석하여 정확한 입사표면선량 측정의 중요성과 각각의 선량계에 따른 입사표면선량 모델을 제시하고자 하였다.

선량계 별로 모든 부위에서의 입사표면선량을 측정하였다. 동일한 조건임에도 불구하고 입사표면선량은 Unfors Raysafe ThinX, Piranha 657, 유리 선량계 순으로 차이가 났다. 입사표면선량을 측정한다는 것은 방사선 기본량인 흡수선량과 관계가 있는데<sup>[15-17,26]</sup>, 흡수선량을 평가할 때 제동복사와 하전입자평형을 고려한다면 그 방사선량은 커마(KERMA; Kinetic Energy Released in Matter)와 같게 된다.<sup>[17]</sup> 이러한 입사표면선량의 차이는 선량계 별로 제동복사와 하전입자의 영향이라는 변수가 발생했기 때문이며<sup>[15,17,21-23]</sup>, 선량계만으로는 제동복사와 하전입자평형이라는 영향을 완벽하게 제어할 수 없음을 의미한다.<sup>[15,17]</sup> 또한 Unfors Raysafe ThinX와 Piranha 657은 선량이 앞뒤 모두 측정되지

않는 특성 상 후방산란에 대한 영향을 고려해주어야 했고, ICRU Report 74에 따른 후방산란계수를 곱해서 입사표면선량을 재산출하였다.<sup>[27]</sup> 이는 Unfors Raysafe ThinX와 Piranha 657로 측정된 입사표면선량은 후방산란의 영향을 고려해줘야 함으로 실제 선량은 측정치보다 과대평가되어야 한다는 것을 의미한다.<sup>[27]</sup> 즉 선량계별로 실제 입사표면선량은 변수를 동일하게 통제하였음에도 차이가 난다는 점을 알 수 있었다.

이를 토대로 PCXMC 2.0으로 부위 별 결정 장기의 유효선량을 분석하였다. ICRP의 보고서에 따른 결정 장기 중 실험부위와 관련된 결정 장기는 갑상선, 간, 폐, 대장, 위, 방광이었다.<sup>[17]</sup> 두개부는 갑상선, 흉부는 갑상선, 폐, 간, 복부는 대장, 간, 위, 방광이었다. 결정 장기의 유효선량 또한 Unfors Raysafe ThinX, Piranha 657, 유리 선량계 순으로 차이가 났다. 이러한 유효선량의 차이는 앞서 측정된 입사표면선량의 영향에 모두 비례하여 나타났다. 특히 복부의 결정 장기 중 방광의 유효선량은 다른 부위에 비해 선량계별 유효선량 차이가 두드러지게 나타났음을 알 수 있었다.

PCXMC 2.0으로 선량계에 따른 부위 별 결정 장기의 발병확률을 분석하였다. 그에 따른 발병위험도는 두개부는 갑상선암, 흉부는 갑상선암, 간암, 폐암, 복부는 대장암, 간암, 위암, 방광암이었으며 암의 발병확률 또한 Unfors Raysafe ThinX, Piranha 657, 유리 선량계 순으로 차이가 났으며 입사표면선량, 유효선량과 비례한다는 점을 알 수 있었다.

본 연구는 몬테카를로 시뮬레이션을 이용해 변수를 통제하였음에도 불구하고 실험부위의 한정으로 결정 장기의 유효선량과 암의 발병 위험도 분석을 갑상선, 간, 폐, 대장, 위 방광으로 한정하였다는 제한점을 가진다. 그럼에도 불구하고 동일한 조건에서 선량계별로 입사표면선량이 다를 수 있다는 것을 입증한 점, 또한 선량계에 따라 유효선량과 암의 발병도가 차이가 날 수 있다는 것을 발견한 것은 큰 의의가 있다. 이를 바탕으로 정확한 입사표면선량 측정을 위한 선량계 교정의 중요성과 각각의 선량계에 따른 입사표면선량 모델을 제시할 수 있을 것으로 여겨진다.

## Reference

- [1] Y. L. Kim, G. H. Kim, J. M. Kim, C. G. Kim, B. R. Park, J. Y. Sun, J. H. Son, J. S. Shin, J. D. Yeo, C. H. Yoon, S. G. Lee, J. S. Lee, C. S. Lim, J. Y. Jae, T. J. Ji, K. S. Chun, J. G. Choi, *Diagnostic X-ray devices and Quality Control*, Shin Kwang Publishing Corporation, Seoul, 2015.
- [2] S. S. Hong, H. C. Kim, "A Study on Dose and Image Quality according to X-ray Photon Detection Method in Digital Radiography System," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 50, No. 12, pp. 247-253, 2013.
- [3] S. C. Kim, *Digital Medical Imaging*, Jungdam Publishing Corporation, Seoul, 2014.
- [4] <http://opendata.hira.or.kr/home.do>
- [5] M. Uffmann, C. Schaefer-prokop, "Digital Radiography: The Balance between Image and Required Radiation Dose," *European Journal Radiology*, Vol. 72, No. 2, pp. 202-208, 2009.
- [6] Y. H. Seoung, "Development of Self-Diagnosis Linearity Quality Assurance Technique in Computed Tomography by Using Iodic Contrast Media," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 15, No. 5, pp. 436-443, 2015.
- [7] Ministry of Health and Welfare No. 349, Rules for the Safety Management of Diagnostic Radiation Generators, 2007.
- [8] J. J. Keun, D. C. Kweon, "Case Study of Quality Assurance for MDCT Image Quality Evaluation Using AAPM CT Performance Phantom," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 7, No. 7, pp. 114-123, 2007.
- [9] J. K. Park, "Medical Clinic's quality Management of X-ray Units in Gyeongbuk Area," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 10, No. 9, pp. 267-275, 2010.
- [10] B. S. Kang, J. H. Son, S. C. Kim, "Establishment of Quality Control System for Angiographic Unit," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 11, No. 1, pp. 236-244, 2011.
- [11] H. G. Kim, T. J. Park, M. Baek, J. S. Lee, H. H. Lee, J. K. Jang, H. K. Jang, K. W. Jo, Y. O. Han,

- Radiation Theory and Reality (Revised Edition 7)*, 2015.
- [12] J. G. P. Peixoto and P. Andreo, "Determination of Absorbed Dose to Water in Reference Conditions for Radiotherapy Kilovoltage X-rays between 10 and 300 kV : a Comparison of the Data in the IAEA, IPEMB, DIN and NCS Dosimetry Protocols," *Journal of Physics in Medicine & Biology*, Vol. 45, No. 3, pp. 563-575, 2000.
- [13] Mettler, A. Fred, Huda, Walter, Yoshizumi, T. Terry, Mahesh, Mahadevappa, "Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: a catalog," *Journal of Radiology*, Vol. 248, No. 1, pp. 254-263, 2008.
- [14] S. R. Wagner, B. Grosswendt, H.-J. Selbach, B. R. L. Siebert, J. R. Harvey, A. J. Mill, "Unified Conversion Functions for the New ICRU Operational Radiation Protection Quantities," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 12, No. 2, pp. 231-235, 1985.
- [15] J. H. Hwang, K. B. Lee, "A Study on the Usefulness of Glass Dosimeter in the Evaluation of Absorbed Dose by Comparing the Doses of Multi-purpose Dosimeter and Glass Dosimeter Using Kerma with PCXMC 2.0 in DR(Digital Radiography)," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 17, No. 9, pp. 292-299, 2017.
- [16] S. H. Jeong, M. G. Yoon, D. W. Kim, W. K. Chung, M. J. Chung, S. H. Choi, "Feasibility Study for Development of Transit Dosimetry based Patient Dose Verification System Using the Glass Dosimeter," *Progress in Medical Physics*, Vol. 26, No. 4, pp. 241-249, 2015.
- [17] ICRP, ICRP Report 103, 2007.
- [18] A. Servomaa, M. Tapiovaara, "Organ Dose Calculation in Medical X Ray Examinations by the Program PCXMC," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 80, No. 1-3, pp. 213-220, 1998.
- [19] M. Hiligan, A. Idris, Elbakri, M. Reed, "Estimation of Organ and Effective Doses from Newborn Radiography of the Chest and Abdomen," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 156, No. 2, pp. 160-167, 2013.
- [20] J. M. Sabol, "A Monte Carlo Estimation of Effective Dose in Chest Tomosynthesis," *Journal of Medical Physics*, Vol. 36, No. 12, pp. 5480-5487, 2009.
- [21] X. Zheng, "Patient Size based Guiding Equations for Automatic mAs and kVp Selections in General Medical X-ray Projection Radiography," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 174, No. 4, pp. 545-550, 2017.
- [22] C. J. Martin, "An Evaluation of Semiconductor and Ionization Chamber Detectors for Diagnostic X-ray Dosimetry Measurements," *Journal of Physics in Medicine & Biology*, Vol. 52, No. 15, pp. 4465-4480, 2007.
- [23] Z. M. Da Costa, W. M. Pontuschka, J. M. Giehl, C. R. Da Costa, "ESR dosimeter based on P2O5-CaO-Na2O glass system," *Journal of Non-crystalline Solids*, Vol. 352, No. 32/35, pp. 3663-3667, 2006.
- [24] IAEA, Estimation of effective dose in diagnostic radiology from entrance surface dose and dose-area product measurements, 1994.
- [25] J. B. Han, N. G. Choi, H. J. Sung, "Comparative Study of Radiation Exposure using Entrance Skin Dose Calculation Technique in Diagnostic X-Ray Radiography," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 11, No. 12, pp. 357-363, 2011.
- [26] ICRP, ICRP Report 135, 2017.
- [27] ICRU, ICRU Report 74, 2005.



# 반도체 선량계, 일반 선량계, 유리 선량계를 이용한 입사표면선량 모델 제시에 관한 연구: 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 PCXMC 2.0을 통한 유효선량과 발병 위험도의 비교분석을 중심으로

황준호,<sup>1,2</sup> 이경배<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>경희대학교병원 영상의학과

<sup>2</sup>고려대학교 의용과학대학원 의학물리과

## 요 약

방사선 방호의 목적 중 하나는 확률적 영향을 최소화 하는 것이다. PCXMC 2.0은 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 프로그램으로 입사표면선량을 통해 유효선량과 암의 발병확률을 예측가능하게 해준다. 그렇기 때문에 선량계에 따른 입사표면선량 측정이 특히 중요하다. 본 연구는 반도체 선량계, 일반 선량계, 유리 선량계를 통해 입사표면선량을 측정하고 그에 따른 결정 장기의 유효선량과 발병 확률을 비교분석 하는 것에 목적을 두었다. 실험방법은 두개부, 흉부, 복부의 선량계 별 입사표면선량을 측정하고 PCXMC 2.0을 통해 부위 별 결정 장기의 유효선량과 암의 발병 확률을 평가하였다. 그 결과 부위 별 입사표면선량은 동일한 조건임에도 일반 선량계, 반도체 선량계, 유리 선량계 순으로 차이가 났다. 이를 토대로 유효선량과 결정 장기의 암 발병 확률을 분석한 결과 또한 일반 선량계, 반도체 선량계, 유리 선량계 순으로 차이가 났다. 결론적으로 동일한 조건임에도 사용한 선량계에 따라 유효선량과 발병 위험도는 다르게 나타났음을 알 수 있었고, 본 연구를 통해 각각의 선량계에 따른 정확한 입사표면선량 모델을 제시하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

중심단어: 입사표면선량, 몬테카를로 시뮬레이션, PCXMC 2.0, 유효선량, 발병 위험도