

The Study on Scattered Radiation Effects According to Acquisition of X-ray Imaging using Monte Carlo Simulation

Ji-Koon Park,¹ Sang-Sik Kang,¹ Seung-Woo Yang,² Ye-Ji Heo,³ Kyo-Tae Kim^{4,*}

¹Institute of Radiation Fusion Technology, International University of Korea

²Department of Radiological Science, International University of Korea

³Department of Medical Imaging Research Institute, Inje University

⁴Software Education Institute, Inje University

Received: September 28, 2018. Revised: October 25, 2018. Accepted: October 31, 2018

ABSTRACT

The medical imaging technique images the contrast formed based on the difference in absorption coefficient of X-rays which changes according to the composition and thickness of the object. At this time, not only primary rays entering the image detector but also scattered rays greatly affect the image quality. Therefore, in this paper, Forward scattering rate and Scattered to primary ratio analysis were performed through Monte Carlo simulation in order to consider influence of scattered ray generated according to object thickness and radiation exposure area change on image quality. In the study, the Forward scattering rate corresponding to the thickness of the object was analyzed at a maximum of 15.3%p and the Scattered to primary ratio was analyzed at 2.00 to 4.54, but it was analyzed as maintaining a constant value for radiation exposure area change. Based on these results, the thickness of the object should be considered as a factor influencing the quality of the image, but radiation exposure area verified that it is a factor that does not affect the image quality. We believe that the results of this research can be utilized as basic information of scattered radiation to improve image quality.

Keywords: Monte carlo simulation, Image quality, ANSI chest phantom, Forward scattering rate, Scattered to primary ratio

I. INTRODUCTION

최근 인류가 웰빙이라는 건강한 삶을 핵심 가치로 인식하면서 예방의학에 대한 관심이 점차 대두되고 있으며, 질병에 대한 조기진단을 위한 방사선의 이용이 증가하고 있다.^[1,2] 이러한 방사선 이용의 증가는 의료기기 시장의 성장 동력이 되고 있으며 낮은 선량으로 고품질의 영상 획득을 목적으로 새로운 기술이 지속적으로 연구되고 있다.^[3,4] 특히, 환자의 해부학적 구조를 시각화하는 영상 검출기가 디지털화되면서 종래에는 불가능하였던 영상처리가 가능해짐에 따라 많은 정보를 효율적으로 확보할 수 있게 되었으며 의료진이 질병을 진단하기

위해 요구되는 영상 품질에 대한 확보가 용이해졌다. 그러나 영상 품질 개선을 위한 영상처리가 가능하더라도 방사선작업종사자가 고품질의 원본 영상을 획득하는 것은 매우 중요하며 이를 위해 영상 품질에 미치는 요소를 이해해야만 한다. 방사선 영상 기술은 피사체의 조성 및 두께에 따라 변화되는 X선의 흡수계수 차이를 기반으로 형성되는 대조도를 영상화하는 기술로서 영상 검출기에 입사하는 1차선 뿐만 아니라 산란선이 영상 품질에 큰 영향을 미친다. 특히, 산란선은 관전압, 조사 시간, 피사체 조성, 피사체 두께, 조사야 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다.^[5,6] 하지만, 이론적으로 영상 대조도에 큰 영향을 미치는 인자인 관전압, 조사 시간, 피사체 조성에 대한 연구는 다양하게 이루어졌

* Corresponding Author: Kyo-Tae Kim

E-mail: radiokkt09@naver.com

Tel: +82-10-6820-1367

으나 피사체 두께, 조사야에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 피사체 두께, 조사야에 따라 발생하는 산란선 발생량을 정량적으로 분석하고자 몬테카를로 (MC; Monte Carlo) 시뮬레이션을 수행하였으며, 전방산란율 (FSR; Forward Scattering Rate) 및 1차선에 대한 산란선 비율 (SPR; Scattered to Primary Ratio)을 모의 추정함으로써 산란선이 화질에 미치는 영향을 고찰하였다.

II. METHODS

본 연구에서는 식품의약품안전처 (MFDS; Ministry of Food and Drug Safety)에서 제시하고 있는 영상의학검사 중 Chest AP 검사 시 통계적으로 많이 이용하고 있는 검사조건을 선정하였다.^[7] 이 때, Chest AP의 검사조건은 88.93 ± 18.10 kVp, 10.03 ± 8.27 mAs, 1558 cm^2 제시되고 있다.

1. Design of the geometry

본 연구에서는 전 세계적으로 검증된 방사선 수송 모의 코드인 MCNP (Los Alamos National Laboratory, USA, Ver. X) 코드를 이용하여 검사조건에 따른 산란선을 모의 추정하였다.

1.1 Experimental setup

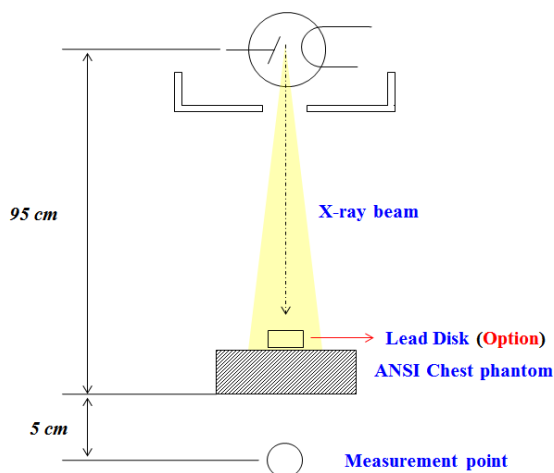


Fig. 1. Schematic diagram of designed of the geometrical model in for MC simulation.

본 연구에서는 Chest AP 검사법에 대한 환경을 구현하고자 미국표준협회 (ANSI; American National Standards Institute)에서 조직등가물질로 제작된 흉

부 팬텀과 방사선 검출기 EXTRADIN A4를 참고하여 Fig. 1과 같이 모델링하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 선원과 방사선 검출기 간의 거리를 100 cm로 설정하였고, 산란선 발생을 위해 ANSI 흉부 팬텀을 방사선 검출기로부터 5 cm 상단에 구현하였다. 또한, 방사선 검출기는 구형으로 공기등가물질 C-552를 외벽 0.6 mm을 설계하였고 검출 체적을 약 30 cm^3 로 구현하였다. 이 때, C-552의 원자 밀도는 1.76 g/cm^3 으로 설정하였으며 원소 비율은 미국 표준기술연구소에서 제시하는 정보를 적용하였다. 납 디스크의 경우 1차선을 차폐하기 위한 목적으로 선택적으로 구현되었다. 또한, 진단에너지 영역에 대하여 약 99.9% 이상 차폐 가능한 3 mm의 두께로 설계하였고, 방사선 검출기의 검출 체적을 고려하여 직경 4 cm으로 설계하였다. 이 때, 납의 원자 밀도는 11.35 g/cm^3 이다.

1.2 ANSI Chest Phantom

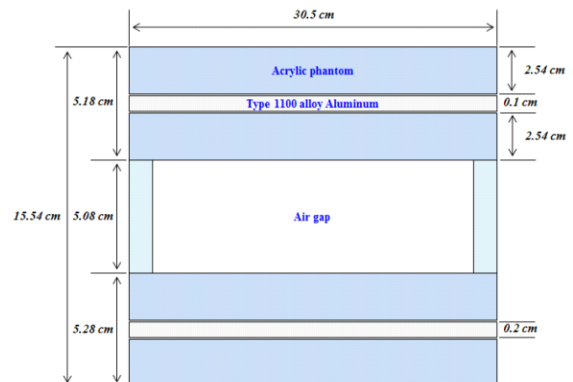


Fig. 2. Schematic diagram of ANSI chest phantom.

Table 1. Conditions of geometry setup for ANSI chest phantom at MC simulation

Note	Shape	Geometrical condition
Acrylic Phantom	Cube	$30.5 \times 30.5 \times 2.54 \text{ cm}^3$
1st Aluminum Sheet	Cube	$30.5 \times 30.5 \times 0.1 \text{ cm}^3$
2nd Aluminum Sheet	Cube	$30.5 \times 30.5 \times 0.2 \text{ cm}^3$

본 연구에서는 산란선을 발생시키기 위하여 아크릴로 구성된 ANSI 흉부 팬텀을 Fig. 2과 같이 모델링 하였다.^[8,9] 또한, MC 시뮬레이션에서 설정한 기하학적 조건을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 ANSI 흉부 팬텀은 동일한 4개의 아크릴 팬텀과 두께가 상이한 2개의 알루미늄으로 구성된다. 이 때, 아크릴의 원자 밀도는 1.19 g/cm^3 , 알루미늄은 2.7 g/cm^3 으로 설정하였으며, 아크릴에 대한 원소 비율은 미국표준기술연구소에서 제시하는 정보를 적용하였다. 또한, 폐를 재현하기 위해 ANSI 흉부 팬텀에 5.08 cm의 에어 갭을 구현하였다.

2. Design of the radiation source

본 연구에서 MC 시뮬레이션을 효과적으로 수행하기 위하여 J. M. Boone et al.이 제안한 X선 스펙트럼 시뮬레이션 코드를 바탕으로 siemens healthcare GmbH에서 제공하는 오픈 소스를 이용하였다.^[10] 방사선원에서 방출된 광자 및 전자의 모의수송을 정의하기 위하여 Mode P, E를 이용하였고, ERG (Energy)는 방사선 발생장치의 타겟 재질로 일반적으로 이용되고 있는 텅스텐에서 발생하는 연속 엑스선 광자의 에너지 분포 데이터 중 88 kVp에 대한 SI (Source Information) 및 SP (Source Probability)로 히스토그램을 정의하였다. 또한, 맥동률 13.4%, 2.5 mmAl으로 여과된 에너지 스펙트럼을 면선원으로 구현하였다. 맥동률은 3상 6피크의 X선 시스템을 기준으로 설정하였다. 마지막으로 모의 추정된 값을 얻기 위하여 Tally specification card는 F6 Tally를 설정하였으며 5×10^7 번의 샘플링을 통해 방사선 검출기에 흡수될 확률을 모의 추정하였다.

3. Evaluation of scattered radiation

본 연구에서는 피사체 두께, 조사야에 따라 방사선 검출기에서 모의 추정된 흡수선량을 바탕으로 FSR을 산출하였다. 이 때, 모의 추정된 흡수선량을 바탕으로 FSR은 다음의 수식으로 도출하였다.

$$\text{FSR} = (D_{\text{with}} / D_{\text{without}}) \times 100 \quad (1)$$

D_{with} 은 납 디스크가 있을 경우 흡수선량을 의미하고, D_{without} 은 납 디스크가 없을 경우 흡수선량을 의미한다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 납 디스크는 1차선을 차폐하기 위한 목적으로 이용되므로 상기 수식에서 D_{with} 은 산란선량, D_{without} 은 1차선과 산란선

에 대한 흡수선량으로 해석할 수 있다. 또한, 본 연구에서는 다음의 수식을 통하여 SPR을 도출하였다.

$$\text{SPR} = D_{\text{with}} / (D_{\text{without}} - D_{\text{with}}) \quad (2)$$

' $D_{\text{without}} - D_{\text{with}}$ '는 1차선과 산란선에 대한 흡수선량에서 산란선을 제외한 것이므로 1차선을 의미한다.

4. Evaluation of parameter

본 연구에서는 피사체 두께에 따라 산란선이 영상 품질에 미치는 영향을 고찰하기 위해 2.54 cm의 아크릴 팬텀을 ANSI 흉부 팬텀 상단에 4개까지 증가시키며 방사선 검출기에서 흡수선량을 모의 추정하였다. 또한, 조사야의 경우 MFDS에서 제시하는 검사조건의 최대/최소 평균 스크린 넓이를 활용하였다. 이 때, 제시된 검사 조건은 $928 \sim 1634 \text{ cm}^2$ 이다. 이에 본 연구에서는 $29 \times 32 \text{ cm}^2$ (928 cm^2), $31 \times 34 \text{ cm}^2$ (1054 cm^2), $33 \times 36 \text{ cm}^2$ (1188 cm^2), $35 \times 38 \text{ cm}^2$ (1330 cm^2), $38 \times 41 \text{ cm}^2$ (1558 cm^2)에 대하여 흡수선량을 모의 추정하였다.

III. RESULTS

1. Forward scattering rate

표준 ANSI 흉부 팬텀을 이용하여 MFDS에서 제시된 chest AP 조건 88 kVp, $38 \times 41 \text{ cm}^2$ 을 이용하여 FSR을 산출한 결과, 66.6%가 나타났다. Fig. 3은 피사체 두께 변화에 따른 FSR를 나타내었다.

피사체 두께에 따른 결과를 $38 \times 41 \text{ cm}^2$ 에서 분석한 결과, 2.54 cm에서 71.7%, 5.08 cm에서 76.2%, 7.62 cm에서 79.1%, 10.16 cm에서 81.9%로 산출되었다. 이러한 결과를 바탕으로 표준 ANSI 팬텀 (0 cm)과 10.16 cm에서 최대 15.3%p의 FSR 차이가 분석되었다. 또한, 초기 2.54 cm를 추가 시 약 5%p의 FSR 증가가 분석되었으나 점차 4.5%p, 2.9%p, 2.8%p로 감소하였다.

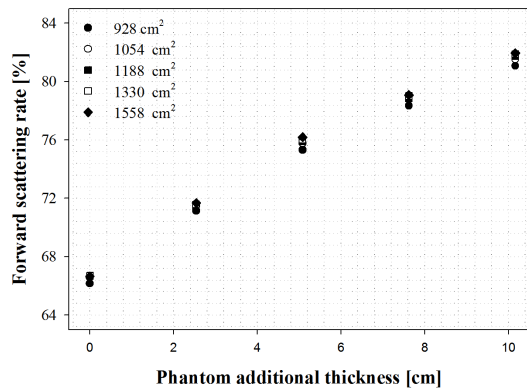


Fig. 3. FSR as a function of additional thickness from ANSI chest phantom.

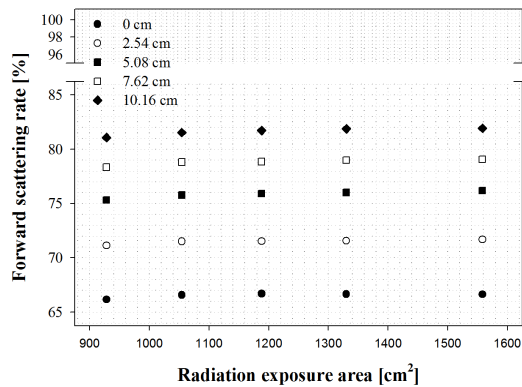


Fig. 4. FSR as a function of radiation exposure area.

이러한 결과는 동일한 두께 변화량에 대한 FSR 변화량이 상이하며 선량함수 추세를 따르지 않는다는 것을 의미한다. 이를 보다 정확하게 분석하기 위해 회귀분석을 통한 fit curve 결정 계수 (Coefficient of determination, denoted R^2)와 더불어 추세 변화를 분석하였다. $38 \times 41 \text{ cm}^2$ 에서 분석한 결과, ' $R^2 = 0.9991$ '를 따르는 ' $Y = -0.0662 X^2 + 2.1685 X + 66.652$ '의 2차 함수로 분석되었다. 이 때, Y는 FSR, X는 ANSI 흉부 팬텀에서 추가된 두께를 의미한다. 또한, 가장 작은 면적 $29 \times 32 \text{ cm}^2$ (928 cm^2)에서 분석한 결과, ' $R^2 = 0.9997$ '를 따르는 ' $Y = -0.0628 X^2 + 2.0969 X + 66.186$ '의 2차 함수로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 피사체 두께가 증가할수록 영상 검출기에 입사되는 총 선량에서 산란선의 비중이 점차 높아지는 것을 확인하였으며 피사체 두께에 대하여 선형함수가 아닌 2차 함수적인 추세가 나타나는 것을 확인하였다. Fig. 4는 조사야 변화에

따른 FSR를 나타내었다.

피사체 두께에 따른 결과를 표준 ANSI 흉부 팬텀의 두께에서 분석한 결과, 928 cm^2 에서 66.2%, 1054 cm^2 에서 66.6%, 1188 cm^2 에서 66.7%, 1330 cm^2 에서 66.7%로 산출되었다. 이러한 결과를 바탕으로 조사야에 대하여 약 0.5%p의 FSR 증가가 분석되었다. 하지만, ANSI 흉부 팬텀의 물리적 크기가 $30.5 \times 30.5 \text{ cm}^2$ (930.25 cm^2)인 것을 고려한다면 $29 \times 32 \text{ cm}^2$ (928 cm^2)의 조사야는 산란선을 발생시키는 활성 면적이 불완전하므로 이를 제외한다면 FSR 변화는 0.1%p로 미소한 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 조사야 변화에 따라 FSR은 일정한 값을 유지하며 영상 품질에는 큰 영향을 미치지 않는 인자인 것을 확인하였다.

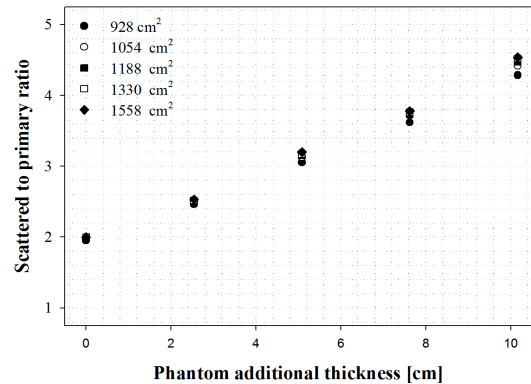


Fig. 5. SPR as a function of additional thickness from ANSI chest phantom.

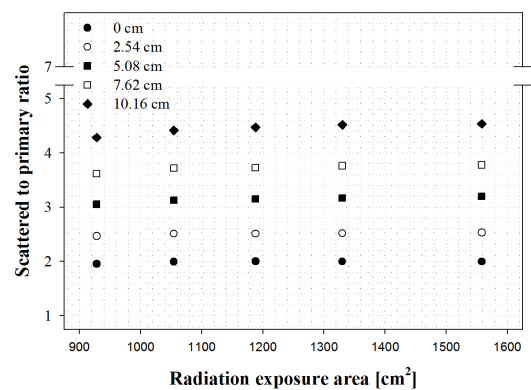


Fig. 6. SPR as a function of radiation exposure area.

2. Scattered to primary ratio

표준 ANSI 흉부 팬텀을 이용하여 MFDS에서 제시된 chest AP 조건 88 kVp, $38 \times 41 \text{ cm}^2$ 을 이용하

여 SPR을 산출한 결과, 2.00으로 나타났다. Fig. 5는 피사체 두께 변화에 따른 SPR를 나타내었다.

피사체 두께에 따른 결과를 $38 \times 41 \text{ cm}^2$ 에서 분석한 결과, 2.54 cm에서 2.53%, 5.08 cm에서 3.20%, 7.62 cm에서 3.78%, 10.16에서 4.54%로 산출되었다. 회귀분석을 통한 fit curve 결정 계수와 더불어 추세 변화를 분석한 결과, $38 \times 41 \text{ cm}^2$ 의 경우 $R^2 = 0.9968$ 을 따르는 $Y=0.2491 X + 1.9437$ 의 선형 함수로 분석되었다. 또한, $29 \times 32 \text{ cm}^2$ (928 cm^2)에서 분석한 결과, $R^2 = 0.9980$ 을 따르는 $Y=0.2290 X + 1.9120$ 의 선형함수로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 피사체 두께가 증가할수록 영상 검출기에 입사되는 1차선 대비 산란선의 비중이 점차 높아지는 것을 검증하였다.

피사체 두께에 따른 결과를 표준 ANSI 흉부 팬텀의 두께에서 분석한 결과, 928 cm^2 에서 1.95, 1054 cm^2 에서 1.99, 1188 cm^2 에서 2.00, 1330 cm^2 에서 2.00로 산출되었다. 이러한 결과를 바탕으로 조사야에 대하여 약 0.05의 SPR 증가가 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 조사야 변화는 영상 품질에는 큰 영향을 미치지 않는 인자인 것을 검증하였다.

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 피사체 두께, 조사야 변화에 따라 발생하는 산란선이 영상 품질에 미치는 영향을 고찰하고자 MC 시뮬레이션을 통하여 FSR 및 SPR 분석을 수행하였다. 연구 결과, 피사체 두께에 따른 FSR은 최대 15.3%p 차이가 분석되었으며 SPR은 2.00 ~ 4.54까지 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 실제 측정을 통하여 SPR 결과를 제시한 타 연구자와 유사하였다.^[11] 하지만, 조사야의 경우 FSR 및 SPR이 일정한 값을 유지하는 것으로 분석되었으며, 영상 품질에 영향을 미치지 못하는 인자임을 검증하였다. 이러한 결과를 바탕으로 피사체 두께는 영상 품질에 영향을 미치는 인자로 고려되어야 할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

최근 조기진단을 위한 방사선의 이용이 증가함에 따라 영상 품질에 대한 개선 연구가 지속적으로

이루어지고 있다. 특히, 디지털 장치를 이용한 영상 처리는 종래에 불가능하던 정보를 의료진에게 제공하고 있다. 하지만, 영상처리가 가능하더라도 방사선작업종사자가 고품질의 원본 영상을 획득하는 것은 중요하며 이를 위해 영상 품질에 미치는 요소를 이해해야만 한다. 이에 본 연구에서 피사체 두께 및 조사야에 따른 산란선 발생이 영상 품질에 미치는 영향을 MC 시뮬레이션을 통해 고찰하고자 FSR, SPR을 정량적으로 분석하였다. 본 연구 결과는 영상 품질 개선을 위한 산란선의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국국제대학교 연구기금(2018)과 한국연구재단 중견연구자지원 사업(No. 2017R1A2B4 009249)의 지원을 받아 수행되었습니다.

Reference

- [1] J. H. Kwak, J. B. Jeong, "A Study on the Guardian's perception of Attending Patient in Pediatric Radiology," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 8, No. 4, pp. 189-201, 2014.
- [2] S. G. Choi, "Change of the Scattered Dose by Field Size in X-ray Radiography," International Journal of Contents, Vol. 13, No. 3, pp. 198-203, 2013.
- [3] P. K. Cho, "Distribution of the Scatter Ray on Chest X-ray Examinations," International Journal of Contents, Vol. 12, No. 7, pp. 255-260, 2012.
- [4] J. S. Lee, C. S. Kim, "The Additional Filter and Ion Chamber Sensor Combination for Reducing Patient Dose in Digital Chest X-ray Projection," Journal of Korean Society of Radiology, Vol. 9, No. 3, pp. 174-181, 2015.
- [5] S. K. Na, S. H. Han, "A Study on the Factors of Spatial Scattered Ray Occurrence in the X-ray Radiography Room," Journal of the Korean Society of Radiological Technology, Vol. 32, No. 4, pp. 393-399, 2009.
- [6] M. J. Whan, H. S. Gyu, J. M. Kim, J. A. Lee, K. W. Kim, H. W. Jeong, "Evaluation of scatter radiation in digital radiological condition by using phostimulated luminescence (BaFBr:Eu2+)," Journal of

the Korean Society of Radiological Technology, Vol. 37, No. 2, pp. 85-91, 2014.

- [7] "Patient Dose Reference Levels Guidelines of General Radiology," Korea Food & Drug Administration, Radiation safety management series, No. 30, 2012.
- [8] American Association of Physicists in Medicine, "Standardized methods for measuring diagnostic x-ray exposures," AAPM Report no. 31, 1990.
- [9] American Association of Physicists in Medicine, "Instrumentation requirements of diagnostic radiological physicists," AAPM Report no. 60, 1998.
- [10] J. M. Boone, J. A Seibert, "An accurate method for computer-generating tungsten anode x-ray spectra from 30 to 140 kV," Medical Physics. Vol. 24, No. 11, pp. 1661-1670, 1997.
- [11] C. H. Baek, "A Study of Scattered Radiation Effect on Digital Radiography Imaging System," Journal of Radiological Science and Technology and Technology, Vol. 40, No. 1, pp. 71-78, 2017.

몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 X선 의료영상 획득 시 산란선 발생 영향 연구

박지균,¹ 강상식,¹ 양승우,² 허예지,³ 김교태^{4*}

¹한국국제대학교 방사선융합기술연구소

²한국국제대학교 방사선학과

³인제대학교 의료영상연구소

⁴인제대학교 소프트웨어교육원

요 약

방사선 영상 기술은 피사체의 조성 및 두께에 따라 변화되는 X선의 흡수계수 차이를 기반으로 형성되는 대조도를 영상화하는 기술로서 영상 검출기에 입사하는 1차선 뿐 만 아니라 산란선이 영상 품질에 큰 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 피사체 두께, 조사야 변화에 따라 발생하는 산란선이 영상 품질에 미치는 영향을 고찰하고자 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 FSR 및 SPR 분석을 수행하였다. 연구 결과, 피사체 두께에 따른 FSR은 최대 15.3%p, SPR은 2.00 ~ 4.54로 분석되었으나, 조사야 변화에 대해서는 일정한 값을 유지하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 피사체 두께는 영상 품질에 영향을 미치는 인자로서 고려되어야 하지만, 조사야는 영상 품질에 영향을 미치지 못하는 인자임을 검증하였다. 이러한 본 연구 결과는 영상 품질 개선을 위한 산란선에 대한 기초 자료로서 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 몬테카를로 시뮬레이션, 영상 품질, ANSI 흉부 팬텀, 전방산란율, 1차선 대비 산란선 비율

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박지균	한국국제대학교 방사선융합기술연구소	교수
(공동)	강상식	한국국제대학교 방사선융합기술연구소	교수
	양승우	한국국제대학교 방사선학과	학생
	허예지	인제대학교 의료영상연구소	연구원
(교신)	김교태	인제대학교 소프트웨어교육원	연구원