

<원저>

진단영역 X선 에너지에서 유리선량계, 반도체선량계, 면적선량계의 선량 실측 비교

손진현

신구대학교 방사선과

Comparison of Dose Measurement of Glass Dose Meter, Semiconductor Dose Meter, and Area Dose Meter in Diagnostic X-ray Energy

Jin-Hyun Son

Department of Radiological technology, Shingu University

Abstract This paper obtained and compared these dose values by setting and comparing the X-ray imaging conditions (tube voltage 60 kVp, 70 kVp, 80 kVp, tube current 10 mAs, 16 mAs and X-ray field size are 10 × 10 cm, 15 × 15 cm). Each dose value was measure 10 times and represented as an average value. The purpose of this experiment is to serve as a reference for the X-ray exposure of diagnostic areas according to the type of dosimeter and to help with another dose measurement. The results of the experiment showed very little difference between the glass dosimeter(GD) and semiconductor dosimeter values due to changes in tube voltage of 60, 70, 80 kVp, regardless of field sized, but for dose area product(DAP), the difference in dose value was significant according to field size.

Key Words : Glass Dosimeter, Semiconductor Dosimeter, DAP, kVp, mAs, Field size

중심 단어 : 유리선량계, 반도체 선량계, 면적선량계, 관전압, 관전류, 조사범위

1. 서론

현대의학에서 진단 및 치료분야에서 진단방사선영역에서의 X선 검사건수는 2007년 약 1억 6189건에서 2011년에는 약 2억 2218만 건으로 매년 7~9%씩 증가하고 있다[1]. 이렇듯 해마다 X선을 이용하는 검사건수의 증가는 X선에 의한 환자의 피폭선량에 대한 관심도가 증가하여 식품의약품 안전처(이하 식약처)에서도 2006년부터 환자 선량 평가실험을 구축을 시작으로 2007년부터 환자 선량 권고량 가이드라인을 발간하여 배포하고 있다. 이후 2012년 일반영상의학 검사의 환자 선량 권고량 가이드라인[2], 2013년 소아 일반영상의학검사의 표준촬영 가이드라인을 제작하여 촬영부위별 X선 조사조건 및 조사야에 대하여 권고를 하고 있으며, 국

제사회는 1996년 국제기본안전표준(Basic Safety Standard; BSS)을 제정하여 전리방사선에 대한 방호와 2008년에는 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 진단참조준위를 설정하여 X선검사 시 환자 피폭선량에 대한 방사선 최적화를 권고하였다[3]. 이렇듯 X선을 이용하는 기기의 환자피폭선량 저감화에 대한 노력과 방사선발생장치에 대한 적절한 정도관리가 요구되고 있다. 현재 보고되는 많은 논문들중에서 많이 사용하는 유리선량계의 특성과 이를 이용한 환자 피폭선량에 관한 연구와[4-7] DAP를 이용한 입사선량에 관한 평가 등[8-9] 피폭선량측정기기들과 환자의 피폭선량 저감화를 위하여 다양한 연구가 진행되고 있다[10-11].

본 연구에서는 유리 선량계(Glass Dosimeter: GD), 면적 선량계(Dose Area Product: DAP), 반도체 선량계(Semiconductor

This study was supported by from the Shingu University Industry-Academic Cooperation Foundation Grant 2018.

Corresponding author: Jin-Hyun Son, Dept. of Radiological Technology, The Shingu University, 377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, Republic of Korea, 13174 / Tel: +82-31-740-1629 /E-mail: rtsjh@shingu.ac.kr

Received 28 November 2019; Revised 24 December 2019; Accepted 26 December 2019

Copyright ©2019 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

Dosimeter)를 이용하여 선량계의 선량 실측치를 비교 평가하여 선량계의 특성을 파악하고 각각의 선량계의 이용에 따른 유용성을 알아보고자 한다.

II . 대상 및 방법

1. 실험기기

본 실험을 위하여 선량 측정에는 Fig. 1에서 (a)는 반도체 선량계 Piranha 657 (RTI Electronics, Sweden), (b)는 면적 선량계 Vacu DAP Bluetooth duo(JPI Healthcare, Korea), (c)는 유리 선량계(AGC Techno Glass Co, Japan)를 사용하였다. 방사선 발생장치로는 AccuRay-650R(Dong Kang, Korea)로 고주파 인버터 (Hight Frequency Inverter Type) 3상 방식으로 고유여과(inherent filtration)는 0.9 mmAl이고 부과여과(additional filtration)는 1.5 mmAl를 갖는다.

반도체 선량계는 Piranha 657의 External detector를 이용해 측정하였고, 이는 오차범위가 ± 5%이내 이며, 선량 측정범위는 최소 0.5 μGy부터 최대 1,500 Gy까지 측정이 가능하다.

면적선량계는 간편하고 실시간성을 갖추고 있는 선량계로 피부입사선량(Entrance Surface Dose; ESD)을 나타내는 것으로 조사야 SID에 따른 후방산란계수 X선 입사선량을 실시간으로 표시하며, X선 입사부의 피폭정도를 판단할 수 있다[12].

유리선량계는 총 12개를 사용하였고 SC-1 모델로 30 mm × 40 mm × 9 mm 크기이며 사각모형이다. 측정 선량 범위는 1 μGy~10 Gy / 1 μSv~1 Sv이다. FGD-202(AGC Techno Glass Co, Japan)를 이용하여 유리 선량계의 판독 장치로 사용하였다[13].

2. 실험 방법

1) 방사선 선량측정

실험 전에 정확한 측정을 위해 사용될 GD 소자를 DKN402 (Yamato Scientific, LTD, Japan)를 사용하여 열처리 과정(400℃, 1시간)에 의해 혹시 남아있을 선량을 제거하였다. [Fig. 2]처럼 위치시킨 후 선량계를 각각 측정하였고, 후방산란을 제거하기 위해 면적선량계 밑에 납판을 두었다. 선량에 대한 재현성 확보를 위해 실험에 이용한 유리선량계 12개와 면적선량계, 반도체선량계를 동일한 절차로 하여 5 회 이상 반복 측정하였다.

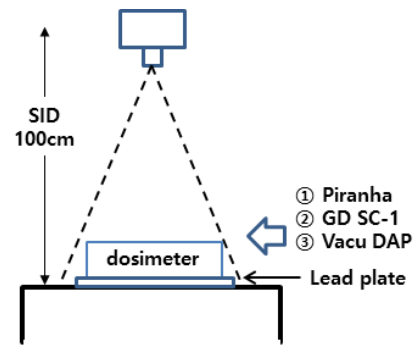


Fig. 2. Experimental diagram

SID는 일반촬영과 같은 조건으로 설정하기 위해 일반촬영 시 주로 사용하는 100 cm로 설정하였고, Table 1과 같이 관전압 (kVp)과 관전류 (mA), 조사면 (Field size)을 설정하였다. 조사야의 경우 면적선량계의 최대 크기인 15 × 15 cm²을 고려하여 설정하였다.

DAP의 경우 선량값은 다음의 식(1)을 이용하여 산출하였다.

$$DAP(Gy \times cm^2) = Dose \times Area \text{ ----- 식 (1)}$$



(a) Piranha 657

(b) Vacu DAP

(c) Glass Dosimeter

Fig. 1. (a) Piranha 657 (b) Vacu DAP (c) Glass dosimeter

Table 1. experimental conditions(Field size, mAs, kVP)

Field size (cm)	mAs	kVp
10 × 10	10	60
		70
		80
	16	60
		70
		80
15 × 15	10	60
		70
		80
	16	60
		70
		80

본 논문에서는 조사야 크기를 10 × 10 cm, 15 × 15 cm으로 하고 관전압 세 그룹(60 kV, 70 kV, 80 kV)과 관전류를 10 mAs, 16 mAs 2가지 조건을 이용하여 유리 선량계, 면적 선량계, 반도체 선량계의 선량 값들을 그래프로 나타내었다.

2) 선량계별 선량 값 차이 비교

각각의 선량계에서 나타난 실측치를 비교하기 위해 임의로 반도체 검출기 값 1을 기준하였다. 이는 일반적으로 사용이 간편하여 보편적으로 선량 측정에 주로 사용하기 때문에 이 값을 기준으로 하여 면적 선량계와 유리 선량계 간의 선량값 차이를 구하였다.

III. 결과

1. 선량계별 선량 실측 치

1) 조사야 10 × 10 cm, 관전류 10 mAs

각각의 선량계 평균값은 관전압 60 kV에서 유리 선량계 0.67 mGy, 면적 선량계 0.54 mGy, 반도체 선량계 0.67 mGy, 관전압 70 kV에서는 유리 선량계 0.93 mGy, 면적 선량계 0.74 mGy, 반도체 선량계 0.93 mGy. 관전압 80 kV에서는 유리 선량계 1.23 mGy, 면적 선량계 0.96 mGy, 반도체 선량계 1.20 mGy이었다.

실험 조건에 의한 반도체선량계, 유리선량계, 면적선량계 각각의 R제곱 값은 0.9983, 0.9999, 0.9992로 관전압 값이 증가함에 따라 측정 선량 값도 증가하는 선형성(linearity)을 알 수 있었다[Fig. 3].

Table 2. Dose by dosimeter according to tube voltage change at field size 10 × 10 cm, 10 mAs

10 mAs		mGy	
(10 × 10)	GD	DAP	semiconductor
60 kvp	0.67	0.54	0.67
70 kvp	0.93	0.74	0.93
80 kvp	1.23	0.96	1.20

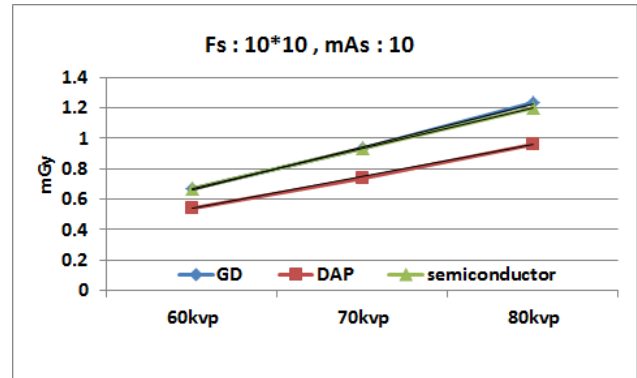


Fig. 3. Dose value variation at 10 × 10 cm, 10 mAs

2) 조사야 10 × 10cm, 관전류 16 mAs

각각의 선량계 평균값은 관전압 60 kV에서는 유리 선량계 1.08 mGy, 면적 선량계 0.87 mGy이며 반도체 선량계 1.11 mGy, 관전압 70 kV에서는 유리 선량계 1.51 mGy, 면적 선량계 1.19 mGy이며 반도체 선량계 1.49 mGy, 관전압 80 kV에서는 유리 선량계 1.99 mGy, 면적 선량계 1.55 mGy이며 반도체 선량계 1.90 mGy이었다.

Table 3. Dose by dosimeter according to tube voltage change at field size 10 × 10 cm, 16 mAs

16 mAs		mGy	
(10 × 10)	GD	DAP	semiconductor
60 kvp	1.08	0.87	1.11
70 kvp	1.51	1.19	1.49
80 kvp	1.99	1.55	1.90

실험 조건에 의한 반도체선량계, 유리선량계, 면적선량계 각각의 R제곱 값은 0.9995, 0.9999, 0.9988로 관전압 값이 증가함에 따라 측정 선량 값도 증가하는 선형성(linearity)을 알 수 있었다[Fig. 4].

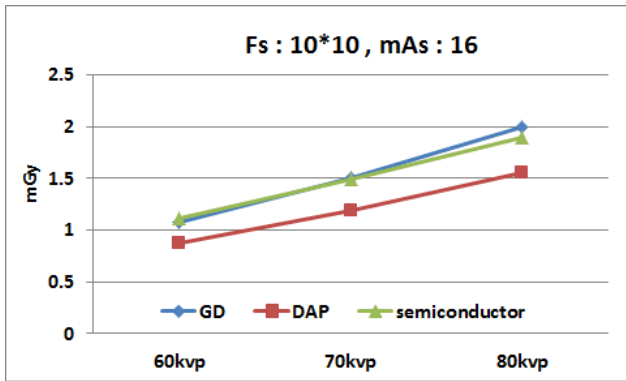


Fig. 4. Dose value variation at 10 × 10 cm, 16 mAs

3) 조사야 15 × 15 cm, 관전류 10 mAs

각각의 선량계 평균값은 관전압 60 kV에서는 유리 선량계 0.65 mGy, 면적 선량계 1.08 mGy, 반도체 선량계 0.61 mGy, 관전압 70 kV에서는 유리 선량계 0.90 mGy, 면적 선량계 1.55 mGy, 반도체 선량계 0.83 mGy, 관전압 80 kV에서는 유리 선량계 1.18 mGy, 면적 선량계 1.93 mGy, 반도체 선량계 1.07 mGy이었다.

Table 4. Dose by dosimeter according to tube voltage change at field size 15 × 15 cm, 10 mAs

10 mAs		mGy		
(15 × 15)	GD	DAP	semiconductor	
60 kvp	0.65	1.08	0.61	
70 kvp	0.90	1.55	0.83	
80 kvp	1.18	1.93	1.07	

실험 조건에 의한 반도체선량계, 유리선량계, 면적선량계 각각의 R제곱 값은 0.9994, 0.9989, 0.9963로 관전압 값이 증가함에 따라 측정 선량 값도 증가하는 선형성(linearity)을 알 수 있었다[Fig. 5].

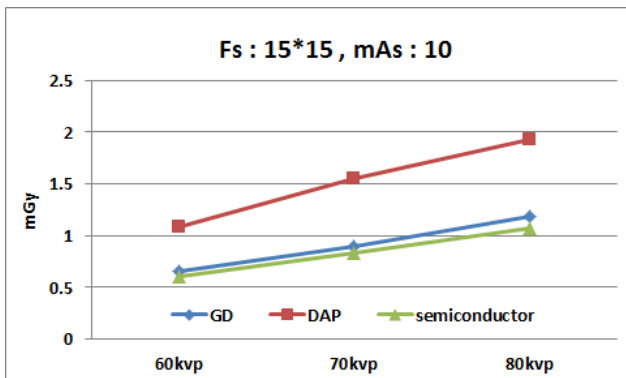


Fig. 5. Dose value variation at 15 × 15 cm, 10 mAs

4) 조사야 15 × 15 cm, 관전류 16 mAs

각각의 선량계 평균값은 관전압 60 kV에서는 유리 선량계 1.03 mGy, 면적 선량계 1.74 mGy이며 반도체 선량계 0.98 mGy, 관전압 70 kV에서는 유리 선량계 1.42 mGy, 면적 선량계 2.37 mGy이며 반도체 선량계 1.33 mGy, 관전압 80 kV에서는 유리 선량계 1.89 mGy 면적 선량계 3.02 mGy이며 반도체 선량계 1.71 mGy이었다.

실험 조건에 의한 반도체선량계, 유리선량계, 면적선량계 각각의 R제곱 값은 0.9994, 0.9971, 0.9999로 관전압 값이 증가함에 따라 측정 선량 값도 증가하는 선형성(linearity)을 알 수 있었다[Fig. 6].

Table 5. Dose by dosimeter according to tube voltage change at field size 15 × 15cm, 16 mAs

16 mAs		mGy		
(15 × 15)	GD	DAP	semiconductor	
60 kvp	1.03	1.74	0.98	
70 kvp	1.42	2.37	1.33	
80 kvp	1.89	3.02	1.71	

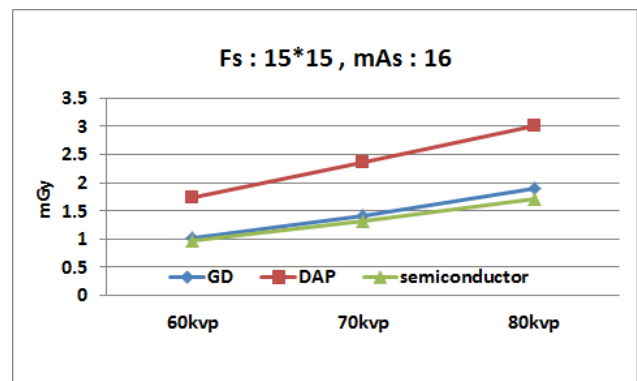


Fig. 6. Dose value variation at 15 × 15cm, 16 mAs

2. 선량계별 선량 값 차이 비교

반도체 선량계를 기준으로 각각의 선량계의 실측치를 비교한 선량 값들을 아래의 표와 그래프로 나타냈다.

Table 6. Comparison of relative dose values based on a semiconductor dosimeter

Field size	kVp	Semiconductor dosimeter		DAP		GD	
		10 mAs	16 mAs	10 mAs	16 mAs	10 mAs	16 mAs
10 × 10	60 kvp	1	1	0.8	0.8	1	1
	70 kvp	1	1	0.8	0.8	1	1
	80 kvp	1	1	0.8	0.8	1	1
15 × 15	60 kvp	1	1	1.8	1.8	1.1	1.1
	70 kvp	1	1	1.9	1.8	1.1	1.1
	80 kvp	1	1	1.8	1.8	1.1	1.1

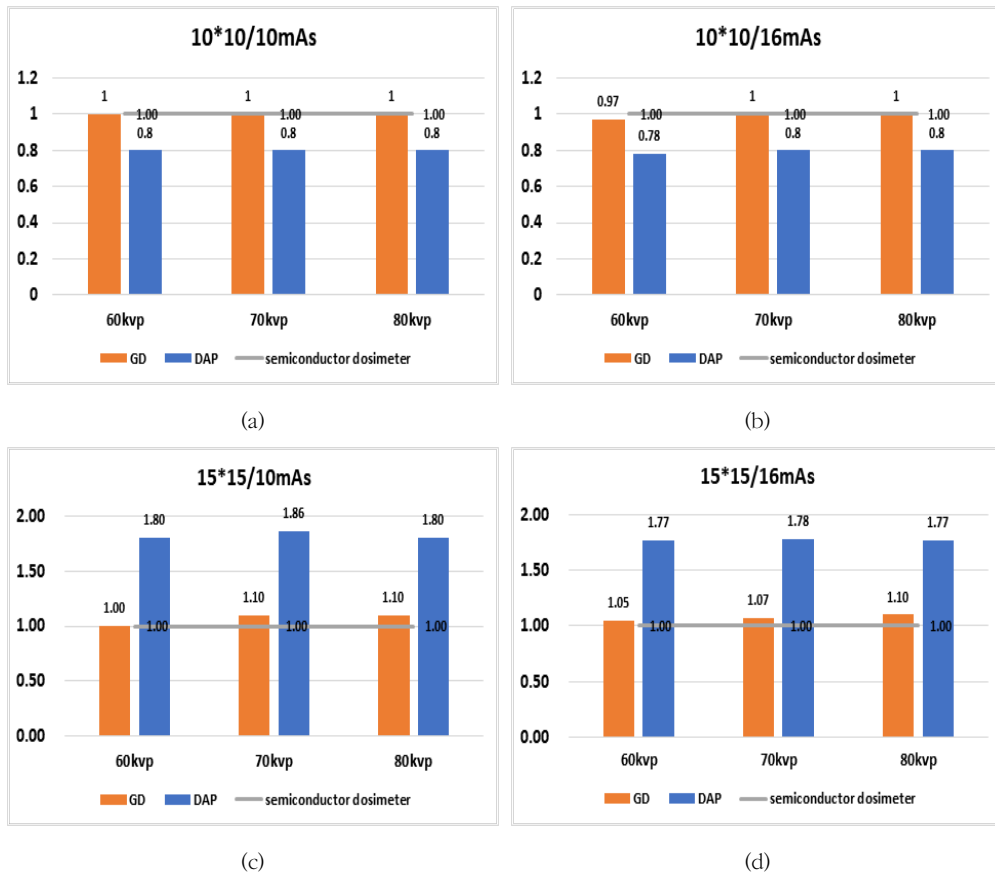


Fig. 7. Comparison of relative dose values based on a semiconductor dosimeter

(a) 10 × 10 cm, 10 mAs (b) 10 × 10 cm, 16 mAs (c) 15 × 15 cm, 10 mAs (d) 15 × 15 cm, 16 mAs

조사야 크기를 10 × 10 cm으로 하였을 때 관전류 10 mAs에서는 유리선량계와 반도체 선량계는 차이가 거의 없으나, 면적선량계는 낮은 선량 값을 나타냈고, 관전류를 16 mAs로 증가하였을 경우에도 마찬가지로 유리선량계와 반도체 선량계는 차이가 거의 없으나, 면적선량계의 경우 낮은 선량 값을 나타냈다. 한편, 조사야 크기를 15 × 15 cm로 넓혔을 경우 면적선량계에서 선량값이 다른 선량계보다 크게 나타났는데 관전류 10 mAs, 16 mAs로 증가시켰을 경우 면적선량계에서 선량값이 다른 선량계보다 크게 나타남을 알 수 있었다.

IV. 고 찰

각각의 선량계 특징으로 유리 선량계는 소자 간 재현성이 우수하며 퇴행 현상이 거의 없고 주변 온도 환경에 영향을 거의 받지 않아 누적 판독이 가능한 특성을 지니고 있다. 면적 선량계는 전리함의 구조로 엑스선 장치의 조사야 크기에

따른 전체를 측정할 수 있는 선량계로 진단방사선영역에서 사용하는 방사선 발생장치 등에 모두 설치할 수 있는 특성을 가진다. 반도체 선량계는 에너지 분해능이 우수하며 입사 방사선의 에너지와 출력 펄스와의 비례성이 좋고 응답속도가 빨라 측정결과를 바로 확인할 수 있다. 앞선 여러 논문들을 살펴보면 한재복 등은 “입사표면선량 계산에 따른 진단용X-선 촬영시 피폭선량 비교 연구를 통해 Edmonds가 고안한 ESDs식과 유리선량계의 실측치를 비교 평가하였고[14], 윤영우 등 “관전류 변화에 따른 면적선량과 영상농도 평가”에서 면적선량계를 이용하여 필름과 DR(Digital Radiography)의 농도를 비교하여 평가하였다[15]. 또한, 이강민 등 “IVR장치의 면적선량계교정 및 오차율 분석”에서 선량 실측에서 면적선량계의 오차율이 커 교정검출기의 허용오차를 ± 10%에서 ± 5%이하로 줄이는 교정값에 대한 연구의 필요성을 강조하였다[16]. 또한, 김교태 등은 “의료영상시스템에서 면적선량계 기반의 피폭선량관리시스템의 가능성 연구”를 통해 전리함 기반의 방식과 면적선량계 기반의 방식을 비교 평가하였는데 이 논문에서는 관전압에 따른

상관관계 여부를 확인하였다[17]. 이렇듯 DAP와 GD 등 선량계를 이용하여 환자의 피폭선량과 영상의 질(quality)에 관한 논문들이 많이 보고되는 실정이다. 본 저자의 선행 연구로 “유리선량계의 단계별 관전류량 변화에 따른 특성 연구”를 통해 유리선량계의 특성을 평가하였고[18], “두개부, 흉부, 복부검사시 반도체 선량계와 면적선량계를 이용한 선량값의 측정 및 비교”를 통해 상관관계를 평가하였다[19]. 본 연구를 통해 확인한 사항은 조사야 크기 10×10 cm, 관전류 10 mAs, 16 mAs에서는 유리선량계와 반도체 선량계의 경우 차이는 거의 없으나, DAP의 경우 낮은 선량 값을 나타냈다. 조사야크기 15×15 cm, 관전류 10 mAs, 16 mAs에서는 조사야 크기가 커질수록 DAP에서 선량값이 다른 선량계보다 크게 나타남을 알 수 있다. 관전압 뿐만 아니라 조사야 크기에 따라 면적선량계와 다른 선량계의 선량 실측치에 큰 차이가 나타남을 알 수 있었다.

본 연구에서는 유리 선량계, 면적 선량계, 반도체 선량계를 이용하여 선량계들의 선량 실측치를 비교 평가하여 선량계의 특성을 파악하고 각각의 선량계의 이용에 따른 유용성을 알아보고자 하였고, 연구의 제한점 및 추후 연구진행으로 방사선발생장치의 형식에 따른 종류 예를 들어 단상장치, 콘텐서 방식의 장치 등 다양한 장치들에 관한 연구와 촬영 조건을 보다 넓고 세밀하게 구분하여 장치별 선량계별 선량 실측치를 구할 필요가 있겠다.

V. 결론

임상에서 주로 사용하는 많은 선량측정기들 중에서 유리 선량계, 면적 선량계, 반도체 선량계를 사용하여 진단영역의 X선 에너지를 설정하여 실험을 진행하였다. 실험한 결과 유리 선량계, 반도체 선량계를 이용하여 설정한 조건에서 각 선량계 특성에 따른 차이가 발생하였고 특히, 면적 선량계의 값은 많은 차이가 나타남을 알 수 있었다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 일반촬영에서 조사야의 크기에 따라 선량 실측값이 크게 차이가 나타난다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 조사야를 줄이거나 확대하는 경우가 많은 일반촬영에서 면적 선량계가 아닌 유리선량계 또는 반도체 선량계를 사용하는 것이 보다 정확한 선량 측정이 가능할 것으로 사료된다. 그러므로 본 논문이 선량계에 따른 참고 지표로 활용하여 선량측정에 도움이 될 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] Kim JM, Do GH, Kim GP, Hwang JY, Choi HJ, Kim SG. A Study on building the management system and methods of patient radiation exposure dose. National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency; 2014.
- [2] KFDA. 2012 Guideline on patient dose suggestion of general radiology. Seoul, Korea, 2012.
- [3] KFDA. Measurement Guideline of patient dose. Seoul, Korea, 2007.
- [4] Son JH, Min JH, Kim HS, Lyu KY, Lim HS, Kim JM, et al. Experimental study with respect to dose characteristic of glass dosimeter for low-energy by using internal detector of piranha 657. Journal of Radiological Science and Technology. 2012;35(2): 119-24.
- [5] Kim JK, Kim JK. Evaluation on organ dose and image quality of lumbar spine radiography using glass dosimeter. Journal of Radiological Science and Technology. 2016;39(1):1-11.
- [6] Hwang JH, Lee KB. 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 Korea Contents Society. 2017;17(9):292-9.
- [7] Son JH, Min JH, Kim KW, Son SY, Lim HS. Experimental study on build up characteristic of glass dosimeter of preheat and Non-preheat in low energy according to delay time. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 2013; 14(7):3412-8.
- [8] Choi JH, Kang GJ, Chang SG. Comparison on the dosimetry of TLD and PLD by dose area product. The Korea Contents Society. 2012;3:244-50.
- [9] Jung JE, Won DY, Jung HM, Kweon DC. Calibration examination of dose area product meters using X-ray. Journal of the Korean Society of Radiology. 2017;11(1):37-42.
- [10] Kwak DH, Lee SH, Lee SH. Development of DAP(Dose Area Product) for radiation evaluation of medical and industrial X-ray generator.

- Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers, 2018;22(2):495-8.
- [11] Tung CJ, Tsai HY. Evaluations of Gonad and Fetal Doses for Diagnostic Radiology. Council Republic Of China Part B. 1993;23(3):107-13.
- [12] RTI Electronics Inc. Piranha Reference Manual (Version 4.3A (10), 21), 2012.
- [13] Asahi Techno Glass Corporation. Explanation material of RPL glass dosimeter: Small element system. Tokyo, Japan; 2000.
- [14] Han JB, Choi NG, Sung HJ. Comparative study of radiation exposure using entrance skin dose calculation technique in diagnostic X-ray radiography. The Korea Contents Society. 2011;(12):357-63.
- [15] Yun YW, Je JY. Evaluation of area dose product and image density according to the variable tube current. Journal of the Korean Society of Radiology. 2018;12(67):645-50.
- [16] Lee GM, Kang BS, Park HH, Lee GY. An analysis of the area dose meter calibration and error rate in an IVR device. Journal of Korean Society of Cardio-Vascular Interventional Technology. 2012; 15(1):128-34.
- [17] Kim KT, Choi IH, Jung BJ, Kang SS, Noh SC, Heo YJ, et al. Feasibility study of DAP-based radiation dose management system in medical imaging system. The Institute of Electronics and Information Engineers. 2015;6:1157-9.
- [18] Son JH, Kim SH, Mun HJ, Kim LK, Son IH, Kim YJ, et al. A study on characteristic of glass dosimeter according to graded change of tube current. Journal of Radiological Science and Technology. 2014;37(2):135-41.
- [19] Kim KW, Son JH. Comparisons and measurements the dose value using the semiconductor dosimeter and dose area product dosimeter in skull, chest and abdomen. Journal of Radiological Science and Technology. 2015;38(2):101-6.

구분	성명	소속	직위
단독	손진현	신구대학교	조교수