

Comparison Evaluation of Image Quality with Different Thickness of Aluminum added Filter using GATE Simulation in Digital Radiography

Minju Oh,¹ Joo-Wan Hong,² Youngjin Lee^{1,*}

¹Department of Radiological Science, Gachon University

²Department of Radiological Science, Eulji University

Received: January 14 2019. Revised: February 20, 2019. Accepted: February 28, 2019

ABSTRACT

In X-ray image, the role of filtration through the filter is to reduce the exposure of the patient by using photon which is useful in formation of the image, and at the same time, enhance the contrast of the image. During interaction between photon and object, low energy X-rays are absorbed from the site of a few cm of the first patient's tissue, and high energy X-rays are the one which form the image. Therefore, the radiation filter absorbs low energy X-ray in order to lower the exposure of the patient and improve the quality of the image. The purpose of this study is to compare the effect on the image quality by differences of added filter through simulation image and actual radiation image. For that purpose, we used Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE) as a tool for Monte Carlo simulation. We set actual size, shape and material of Polymethylmethacrylate (PMMA) Phantom on GATE and differentiated the parameter of added filter. Also, we took image of PMMA phantom with same parameter of added filter by digital radiography (DR). Then we performed contrast-to-noise ratio (CNR) evaluation on both simulation image and actual DR image by Image J. Finally, we observed the effect on image quality due to different thickness of added filter, and compared two images' CNR evaluation's transitions of change. The result of this experiment showed decreasing in the progress of CNR on both DR and simulation image. It is ultimately caused by decreasing in contrast on image. In theory, contrast decrease with kVp increased. Given that condition, this study found out that filter makes not only decreasing total dose by absorbing low energy of X-ray, but also increasing average energy of X-ray.

Keywords: Added filter, GATE simulation, PMMA phantom, X-ray energy spectrum, Digital radiography

I. INTRODUCTION

진단용 X-선이 환자를 통과하면 저에너지 광자는 조직의 처음 몇 cm 부위에서 흡수되고 고에너지 부분만 통과하여 영상을 형성하게 된다. 저에너지 X-선은 피폭량이 가장 많은 반면, 영상의 질은 낮추기 때문에 이를 최소화하기 위해 금속으로 된 필터의 흡수단을 이용하여 X-선을 단색화 한다.^[1-3] 이러한 방사선 필터에는 두 종류가 존재하며, X-선 관과 관 용기에서의 Inherent filtration (고유 필터)와 X-선의 경로에 금속판을 위치시킨 Added filtration

(부가 필터)로 구분된다. Fig. 1은 X-선관의 기본적인 모식도를 보여준다.

기존에 필터들을 사용하여 CNR을 분석한 연구 결과들은 많이 있으나, 시뮬레이션과 실제실험을 비교해서 평가한 결과는 많지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 필터의 한 종류인 부가 필터의 유무와 두께 차이가 영상에 미치는 영향을 이상적인 상태인 시뮬레이션의 영상과 실제 영상에서 비교해 보는 것이다. 이를 위해 먼저 필터를 사용하지 않는 경우와 사용할 경우 두께에 따른 영상을 시뮬레이션을 통해 얻어낸다. 또한 같은 조건 하에

* Corresponding Author: Youngjin Lee

E-mail: yj20@gachon.ac.kr

Tel: +82-32-820-4362

Address: 191 Hwangmea-ro, Yeosu-gu, Incheon, Korea

실제 Digital Radiography (DR) 장비를 이용한 실험을 진행하여 그 결과를 시뮬레이션 영상과 실제 영상의 Contrast-to-Noise ratio (CNR) 평가결과의 추세의 차이를 통해 비교한다. CNR 평가란 영상의 노이즈의 비율로 영상의 화질을 평가하는 인자 중 하나이다. CNR 평가는 아래의 식 (1)을 이용하여 구하였다.^[4]

$$CNR = \frac{|S_A - S_B|}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}} \quad (1)$$

여기서 S_A 와 S_B 는 각각 ROI 영역과 background 영역에서 신호강도의 평균값을 나타낸 것이며, σ_A 와 σ_B 는 각각 ROI 영역과 background 영역에서 신호강도의 표준편차를 의미한다.

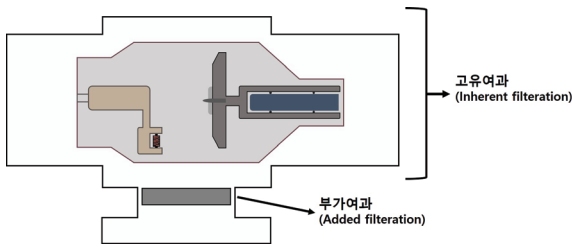


Fig. 1. Basic diagram of inherent filter and added filter of X-ray tube.

II. MATERIAL AND METHODS

1. GATE 시뮬레이션 모델링

본 연구는 GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission) 시뮬레이션 툴을 사용하였다. GATE란 X-선 System의 선원부, 검출부, 팬텀을 코드화 하여 컴퓨터에 입력한 뒤, 실제처럼 모사하여 컴퓨터상에서 가상으로 영상을 얻어내는 프로그램이다. 영상을 가상으로 형상화하여 실제 실험에서의 가능성을 확인할 수 있으며 현실에서 생길 수 있는 여러 오차들을 배제한 채 이상적인 조건에서의 영상을 얻을 수 있다.^[5] 본 연구에서는 실제 영상과의 비교를 위해 시뮬레이션 영상을 얻는 데에 사용되었다. Fig. 2는 실제 모델링된 GATE 시뮬

레이션 영상 화면이다.

기기 및 장치를 모델링하기 위하여 직경 2.5 cm, 높이 3 cm의 알루미늄 (Al) 기둥 2개로 구성되어 있는 PMMA 팬텀을 설계하였다. 이어서 부가필터인 Al 물질을 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 그리고 10.0 mm로 설계하였다. Fig. 3은 최종적으로 모델링한 PMMA 팬텀 모식도이다.

2. 입력 X-선 에너지 스펙트럼 모델링

X-선의 입력 에너지 스펙트럼은 SRS-78 프로그램을 사용하였다. SRS-78 프로그램이란 선원과 감약 물질을 설정하여 입력함으로써 그에 따른 X-선 에너지 스펙트럼을 구할 수 있는 프로그램이다. 본 연구에서는 고유 필터의 종류가 달라짐에 따라 달라지는 X-선 에너지 스펙트럼을 산출하기 위해서 사용되었으며, 시뮬레이션 영상을 구할 때 소스 코드를 입력하였고 그 화면은 Fig. 4와 같다.

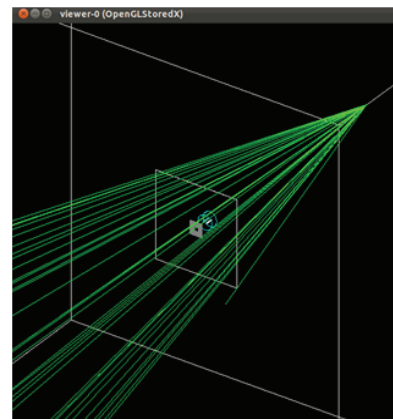


Fig. 2. Schematic illustration of simulation process in GATE program.

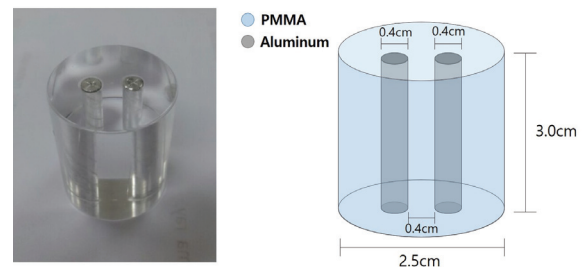


Fig. 3. Photo of real PMMA phantom and its geometric diagram.

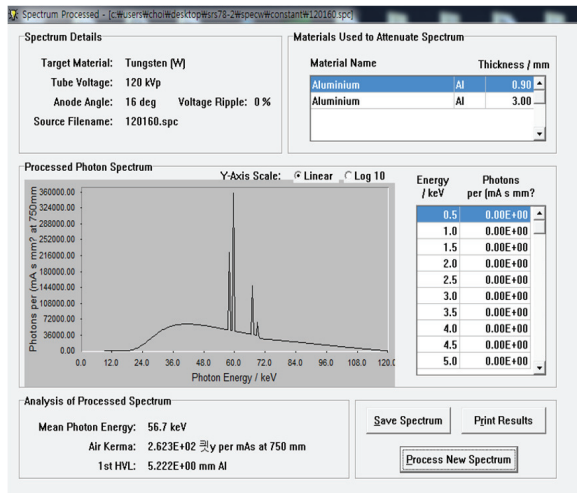


Fig. 4. Screen of derived energy spectrum using SRS-78 program.

3. 시뮬레이션 영상 형성

선원 설정에 있어서 먼저 SRS-78을 이용해 X-선의 광자수를 Al 필터의 두께에 따라 스펙트럼 값을 구했다. 이 광자의 개수를 GATE 시뮬레이션에 적용하여 시뮬레이션을 구성했다. 이 때 SRS-78에서의 Source to detector distance (SDD) 설정은 750 mm 이고, 실제 촬영 시에는 1000 mm 이므로 스펙트럼 값에 거리 역자승법칙을 적용 또한 SRS-78의 기준 mAs 값은 1 mAs 이고 실제 촬영 시 10 mAs 이므로 선량이 10배 증가한 것으로 가정하여 전체 광자 개수에 10을 곱한 값을 적용했다.

시뮬레이션 상의 선원은 점선원이고 실제 DR 장비의 선원은 1 mm의 지름을 갖는 선원이므로, 각 선원에서 디텍터까지의 비율을 고려하여 소초점으로부터 디텍터까지의 거리를 1,000 mm로 미리 설정한 뒤 비례법칙을 통해 정확한 선원으로부터 디텍터까지의 거리를 설정하였다. 또한, DR 장비의 디텍터와 시뮬레이션 상의 디텍터는 크기와 두께가 다르기 때문에 시뮬레이션 상에서 팬텀으로부터의 거리를 설정할 때 실제 DR 장비의 디텍터 두께를 고려하여 결정하였다.

4. 실제 DR 영상 촬영

SDD 1,000 mm, 관전압 70 kVp, 관전류 200 mA, 10 mAs의 촬영 조건으로 PMMA phantom을 디텍터

에 최대한 밀착시켜 촬영하였다. 이 때 Al 필터의 두께에 따른 영상 화질의 변화를 관찰하기 위해 필터의 두께를 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0 mm로 교체시키며 각 두께별 1회 촬영하였다.

5. 통계분석

측정된 데이터 통계분석은 R(R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria, ver 3.5.1)을 이용하여 백분율과 스피어만 상관분석을 진행하고, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

III. RESULTS

Fig. 5는 부가필터 변화에 따른 실제 실험 팬텀 영상과 GATE 시뮬레이션을 이용하여 획득한 팬텀 영상이다. Figs. 6과 7은 획득한 영상으로 분석한 시뮬레이션과 실제실험 각각의 CNR 결과이다. 결과적으로 시뮬레이션에서는 부가필터를 사용하지 않았을 경우, 그리고 실제실험에서는 부가필터를 0.5 mm를 사용하였을 경우 가장 높은 CNR 값을 나타내었다. 또한, 전반적으로 부가필터 두께가 증가할수록 CNR은 감소하는 경향을 나타내었다.

IV. DISCUSSION

본 연구에서 CNR 결과는 Al 필터의 두께가 증가함에 따라 감소하는 추세를 보인다는 것이 시뮬레이션 영상과 실제 DR 영상을 통해 나타났다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 다음과 같다. CNR 값을 구하는 방법은 위의 식 (1)을 따르는데 식에서 알 수 있듯이 CNR 값은 영상의 표준편차 값에 반비례하고 대조도, 즉 영상의 신호차이에 비례한다. 그런데 영상의 표준편차와 신호 값의 차이를 분석해보면 두 값 모두 대체로 감소하는 추세를 보이는 것은 비슷하다. 그러나 표준 편차 값이 감소하는 폭에 비해 SA와 SB의 차이인 신호 값의 차이가 더 큰 폭으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과가 나오는 이유는 선원에서 나오는 X-선이 필터를 투과하면서 저에너지 단이 필터에 의해 감약되었으며, 이론에서 밝힌 바와 같이 선속경화현상이 나타나게 되어 X-선의 평균 에너지가 커지고 X-선의 투과력이 상대적으로 커지기 때문에 대조도

가 감소했다는 것을 알 수 있다.^[8]

특히나, CNR 결과를 정량적으로 분석해본 결과 시뮬레이션에서는 필터를 사용하지 않았을 경우 0.5 mm의 Al 필터를 사용하였을 때 보다 1.03배 높은 값을 보여주었다. 또한, 필터를 사용하였을 경우에 10 mm보다 0.5 mm의 경우 2.35배 향상됨을 확인할 수 있었다. 실제실험에서는 CNR 결과가 0.5 mm의 Al 필터를 사용하였을 때 필터를 사용하지 않은 경우에 비하여 1.22배 향상됨을 확인할 수 있었고, 10 mm에 비해서는 0.5 mm에서 2.59배 향상됨을 증명하였다. GATE 시뮬레이션 결과 부가필터가 없을 때 기준으로 부가필터 두께가 증가함에 따라 CNR값은 2.89, 7.1, 56.33, 57.65, 58.74% 감소하였다. 실제 실험 결과 CNR값은 부가필터 두께 0.5mm에서 21.83%가 증가하였지만, 이후 39.45, 44.69, 48.16, 52.91%로 감소하였다.

또한, GATE 시뮬레이션과 실제 실험 CNR 결과 값에 대한 스피어만 상관관계는 $p = 0.017$ 로 부가필터 두께에 따라 CNR값이 감소하는 상관관계가 있었으며, 상관계수는 0.94로 강한 양의 상관관계를 나타냈다.

DR 장비를 이용한 CNR 값의 결과를 Fig. 6 을 통해 추이를 확인해보면 전체적으로는 감소하는 추이를 보였지만 0.5 mm의 필터를 사용했을 때는 CNR 값이 조금 증가하는 것을 볼 수 있었다.

그 원인의 첫 번째는 실제로 우리가 필터의 두께가 두꺼워짐에 따라 무조건 CNR 값이 감소할 것이라고 예측했던 결과와는 다르게 0.5 mm Al 필터에서는 CNR 값이 증가하는 특수한 경우가 발생했을 수 있다는 것이다.

또 다른 원인으로서는 우리가 실험을 한 번밖에 진행하지 않았기 때문에 통계학적인 원인으로 발생한 오차라고 생각하였다.

이러한 오차를 없애기 위해서는 총 다섯 번 정도의 추가적인 실험을 통해 나온 결과 값의 평균을 내는 방향으로 진행하면 이와 같은 오차를 줄이거나 시정할 수 있을 것이라고 사료된다.

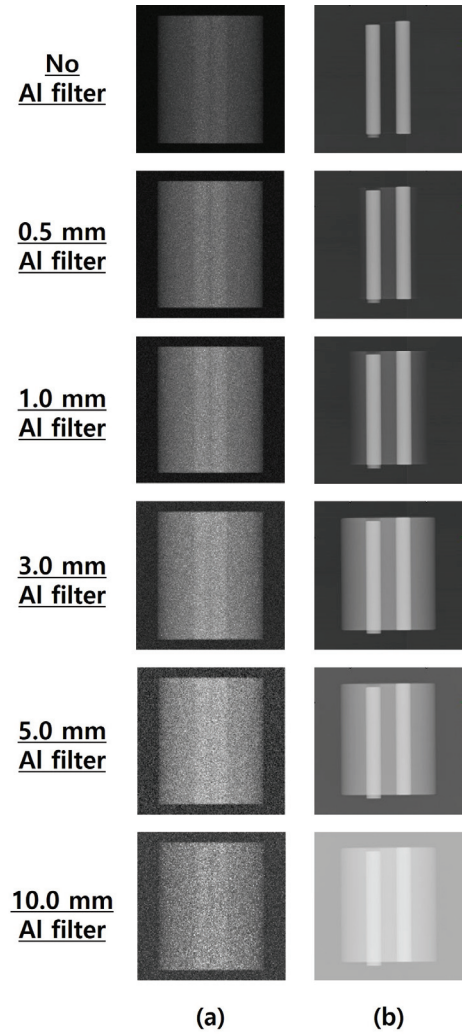


Fig. 5. Acquired phantom images with respect to added filter thickness in (a) simulation and (b) real experimental conditions.

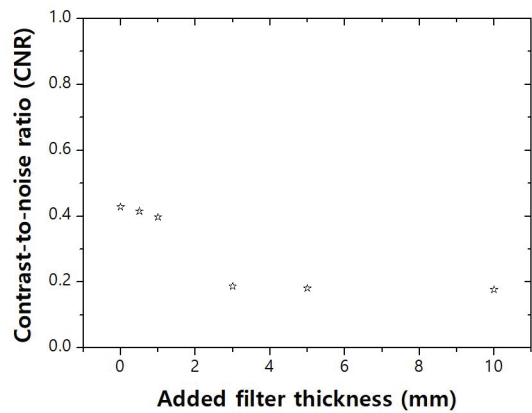


Fig. 6. Result for CNR with respect to added filter thickness using GATE simulation.

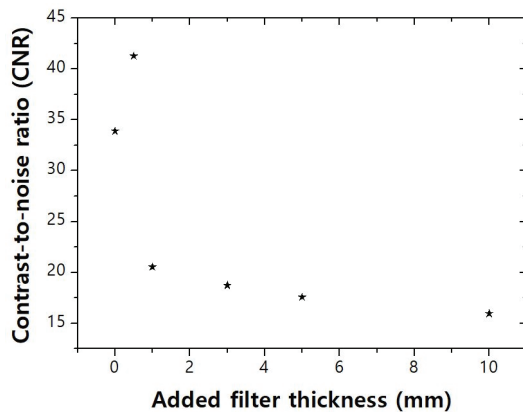


Fig. 7. Result for CNR with respect to added filter thickness in real experiment.

V. CONCLUSION

결론적으로 이번 연구를 통해 알 수 있던 것으로는 부가필터를 사용하는 방법으로 영상의 질을 높일 수 있는지에 대해 촬영 실험과 시뮬레이션을 통해 확인해 보았고, 부가필터의 유무와 두께의 차이에 따른 시뮬레이션과 실제 촬영 영상의 CNR 값들의 변화추이를 비교했다. 또한 실험 결과를 분석하면서 시뮬레이션과 실제 촬영 영상에서 모두 AI 필터의 두께가 증가할수록 CNR 값은 감소한다는 것을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF- 2016R1D1A1B03930357). Also, Minju Oh and Joo-Wan Hong contributed equally to this work.

Reference

- [1] M. Sekimoto, Y. Katoh, "Derivation of total filtration thickness for diagnostic X-ray source assembly," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 61, No. 16, pp. 6011-6024, 2016.
- [2] P. C. Shrimpton, D. G. Jones, B. F. Wall, "The influence of tube filtration and potential on patient dose during X-ray examinations," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 33, No. 10, pp. 1205-1212, 1988.

- [3] O. Daniel, G. Ogbange, S. A. Jonah, "X-rays and Scattering from Filters Used in Diagnostic Radiology," *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, No. 7, pp. 1-11, 2013.
- [4] W. J. Yu, S. H. Kang, Y. G. Lee, Y. Lee, "Study on Analysis of Noise Characteristics and Improvement Effectiveness using combination of two filters with Various Exposure Parameters based on Digital X-ray Imaging System," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 55, No. 1, pp. 127-131, 2018.
- [5] C. H. Baek, D. H. Kim, Y. G. Lee, Y. Lee, "Validation Study for Image Performance of I-131 Using GATE Simulation Program," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 55, No. 5, pp. 133-137, 2017.
- [6] S. Jan, D. Benoit, E. Becheva, T. Carlier, F. Cassol, P. Descourt, T. Frisson, L. Grevillot, L. Guiques, L. Maigne, C. Morel, Y. Perrot, N. Rehfeld, D. Sarrut, D. R. Schaart, S. Stute, U. Pietrzyk, D. Visvikis, N. Zahra, I. Buvat, "GATE V6: a major enhancement of the GATE simulation platform enabling modelling of CT and radiotherapy," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 56, No. 4, pp. 881-901, 2011.
- [7] S. Stute, T. Carlier, K. Cristina, C. Noblet, A. Martineau, B. Hutton, L. Barnden, I. Buvat, "Monte Carlo simulations of clinical PET and SPECT scans: impact of the input data on the simulated images," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 56, No. 19, pp. 6441-6457, 2011.
- [8] A. Goncalves, J. M. D. A. Rollo, M. Goncalves, F. H. Neto, F. N. Boscolo, "Effects of aluminum-copper alloy filtration on photon spectra, air kerma rate and image contrast," *Brazilian Dental Journal*, Vol. 15, No. 3, pp. 214-219, 2004.

GATE 시뮬레이션을 사용한 알루미늄 부가필터 두께에 따른 Digital Radiography의 영상 화질 비교 평가

오민주,¹ 홍주완,² 이영진^{1,*}

¹가천대학교 방사선학과

²을지대학교 방사선학과

요 약

X-선 영상에서 필터를 통한 여과의 역할은 영상 형성에 유용한 광자를 이용해 환자의 피폭량을 낮추고 동시에 영상의 대조도를 높이는 것이다. 영상을 형성하는 데 있어서 저에너지 X-선은 환자 조직의 최초 몇 cm 부위에서 흡수되고 고에너지 부분만을 통과하여 형성되므로, 방사선 여과는 여과물질을 삽입하여 저에너지 X-선을 여과물질로 하여금 흡수시켜 환자의 피폭량을 낮추고 영상의 질을 높인다. 본 연구의 목적은 시뮬레이션을 통해 이상적인 환경에서 부가 필터가 방사선 영상 촬영 시 영상의 화질에 미치는 영향을 확인하고, 실제 방사선 영상을 촬영할 경우와 비교하는 것이다. 이를 위해 시뮬레이션 프로그램인 Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE)를 이용해 Polymethylmethacrylate (PMMA) Phantom의 실제 크기, 모양과 재질을 모사하고 부가 필터의 사용유무 및 필터의 두께에 따른 촬영 조건을 설정하여 시뮬레이션 결과 영상을 얻어냈다. 또한, Digital Radiography (DR)장비로 실제 PMMA Phantom을 필터가 없는 경우와 필터가 있을 때 그 두께를 변화시키며 촬영했다. 시뮬레이션의 결과 영상과 실제 실험을 통해 얻은 영상을 각각 Image J 프로그램을 이용해 Contrast-to-noise ratio (CNR) 평가를 실행한 뒤, 시뮬레이션 결과 영상과 최종적으로 도출된 두 영상의 변화 추이를 비교 측정했다. 실험 결과 DR장비와 시뮬레이션 영상 모두 CNR이 감소하는 추세를 보였으며, 이는 결국 영상에서의 대조도 감소로 인해 나타난 결과였다. 이론적으로 관전압 (kVp)이 증가하면 대조도가 감소하고, 이를 통해보았을 때 필터는 저에너지부의 X-선을 흡수하면서 전체적인 선량을 감소시키지만, X-선의 평균에너지를 증가시키는 역할을 한다는 것을 알아볼 수 있었다.

중심단어: 부가필터, GATE 시뮬레이션, PMMA 팬텀, X-선 에너지 스펙트럼, Digital radiography

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	오민주	가천대학교 방사선학과	학생
(공동저자)	홍주완	을지대학교 방사선학과	교수
(교신저자)	이영진	가천대학교 방사선학과	교수