

Measurement of the Photon Fluence for the Evaluation of Photon Detection Efficiency of Photon Counting Sensor

Ji-Koon Park,¹ Ye-Ji Heo,² Kyo-Tae Kim,² Si-Cheol Noh,¹ Sang-Sik Kang^{1,*}

¹Department of Radiological Science, International University of Korea

²Department of Biomedical Engineering, Inje University

Received: December 30, 2015. Revised: January 28, 2016. Accepted: January 30, 2016.

ABSTRACT

Recently, the various digital X-ray imaging devices using CCD and TFT LCD-based flat panel digital X-ray sensor are being used. In particular, a number of studies on photon counting sensor technique have been reported. In this study, the incident X-rays fluence on the photon counting sensor material was measured to estimate photon detection efficiency which is the quantitative performance evaluation factor of photon counting sensor. The result of measuring the photon fluence by using RQA-M2 Radiation beam quality of IEC 61223-1-2 recommendations, the incident photon fluence could be defined as about 4 photons/(0.01mm)²·μ Gy within 10 μm pin-hole area, and about 50 photons/(0.03mm)²·μ Gy within 30 μm pin-hole area, and about 698 photons/(0.1mm)²·μ Gy within 100 μm pin-hole area. Consequently, with the previously setup of the incident fluence, the measuring of actual photon counting efficiency by observing the output waveform of the photon counting sensor material was considered possible.

Keywords: X-ray, Radiation Quality, Photon detection efficiency, Pinhole

I. INTRODUCTION

현재 기존의 필름/스크린 기반의 아날로그 영상을 대체하기 위한 디지털 X선 영상 센서에 대한 많은 연구가 수행되고 있다.^[1-3] 또한 전 세계적으로 진단참고 준위 제정을 위한 많은 노력에서도 나타나듯 의료용 진단 및 치료분야에서의 방사선에 의한 환자의 피폭선량을 최소화하기 위한 많은 연구 또한 진행되고 있는 실정이다. 기존의 디지털 X선 영상 센서를 개선하기 위해 광도전체 기반의 포톤계수형 센서에 대한 연구가 대표적이라 할 수 있다.^[4,5] 기존의 디지털 X선 센서 대부분은 인체를 투과한 X선 영상정보를 센서내 하나의 화소내에 입사한 X선 강도에 대한 신호로써 영상을 구현하는 방식이다. 하지만 광계수형 센서는 인체를 투과한 X선이 광계수형 센서내 하나의 픽셀에 입사할 때, 입사한 개별적 광자에 대한 전기적 신호를 측정하여

포톤 에너지를 계수화하여 영상화하는 기술로 차별화되고 있다.^[5] 이러한 광계수형 센서 기술은 개별적 포톤 에너지를 계수화하여 영상화함으로써 기존 디지털 센서에 비해 정상조직과 종양조직의 미세한 조직 감약 계수 차이를 극대화하여 고대조도 영상 구현이 가능하며, 또한 포톤에너지 계수화 영상 구현을 통해 일회 X선 검사를 통해 다양한 에너지 대역의 X선 의료영상을 동시에 획득할 수 있어 그 진단능이 매우 우수하므로 질병의 조기진단에 그 가치가 있는 기술이라 할 수 있다.

이렇듯 광계수형 센서에 대한 연구 수행에도 불구하고 광계수형 센서의 정량적 성능 평가 항목 중 하나인 포톤계수효율에 대한 표준검사 기준 및 방법이 없어 정량적 평가에 어려움이 있다. 포톤검출효율이란 광계수형 센서내 단위 화소에 입사된 광자수에 한해 실제 영상 신호로써 검출된 광자수에 대한 비로 정의할 수 있으며, 이의 정확한 평가를 위해서는 광계수형 센서에

*Corresponding Author: Sang Sik Kang

E-mail: kss94@iuk.ac.kr Tel: +82-55-751-7302

Address: International University of Korea, sangmun-ri, Munsan-eup, Jinju, Gyeongnam, Republic of Korea, 660-759

입사하는 입사 광자수를 정확히 규정하여야 한다. 하지만 유방촬영장치에서 발생하는 X선 중 실제 광계수형 센서 단위화소 면적내에 입사하는 광자수를 정확히 측정하기는 매우 어려운 현실이다.

이에 본 연구에서는 포톤계수효율의 정량적 평가를 위한 입사 X선 광자 수 산출을 위한 연구를 수행하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

본 연구에서는 디지털 유방촬영장치에 대한 DQE 표준 프로토콜(IEC 62220-1-2)에서 규정하는 Radiation Quality Setup 방법을 통해 단위 면적당 μGy 당 입사 광자수를 정의하였으며, 정의된 입사 광자수를 기반으로 서로 다른 마이크로 핀홀 카메라를 통해 입사되는 air kerma를 측정하여 실제 사용한 마이크로 핀홀 사이에 입사되는 광자수를 산출하고자 하였다.

1. Radiation Quality Setup

본 연구에서 유방촬영장치의 표준 Beam quality 설정을 위해 20~35 kVp의 관전압 범위를 갖는 Planmed Fil and사의 디지털유방촬영장치 Plamed Nounce를 사용하여 IEC 61223-1-2 Digital X-ray Imaging Device에서 제시하는 RQA-M2 Radiation Beam Quality 규정에 따라 Beam quality 셋업하였다. RQA-M2 규정의 경우 측정시 Target/filter 조합은 Mo/Mo, 부가필터 2 mmAl 조건에서 최초 관전압 28 kVp를 기준으로 0.60 mmAl 필터가 반가층이 되는 Beam quality로 규정하고 있다. 이에 관전압 28kVp에서 부가필터 2 mmAl을 부착한 상태에서 선량을 측정하고, 관전압을 1 kV 단계로 조절하면서 0.60 mmAl이 반가층이 되도록 설정한다. 이때 28 kV, 2 mmAl 필터에서의 선량측정값과 반가층 측정시의 0.6 mmAl 삽입시의 선량의 비율은 0.5 ± 0.15 의 오차범위내에서 평가한다.

IEC 61223-1-2 권고안 RQA-M2 Beam Quality 만족시 단위면적당 단위선량당 입사 광자 플루언스는 $4,981 \text{ photons}/\text{mm}^2 \cdot \mu\text{Gy}$ 의 입사 플루언스에 해당되는 것이다. Fig. 1, 2 및 3은 RQA-M2 Beam quality 셋업을 위한 실험 배치도와 실험프로세서를 나타내고 있다.^[6]

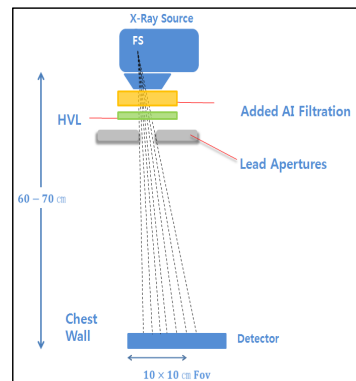


Fig. 1. RQA-M2 Beam quality Setup.

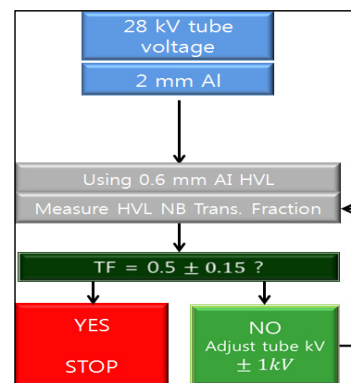


Fig. 2. RQA-M2 Setup Process.

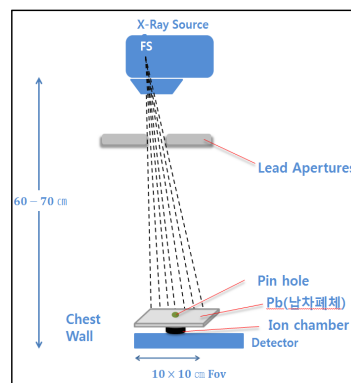


Fig. 3. The schematics of photon fluence measurements using pin-hole camera.

2. 입사 Photon 개수 산출

상기 Radiation Quality Setup을 통해 추정되는 단위 면적(mm^2)당 광자수는 실제 실험시 조사되는 air kerma에서 10^5 - 10^6 개 정도의 많은 플루언스를 나타내게 되며, 이는 실제 포톤계수형 센서 단위 화소내에 입사하는

광자수와는 확연한 차이를 갖게 되므로, 본 연구에서는 서로 다른 직경을 갖는 마이크로 핀홀을 이용하여 실제 센서의 개별 화소내에 입사되는 광자수를 정의함으로써 포토계수형 센서의 포토계수효율 평가를 위한 입사 플루엔스를 정의하였다.

이는 RQA-M2 에서 규정하는 관전압을 기준으로 서로 다른 사이즈를 갖는 핀홀을 투과한 후 이온챔버에서 측정되는 선량을 환산하여 단위 면적당 입사되는 Photon의 개수를 산출하였다. 이 때 사용된 핀홀의 직경은 10 μm , 30 μm 및 100 μm 사이즈의 3개의 핀홀을 사용하였으며 측정은 다음의 순서로 시행하였다. 먼저 유방촬영 장치의 X선관 중심선속과 이온챔버의 중심을 일치시킨 후, 핀홀의 중심과 이온챔버의 중심이 일치하도록 배치하고, 핀홀이 움직이지 않도록 고정시킨다. 실험의 정확도를 위해 핀홀의 영역을 제외한 면적은 납을 이용하여 차폐시켜야 하며, 이때 핀홀에 입사되는 X선 조사야는 반드시 최소한이 되도록 설정하였다. IEC 61223-1-2 Medical electrical equipment Characteristics of digital X-ray imaging devices에서 규정된 1m²당 단위 μGy 당 입사 Photon 수를 핀홀을 투과하여 측정된 선량을 이용하여 핀홀 면적당 μGy 당 입사 광자수를 산출하였다.

III. RESULT

1. Beam Quality Setup

Table 1, 2은 Radiation Quality Setup에 대한 측정 결과 값으로 유방 촬영 장치에서 RQA-M2 조건을 규정하기 위해 99.9% Al의 순도를 가지는 부가 필터를 이용하여 측정하였다. Table 1는 관전압 28 kV, 관전류량은 80 mAs로 조사 조건을 설정하여 이온 챔버를 이용하여 10회 측정 한 후 평균값을 도출한 결과 417 mR으로 측정되었다. 또한 Table 2는 반가층 측정을 위하여 0.6 mmAl를 추가 삽입한 후 이온 챔버에서 측정된 선량값은 207.5 mR으로 나타났다.

그 결과, Table 3에 나타난 바와 같이 IEC 61223-1-2 "Medical electrical equipment-Characteristics of digital X-ray imaging devices"에서 규정하는 RQA-M2 Beam Quality 조건이 성립됨을 확인 하였다.

Table 1. Beam Quality Setup of Mammography device

Radiation Quality	Filter Thickness (mm)	X-ray Tube Voltage (kV)	Added Filter (mm)	Dose (mR)
RQA-M2	0.032 mm	28 kV	2 mmAl	417.0 mR
				416.5 mR
				417.0 mR
				417.5 mR
				416.0 mR
				417.0 mR
				416.5 mR
				417.0 mR
				417.5 mR
				417.0 mR

Table 2. Measurement of Half value layer

Radiation Quality	Filter Thickness (mm)	X-ray Tube Voltage (kV)	HVL mmAl	Dose (mR)
RQA-M2	0.032 mm	28 kV	0.6 mmAl	207.5 mR
				207.6 mR
				208.0 mR
				207.5 mR
				207.8 mR
				207.5 mR
				207.0 mR
				207.4 mR
				207.5 mR
				207.8 mR

Table 3. Results of RQA-M2 Radiation Beam Quality setup

	Ref. Filter	DoseRef	Add. Filter	DoseAdd
RQA-M2	2 mmAl	417 mR	0.6 mmAl	208 mR

2 입사 Photon 개수

단위면적당 입사 광자수의 평가는 IEC 62220-1-2 권 고안의 유방촬영장치의 Radiation Quality Setup을 만족시키고, RQA-M2를 조사 조건으로 설정하여 입사 Photon의 개수를 산출하였다. Photon의 개수를 산출하기에 앞서 10 μm , 30 μm , 100 μm 사이즈 핀홀 3개를 이용(오차 $\pm 10\%$)하였으며, 각각의 핀홀을 투과한 후 이온챔버에서 측정된 선량값은 Table 4, 5 및 6과 같이

측정되었다. 이온 챔버에서 측정된 선량값은 각각의 핀홀에서 총 10회 측정 후 평균값을 산출하였으며, 10 μ m 핀홀에서는 1.12 mR, 30 μ m 핀홀에서는 1.55 mR, 100 μ m 핀홀에서는 1.92 mR으로 측정되었다.

Table 4. Measurement of Dose in 10 μ m Pin-hole

핀홀 크기	Radiation Quality	X-ray Tube Voltage (kV)	Dose (mR)
10 μ m	RQA- M2	28 kV	1.10 mR
			1.15 mR
			1.15 mR
			1.14 mR
			1.12 mR
			1.12 mR
			1.10 mR
			1.12 mR
			1.12 mR
			1.14 mR

Table 5. Measurement of Dose in 30 μ m Pin-hole

핀홀 크기	Radiation Quality	X-ray Tube Voltage (kV)	Dose (mR)
30 μ m	RQA- M2	28 kV	1.53 mR
			1.55 mR
			1.55 mR
			1.52 mR
			1.57 mR
			1.55 mR
			1.55 mR
			1.56 mR
			1.55 mR
			1.57 mR

Table 6. Measurement of Dose in 100 μ m Pin-hole

핀홀 크기	Radiation Quality	X-ray Tube Voltage (kV)	Dose (mR)
100 μ m	RQA- M2	28 kV	1.93 mR
			1.92 mR
			1.92 mR
			1.94 mR
			1.9 mR
			1.92 mR
			1.92 mR
			1.92 mR
			1.92 mR
			1.93 mR

각각의 핀홀을 이용하여 측정된 선량값과 IEC 6122 3-1-2, RQA-M2 Beam quality setup에서 규정된 단위 면적당 단위 μ Gy($\text{mm}^2 \cdot \mu$ Gy)당 Photon 수는 4981개이므로, 각 핀홀의 입사면적과 측정 선량값을 이용하여 입사된 Photon의 개수를 산출한 결과, 10 μ m의 핀홀에서는 4개, 30 μ m의 핀홀에서는 50개, 100 μ m 핀홀에서는 698개의 광자수로 산출되었다.

Table 7. According to the number of photons in Pin-hole size

Radiation Quality	X-ray Tube Voltage (kV)	핀홀 직경 (μ m)	Measurement Dose (mR)	Photon 개수 (개)
RQA-M2	28 kV	10	1.12 mR	4
		30	1.55 mR	50
		100	1.92 mR	698

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 광계수형 센서의 성능 평가 항목인 포톤검출효율을 측정하기 위한 기초 연구를 수행하였다. 포톤검출효율이란 광계수형 센서내 단위 화소에 입사된 광자수에 한해 실제 영상 신호로써 검출된 광자수에 대한 비로 정의할 수 있으며, 이의 정확한 평가를 위해서는 광계수형 센서에 입사하는 입사 광자수를 정확히 규정하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 IEC 61223-1-2 권고안에서 규정하는 RQA-M2 Beam Quality setup 프로세서를 이용하였다. 이 기준에서는 4,981 광자수/ $\text{mm}^2 \cdot \mu$ Gy의 입사 광자 플루언스를 갖게 된다. 이에 기준 광자 플루언스를 갖는 RQA-M2 Beam Quality Setup을 수행하고, 10 μ m, 30 μ m 및 100 μ m 사이즈의 핀홀을 이용하여 각 핀홀 영역에 입사되는 선량을 측정하고, 그 면적에서의 입사 광자 플루언스를 산출할 수 있었다. 그 결과 10 μ m의 핀홀에서의 선량은 1.12 mR, 입사 광자수는 4개, 30 μ m의 핀홀에서의 선량은 1.55 mR, 입사 광자수는 50개, 100 μ m 핀홀에서의 선량은 1.92 mR, 입사광자수는 698개로 산출되었다. 본 연구에서는 유방촬영장치에 적용가능한 RQA-M2 Beam Quality setup을 통한 입사 광자 플루언스를 산출하였지만, IEC 61276 “Medical diagnostic X-ray Equipments -Radiation conditions for use in the determination of characteristics”(1994) 권고안에 의거 일반촬영용 장치에서의 입사광자 플루언스 또한 산출할 수 있다.

본 연구에서 제시한 입사 광자 플루언스 산출 방법은 광계수형 X선 센서의 포톤검출효율 측정을 위한 기초 자료로 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was supported by International University of Korea's research fund in 2015.

Reference

- [1] M. Lundqvist, B. Cedstrom, V. Chmil, M. Danielsson, and B. Hasegawa, "Evaluation of a Photon-counting X-ray imaging system," IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 48, pp. 1530-1536, 2001.
- [2] R. N. Cahn, B. Cederstrom, M. Danielsson, A. Hall, M. Lundqvist, and D. Nygren, "Detective quantum efficiency dependence on X-ray energy weighting in mammography," Medical Physics, Vol. 26, pp. 2680-2683, 1999.
- [3] J. K. Park, S. C. Noh, S. S. Kang, "A study on the physical characteristics of photoconductors for photon counting based X-ray sensor application," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 8, pp. 423-428, 2014.
- [4] C. Carpentieri, C. Schwarz, J. Ludwig, M. Fiederle, "Absolute dose calibration of an X-ray system and dead time investigations of photon counting techniques," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 487, pp. 71-77, 2002.
- [5] J. Marchal, K. Hussein, J. Christopher, L. Vaughan, "Photon counting threshold optimization in mammography," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 563, pp. 137-141, 2006.
- [6] IEC 61223-1-2. Medical electrical Equipment Characteristics of digital X-ray imaging devices, 2007

광계수형 센서의 포톤계수효율 평가를 위한 포톤플루언스 측정

박지균,¹ 허예지,² 김교태,² 노시철,¹ 강상식^{1,*}

¹한국국제대학교 방사선학과,

²인제대학교 의용공학과

요 약

현재 CCD 및 TFT LCD 기반의 평판형 디지털 X선 센서를 이용한 많은 디지털 X선 영상장치가 활용되고 있으며, 특히 포톤계수형 센서 기술에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 포톤계수형 센서의 정량적 성능 평가 항목인 포톤계수효율을 측정하기 위해 포톤계수형 센서 물질에 입사되는 X선 플루언스 측정하였다. IEC 61223-1-2 권고안의 RQA-M2 Radiation beam quality를 이용하여 포톤 플루언스를 측정된 결과, 10 μm 핀홀 영역에서 입사 광자 플루언스는 4 photon/unit area $\cdot \mu\text{Gy}$, 30 μm 핀홀 영역에서 약 50 photons/unit area $\cdot \mu\text{Gy}$, 100 μm 핀홀 영역에서 698 photons/unit area $\cdot \mu\text{Gy}$ 의 플루언스로 규정할 수 있었다. 셋업된 입사 플루언스를 이용하여 포톤계수형 센서 물질에서의 X선 조사시 출력과형을 측정함으로써 실제 포톤계수효율을 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

중심단어: X선, 방사선질, 포톤검출효율, 핀홀