pISSN : 1976-0620, eISSN : 2384-0633
https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.3.289 "J. Korean Soc. Radiol., Vol. 14, No. 3, June 2020"

A Study on Measurement of Output Dose in X-ray Unit

Jong Eon Kim,* Sang Hun Lee

Department of Radiological Science, Kaya University

Received: May 12, 2020. Revised: June 20, 2020. Accepted: June 30, 2020

ABSTRACT

In order to control the quality of X-ray images and patient exposure, it is necessary to document the output dose(air absorption dose(mGy)) output from the X-ray unit from the measurement. The purpose of this study is to find an equation that can calculate the output dose from the measurement of the output dose and output factor(Of) of the X-ray Unit. The output dose and output factors of the X-beam irradiated from the X-ray unit were measured using an XR multi-detector. The output dose calculation formula was obtained by fitting the measured output dose divided by the tube current-exposure time product(mAs) and the set tube voltage with Allometric1. The final output dose calculation formula was obtained by multiplying this formula with the output factor. It is considered that the obtained final output dose calculation formula will be useful for all tube voltages, tube currents, exposure times, field sizes, and distances.

Keywords: Tube voltage, Field size, Output dose, Output factor

Ⅰ. INTRODUCTION

X-선장치로부터 발생되는 출력선량은 X-선 빔의 강도로서 조사선량(mR) 또는 공기 흡수선량(mGy)으로 나타낸다.[1,2] 최근 X-선장치들은 선량측정 검출기인 DAP meter[3]가 부착되어 있어 출력선량을 공기 흡수선량에 조사된 면적의 곱(mGy·㎠)으로 표시한다. 그러나 이전 X-선장치들은 선량측정 검출기가 부착되어 있지 않아 출력선량을 표시하지 못하고 있는 것이 현실이다. X-선 빔을 조사할 때 환자 및 물질에 얼마의 선량이 전달되는지 아는 것은 X-선영상 품질관리[4,5] 및 환자피폭[6,7] 저감에 있어 아주 중요하다. 그러므로 사용자는 X-선장치의 표적으로부터 지정된 기준거리에서 X-선 빔의 조사조건 하에서 측정되는 출력선량을 수식화하여야 필요성이 대두된다.

X-선장치의 출력선량은 사용자가 직접 측정하여 얻은 자료 기반으로 선량측정 검출기가 부착된 X-선장치에서는 출력선량을 검증하고, 선량측정용 검출기가 부착되어 있지 않는 X-선장치에서는 수식화하여 임상에 사용되어야 한다. 따라서 이 연구의 목적은 X-선장치의 출력선량(Output dose)인 공기 흡수선량과 출력인자(Output factor, Of)를 측정한 후 출력선량을 계산할 수 있는 식을 얻는데 있다.

본 연구는 X-선장치의 출력선량과 출력인자를 측정하였다. 관전류량로 나누어진 측정된 출력선량(mGy/mAs)와 설정관전압(kVp)을 Allometric1 fit하여 출력선량 계산식을 구하고자 하였다.

Ⅱ. MATERIAL AND METHODS

실험에 사용된 X-선장치는 DigiRad Radiographic System(DigiRad-FP, Dual type, Sitec Medical Co., Ltd, South korea)으로서 발생기의 정류방식은 3상 6피크이다. 이 X-선장치는 관전압은 2%, 관전류와 조사시간은 각각 1% 이내의 오차로 설정치에 대하여 교정이 되어 있다. X-선장치의 출력선량을 측정하기 위해 IBA사의 일반 방사선 시스템의 멀티성능 측정 XR멀티검출기(XR Multi detector)와

* Corresponding Author: Jong Eon Kim E-mail: kjepk@kaya.ac.kr Tel:+82-55-330-1184
Address: Kaya University, #208, Samgye-ro, Gimhae-Si, Gyeongsangnam-do, 50830, Republic of Korea

MagicMax Universal 프로그램(IBA Dosimetry GmbH, Germany)을 사용하였다.

X-선장치의 출력선량, 직사각형과 등가 정사각형 조사야의 출력선량과 출력인자의 측정은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 XR멀티검출기를 표적으로부터 100 ㎝지점에 배치하여 측정을 수행하였다.

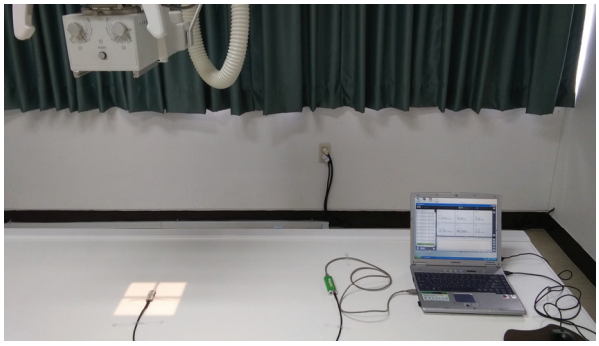

Fig. 1. The experimental setup for measurement of output dose in X-ray Unit.

1. 출력선량(mGy)

관전압의 함수로서 출력선량을 측정하기 위하여, 우선 조사야는 13×13 ㎠, 관전류량은 20 mAs를 설정하여 고정을 하였다. 출력선량 측정은 각각의 설정관전압 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 kVp에서 5번 출력선량을 측정하였다.

2. 직사각형 조사야와 등가 정사각형 조사야의 출력선량(mGy)

조사야의 중심축 상 측정점에 기여하는 산란선의 영향이 같아서 같은 출력선량이 측정되는 직사각형 조사야와 등가 정사각형 조사야에 대하여 출력선량을 측정하였다. 측정은 관전압 80 kVp, 관전류량 20 mAs를 설정한 후, 직사각형 조사야 20×10 ㎠와 등가 정사각형 조사야 13×13 ㎠에 대하여 출력선량 측정을 3번 수행하였다.

3. 출력인자(Of)

관전압별 조사야의 함수로서 출력선량을 측정하기 위하여, 관전류량은 20 mAs를 설정하여 고정을 하였다. 조사야에 대한 출력선량 측정은 각각의 설정관전압 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 kVp에서 각각의 조사야 13×13 ㎠, 20×20 ㎠, 28×28 ㎠, 36×36 ㎠, 43×43 ㎠에 대하여 3번 수행하였다.

Ⅲ. RESULT

1. 출력선량

측정된 출력선량은 각각의 설정관전압에서 5번 출력선량 측정값으로부터 평균값으로 얻었다. 20 mAs로 나누어진 측정된 출력선량(mGy/mAs)을 산출한 결과를 Table 1에서 보여준다. 이 Table에서 출력선량 측정의 변동계수(CV)는 0.004이하로 나타났다.

Fig. 2와 같이 20 mAs로 나누어진 측정된 출력선량과 설정관전압을 Allometric1 fit(상대성장 정합)하여 아래의 식(1)을 얻었다.

$$mGy/mAs = 0.00003kVp^{1.758} \quad (1)$$

여기서 0.00003은 20 mAs로 나누어진 측정된 출력선량과 관전압 사이에서 기울기이다. 식 (1)로부터 식 (2)가 유도되었다.

$$Output\,dose\,(mGy) = 0.00003kVp^{1.758} \cdot mA \quad (2)$$

식 (2)는 $I = k\,kVp^{n} \cdot mA \cdot s$에 대응된다.

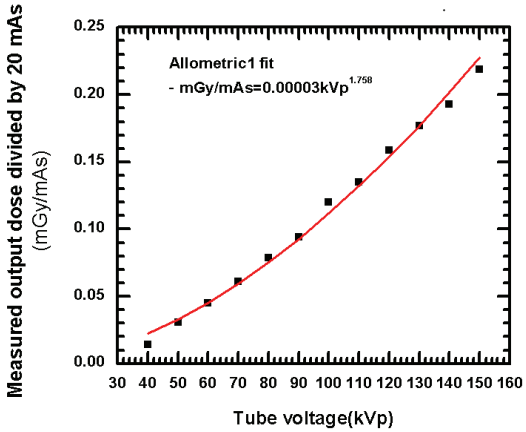

Fig. 2. Measured output dose divided by 20 mAs versus tube voltage.

Table 1. Measured output dose divided by 20 mAs(mGy/mAs) as a function of tube voltage at fixed value 20 mAs for a fixed field size 13×13 ㎠.

Tube Voltage (kVp)	Mean Value ± SD (mGy)	Measured output dose divided by 20 mAs (mGy/mAs)
40	0.281 ± 0.001	0.014
50	0.610 ± 0.001	0.031
60	0.900 ± 0.001	0.045
70	1.223 ± 0.003	0.061
80	1.577 ± 0.004	0.079
90	1.884 ± 0.006	0.094
100	2.406 ± 0.006	0.120
110	2.703 ± 0.009	0.135
120	3.178 ± 0.008	0.159
130	3.537 ± 0.007	0.177
140	3.860 ± 0.009	0.193
150	4.374 ± 0.004	0.219

2. 직사각형 조사야와 등가 정사각형 조사야의 출력선량

직사각형 조사야 20×10 ㎠와 등가 정사각형 조사야 13×13 ㎠의 출력선량은 평균값으로 각각 1.556 mGy, 1.557 mGy를 얻었다. 직사각형 조사야에 대한 등가 정사각형 조사야의 출력선량의 비는 1.001로서 0.1%의 오차를 나타내었다.

3. 출력인자

조사야에 대한 출력선량 측정은 각각의 설정관전압 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 kVp에서 각각의 조사야에 대하여 3번 출력 측정값으로부터 평균값으로 얻었다. 관전압별 출력인자는 기준조사야 13×13 ㎠에 대한 다른 조사야의 출력선량의 비로서 산출하였다. 얻어진 출력인자는 Table 2에서 보여준다.

4. 출력선량 계산식

구하여진 출력선량과 출력인자로부터 최종 출력계산식은 식(3)으로 얻었다.

$$Output\,dose(mGy) = 0.00003kVp^{1.758} \cdot mAs \cdot Of \cdot 1/d^2 \qquad (3)$$

여기서 d는 표적으로부터 검출기까지 거리이다.

Table 2. Measured output factors for field sizes as a function of tube voltage.

Tube Voltage (kVp)	Field Size(㎠)				
	13×13	20×20	28×28	36×36	43×43
40	1.000	1.004	1.008	1.010	1.016
50	1.000	1.006	1.007	1.009	1.011
60	1.000	1.004	1.007	1.011	1.013
70	1.000	1.010	1.011	1.012	1.019
80	1.000	1.006	1.009	1.012	1.014
90	1.000	1.006	1.009	1.016	1.017
100	1.000	1.008	1.011	1.012	1.014
110	1.000	1.004	1.006	1.009	1.011
120	1.000	1.004	1.007	1.010	1.011
130	1.000	1.005	1.007	1.009	1.011
140	1.000	1.003	1.005	1.009	1.012
150	1.000	1.007	1.008	1.011	1.012

Ⅳ. DISCUSSION

관전압지수는 1.758을 얻었다. 관전압지수는 X-선장치에 사용되는 발생기(generator)의 고전압인가 방식에 의존한다. 그러므로 사용자는 자신이 사용하는 X-선장치의 출력선량 측정으로부터 관전압지수를 구하여 사용하여야 한다.

직사각형 조사야에 대한 등가 정사각형 조사야의 출력선량 비는 1.001을 얻었기 때문에, 이 두 조사야의 출력선량은 일치하는 것으로 판단된다.

측정된 X-선장치의 출력인자는 Table 2에서 보여주는 바와 같이 정사각형 조사야로 측정되었다. 임상에서는 정사각형 조사야 뿐만 아니라 직사각형 조사야도 사용한다. 직사각형 조사야를 사용할 경우, 출력인자는 조사야가 직사각형으로 가로와 세로의 비가 커질수록 같은 면적의 정사각형보다 적어지기 때문에 측정으로부터 얻어진 등가 정사각형 조사야의 출력인자를 구하여 출력선량 계산식에 적용하여야 한다. 직사각형 조사야($a \times b$)에 대한 등가 정사각형 조사야의 한 변의 길이(x)는 식(4)와 같이 산출한다.[8]

$$A/P = a \times b/2(a+b)$$
$$x = A/P \times 4 \qquad (4)$$

여기서 A는 면적(area), P는 둘레(perimeter)이다. 측정된 출력인자들은 1.019이하로서 약 2%의 오차를 나타내었다.

자유공간에서 선량(공중선량, D_{fs})은 공기 중 선속 중심축 상에 위치된 작은 체적의 물의 중심에 전자평형을 주는 질량 중심에서 선량을 말한다. 이 선량은 물 흡수선량(물 커마)이다. 식(3)으로 계산된 공기 흡수선량(공기 커마)에 공기 중 공기에 대한 물의 평균질량에너지흡수계수의 비 $[(\overline{\mu_{en}}/\rho)_{air}^{water}]_{air}$를 곱하면 자유공간에서 선량이 산출된다. 공기 중 공기에 대한 물의 평균질량에너지흡수계수의 비는 관전압(kVp)에 대한 반가층(㎜Al 또는 ㎜Cu)의 함수로서 AAPM 프로토콜[9]에서 주어진다.

후방산란인자(backscatter factor, B_w)는 물 팬텀에서 빔 중심축 상 최대선량 대 같은 지점에서 자유공간에서 선량의 비이다. 이 자료는 AAPM 프로토콜[9]에서 물 팬텀에 대하여 선원으로부터 팬텀표면거리(source surface distance, SSD), 선질(HVL), 조사야 직경의 함수로서 주어진다. 등가 정사각형 조사야와 면적이 같은 등가 원형 조사야의 반경(r)는 식(5)와 같이 계산된다.

$$r = 2.26 \times A/P \tag{5}$$

여기서 A/P는 등가 정사각형 조사야의 둘레 분의 면적의 비이다. 등가 원형 조사야의 직경은 등가 원형조사야의 반경에 2를 곱하면 산출된다.

산출된 자유공간에서 선량에 후방산란인자를 곱하면 입사표면선량(entrance surface dose, ESD)[10]이 산출되며, 입사표면선량 계산식은 식(6)로 유도된다.

$$ESD(mGy) = 0.00003kVp^{1.758} \cdot mAs \cdot Of \cdot 1/d^2 \cdot [(\overline{\mu_{en}}/\rho)_{air}^{water}]_{air} \cdot B_w \tag{6}$$

이 입사표면선량은 물 팬텀 표면 및 환자의 피부선량으로서 영상의학 분야의 환자의 피폭 관리를 위해 사용된다.

Ⅴ. CONCLUSION

X-선장치로부터 조사되는 X-빔의 출력선량과 출력인자는 XR멀티검출기를 사용하여 측정하였다. 20 mAs로 나누어진 측정된 출력선량과 설정관전압을 Allometric1 fit하여 출력선량 계산식을 얻었다. 이 식에 출력인자를 곱하여 최종 출력선량 계산식은 아래와 같이 얻었다.

$$Output\ dose\,(mGy) = 0.00003kVp^{1.758} \cdot mAs \cdot Of \cdot 1/d^2$$

이 식은 모든 관전압, 조사야, 관전류, 조사시간 그리고 거리에 적용하는데 유용할 것으로 사료된다.

Reference

[10] R. Sharma, S. D. Sharma, S. Pawar, A. Chaubey, S. Kantharia, D. A. R. Babu, "Radiation dose to patients from X-ray radiographic examinations using computed radiography imaging system," Journal of Medical Physics, Vol. 40, No. 1, pp. 29–37, 2015. http://dx.doi.org/10.4103/0971-6203.152244

[11] E. L. Mitchell, P. Furey, "Prevention of radiation injury from medical imaging," Journal of Vascular Surgery, Vol. 53, No. 1, pp. 225-275, 2011. http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2010.05.139

[12] K. Kisielewicz, A. Truszkiewicz, S. Wach, M. R. Wasilewska, "Evaluation of dose area product vs. patient dose in diagnostic X-ray units," Physica Medica, Vol. 27, No. 2, pp. 117-120, 2011. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2010.07.001

[13] J. E. Aldrich, E. Duran, P. Dunlop, J. R. Mayo, "Optimization of dose and image quality for computed radiography and digital radiography," Journal of Digital Imaging, Vol. 19, No. 2, pp. 126-131, 2006. http://dx.doi.org/10.1007/s10278-006-9944-9

[14] C. J. Martin, P. F. Sharp, D. G. Sutton, "Measurement of image quality in diagnostic radiology," Journal of Applied Radiation and Isotopes, Vol. 50, No. 1, pp. 21-38, 1999.

http://dx.doi.org/10.1016/S0969-8043(98)00022-0

[15] A. U. Sonawane, V. K. Shirva, A. S. Pradhan, "Estimation of skin entrance doses (SEDs) for common medical X-ray diagnostic examinations in India and proposed diagnostic reference levels (DRLs)," Radiation Protection Dosimetry, Vol. 138, pp. 129-136, 2009. http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncp235

[16] D. A. Johnston, P. C. Brennan, "Reference dose levels for patients undergoing common diagnostic X-ray examinations in Irish hospitals," The British Journal of Radiology, Vol. 73, No. 868, pp. 396-402, 2000. http://dx.doi.org/10.1259/bjr.73.868.10844865

[17] F. M. Khan, *The Physics of Radiation Therapy*, 3rd Ed., Wolters Kluwer Co., Philadelphia, pp. 164-165, 2003.

[18] C. M. Ma, C. W. Coffey, L. A. DeWerd, C. Liu, R. Nath, S. M. Seltzer, J. P. Seuntjens, "AAPM protocol for 40-300 kV X-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology," Journal of Medical Physics, Vol. 28, No. 6, pp. 868–893, 2001. https://doi.org/10.1118/1.1374247

[19] J. E. Kim, I. C. Im, C. W. Park, "An assessment of entrance surface dose using the nano Dot dosimeter," Journal of The Korean Society of Radiology, Vol. 5, No. 6, pp. 377-381, 2011. http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2011.5.6.377

X-선장치에서 출력선량 측정에 관한 연구

김종언,* 이상훈

가야대학교 방사선학과

요 약

X-선영상의 품질과 환자의 피폭 관리를 위하여 X-선장치에서 출력되는 선량(공기 흡수선량(mGy)은 측정으로부터 자료화 하는 것이 필요하다. 이 연구의 목적은 X-선장치의 출력선량과 출력인자(Of)의 측정으로부터 출력선량을 계산할 수 있는 식을 구하는데 있다. X-선장치로부터 조사되는 X-빔의 출력선량과 출력인자는 XR멀티검출기를 사용하여 측정하였다. 결과로서, 관전류-조사시간 곱(mAs)으로 나누어진 측정된 출력선량과 설정관전압을 Allometric1 fit하여 출력선량 계산식을 얻었다. 이 식에 출력인자를 곱하여 최종 출력선량 계산식을 구하였다. 구하여진 최종 출력선량 계산식은 모든 관전압, 관전류, 조사시간, 조사야 그리고 거리에 적용하는데 유용할 것으로 사료된다.

중심단어: 관전압, 조사야, 출력선량, 출력인자

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김종언	가야대학교 방사선학과	부교수
(공동저자)	이상훈	가야대학교 방사선학과	교수
(교신저자)	김종언	가야대학교 방사선학과	부교수