

<원저>

변조전달함수 방법에서 엣지 장치 설정에 대한 각도 최적화 평가

민정환¹⁾·정회원²⁾¹⁾신구대학교 방사선과·²⁾백석문화대학교 방사선과

Evaluation of Angle Optimization on Edge Test Device Setting in Modulation Transfer Function

Jung-Whan Min¹⁾·Hoi-Woun Jeong²⁾¹⁾Department of Radiological technology, Shingu University²⁾Department of Radiological Science, Baekseok Culture University

Abstract This study was purpose to evaluation of Modulation Transfer Function in Measurements by using the International electrotechnical commission standard(IEC 62220-1) which were edge device each angle by using edge method. In this study was Aero(Konica, Japan) image receptor which is a indirect Flat panel detector(FPD) was used. The size of matrix 1994 × 2430 (14"× 17"inch) which performed 12 bit processing and pixel pitch is 175 μm. The results of shown as MTF measurements at IEC standard. The amount of data seemed reasonable and at an MTF value of 0.1 the spatial frequencies were 2.56 cycles/mm at an angle of 2.4°. MTF value of 0.5 the spatial frequencies were 1.32 cycles/mm at an angle of 2.4°. This study were to evaluate MTF by setting each angle 2.0°~2.8° degrees the most effective optimal edge angle and to suggest the quantitative methods of measuring by using IEC.

Key Words: Modulation transfer function, International electrotechnical commission standard, Edge method, Edge angle, Spatial frequency

중심 단어: 해상력특성, 국제전자기술위원회, 엣지방법, 엣지각도, 공간주파수

I. 서 론

디지털 의료환경은 의료영상을 평가하는데 많은영향을 주고 있으며, 의료영상장치의 변화에 따라서 장비별로의 평가가 이루어져야 하는 임상현장의 현실을 반영하듯이 발전에 발전을 거듭해 왔다[1,2]. 의료장비의 발전에 따라서 현재 의료영상의 평가 방법에 대해서 저자들은 서로의 새로운 제안과 자세한 방법을 고민해 오며, 발전시켜 온 것도 사실이다[3]. 일반적이면서도 기준이 되는 국제전자기술위원회(International electro-technical commission standard IEC; 62220-1)규격에 맞는 해상력특성(Modulation transfer function; MTF)은 여러 가지 방법론 및 장비별로의 특성에

의해서 정량적으로 평가되고 있다[4-6].

영상의학과 의료용 디지털의 발전과 함께 영상 평가의 발전으로 좀 더 자세하게, 그리고 누구나 알기 쉽게 이용할 수 있는 방법을 모색하게 되었다. Fujita 등은 엣지 방법을 이용해서 누구나 편리하게 해상력특성을 평가할 수 있다고 하였으며, 특히나 각도별로 2°~3° 사이에 엣지를 놓고 측정하여 평가하는 방법을 제안하였다[7]. Samei 등은 엣지 방법을 이용하여, Overall presample MTF를 측정할 수 있다고 제안하였다[8]. 그리고 Greer 등은 엣지 방법을 이용해서 알고리즘에 대한 내용을 적용할 수 있다고 하였다[9]. 더해서 현재 영상학과 영역내의 임상에서 많은 실험을 하고 있으며, 이들 중 Kim 등은 오랜 시간 동안의 Linear

This study was supported by from the Shingu University Industry-Academic Cooperation Foundation Grant 2020.

Corresponding author: Jung-Whan Min, Dept. of Radiological Technology, The Shingu University, 377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, 13174, Republic of Korea / Tel: +82-31-740-1361 / E-mail: pmpmpm@daum.net

Received 30 December 2019; Revised 11 February 2020; Accepted 26 February 2020

Copyright ©2020 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

accelerator(Linac), Computed Tomography(CT), Computed Radiography(CR)장비나 Mammography장비 등의 해상력 평가를 엷지 방법을 이용하는 것이 좋다고 하였다 [5,6,10,11]. 그리고, Min 등은 엷지 방법에 대해서 각도별로 후지타 방법과 비교하여 해상력에 대한 엷지 각도에 대한 중요성을 이야기하고 있었다[3]. 위 논문들의 내용을 종합해 보면 엷지 방법에 대한 자세한 평가가 이루어져야 한다는 결론을 얻게 되었으며, 간선헌장함수(Edge spread function; ESF)에서의 기울기와 인접차분에 대한 평가, 그리고 선확산함수(Line spread function; LSF)에 대한 좀더 자세하게 각도별로 알아볼 필요가 있다고 생각하였다.

이에 본 저자들은 간접평판형검출기(Indirect flat panel detector; FPD)시스템 장비의 영상 품질 내용을 비교[12-16] 분석하여 국제전자기술위원회에서 제시한 IEC 62220-1의 평가 방법을 이용하여 장비별로의 검사가 이루어질 수 있도록 하는 것이 본 실험을 실시한 목적이며, 영상의학과 내에서의 의료영상들을 국제전자기술위원회 기준을 통한 MTF 측정에 대한 엷지 방법을 이용해서 엷지 테스트 장치 설정에 대한 각도 최적화에 대해서 제시하고자 한다 [3,4,7,17].

II. 대상 및 방법

1. 실험도구

본 실험 연구에 사용된 영상 발생 장치는 (AccuRay-650, DK Medical System, Korea)를 사용했으며, 영상 수용체 (Image receptor, IR)는 의료영상장치 Indirect FPD인 (Aero, Konica, Japan)을 사용하였으며, 가로 × 세로 14 × 17 inch이며, Matrix는 1,994 × 2,430이다. 12 bit로 수행하며, Pixel pitch는 175 μm이다.

국제전자기술위원회 62220-1기준을 적용하였으며, 초점으로부터 FPD 표면까지 거리는 150 cm 이상이며, 부가필터를 적용하였다. 그리고 HVL이 측정되는 IEC 기준이 되도록 하였다. 영상분석을 위해서 의료방사선 영상 Raw file을 이용한 ImageJ (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA)프로그램을 사용하였고, MATLAB R2019a (MathWorks, USA)프로그램을 사용하였다.

2. 실험배치 및 영상 분석 방법

국제전자기술위원회 기준으로 기하학적인 위치를 선정하여 150 cm 이격해서 엷지의 촬영 영상을 얻을 수 있었으며,

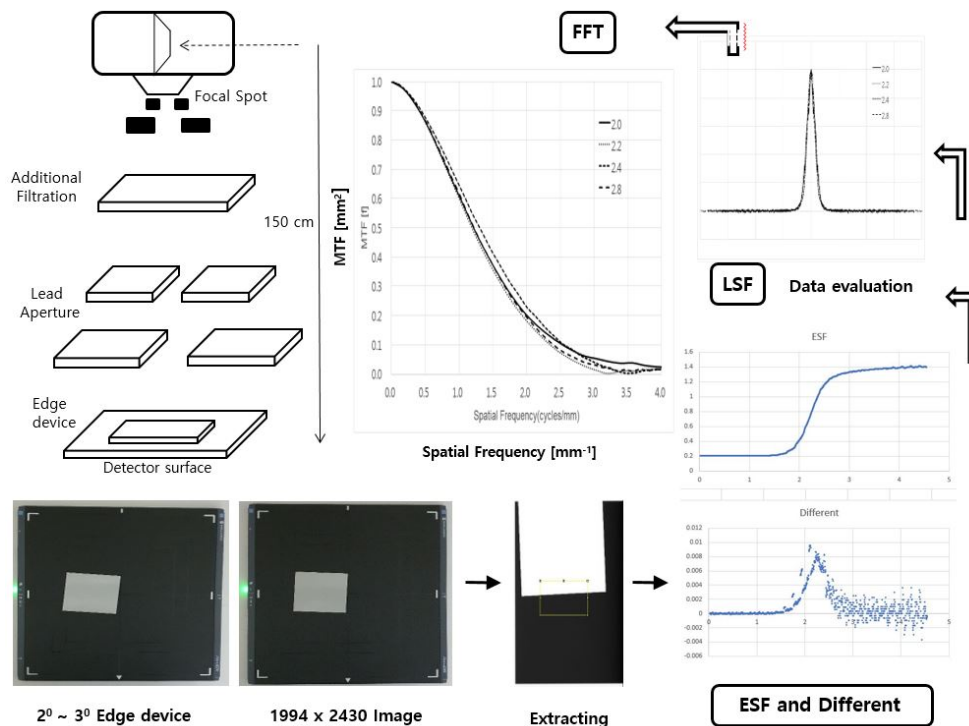


Fig. 1. Signal would be obtained the edge image and Modulation transfer function (MTF) flow-chart of the overall procedures. The MTF was computed by performing a fast Fourier transform (FFT) of the Line spread function (LSF) and normalizing.

엷지 영상에 대한 데이터를 Image J를 통해서 확인하였다 [Fig. 1]. $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 보다 작은 1.0° , 1.2° , 1.4° , 1.6° 각도와 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 내에 있는 2.0° , 2.2° , 2.4° , 2.8° 각도 그리고 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 보다 높은 3.0° , 3.6° , 3.8° , 4.0° 각도들의 엷지 영상 데이터를 바탕으로 간선헌함수(Edge spread function; ESF)를 확인하고 인접차분(Different)에 대해서도 정량평가를 하였다. 그리고 선확산함수(Line spread function; LSF)를 확인 후에 Fourier transform(FT)해서 해상력특성을 확인하였다.

III. 결 과

1. Edge 각도에 따르는 ESF와 인접차분

A는 IEC규격에 촬영된 엷지 영상의 각도가 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 보다 작은 1.0° , 1.2° , 1.4° , 1.6° 각도들 중 1.2° 의 엷지 영상을 얻고 데이터를 산출하였으며, ESF의 모양이 일정하지 않으며, 완만한 경사도를 보이고 있으며, 인접차분(Different)의 데이터양이 상대적으로 많아 보이며, 다른 각도의 ESF 및 인접차분 스펙트럼을 비교하였다[Fig. 2].

B는 IEC규격에 촬영된 엷지 영상의 각도가 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 내에 있는 2.0° , 2.2° , 2.4° , 2.8° 각도들 중 2.4° 의 엷지 영상을

얻고 데이터를 산출하였으며, ESF의 모양이 일정하며, 급한 경사도를 보이고 있으며, 인접차분의 데이터양이 상대적으로 적절해 보이며, 다른 각도의 ESF 및 인접차분 스펙트럼을 비교하였다[Fig. 2].

C는 IEC규격에 촬영된 엷지 영상의 각도가 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 보다 높은 3.0° , 3.6° , 3.8° , 4.0° 각도들 중 3.6° 의 엷지 영상을 얻고 데이터를 산출하였으며, ESF의 모양이 일정하지만, 급한 경사도를 보여주고 있으며, 데이터의 ESF의 꼬리 부분이 모양이 일정하지 않음을 볼 수 있다. 인접차분의 데이터양이 상대적으로 데이터가 부족해 보이며, 다른 각도의 ESF 및 인접차분 스펙트럼을 비교하였다[Fig. 2].

2. Edge 각도에 따르는 LSF

A는 IEC규격에 촬영된 엷지 영상의 각도가 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 보다 작은 1.0° , 1.2° , 1.4° , 1.6° 각도 LSF의 영상을 얻고 데이터를 산출하였으며, 각도가 작으면, 작을수록 LSF들이 넓게 퍼짐을 볼 수 있으며, 중앙으로부터의 표준편차값이 커지고 있음을 볼 수 있다[Fig. 3].

B는 IEC규격에 촬영된 엷지 영상의 각도가 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 내에 있는 2.0° , 2.2° , 2.4° , 2.8° 각도 LSF의 영상을 얻고 데이터를 산출하였으며, 각도가 후지타방법에 의한 LSF들이 좁게 퍼짐을 볼 수 있으며, 모양이 일정하다[7]. 중앙으로부터의

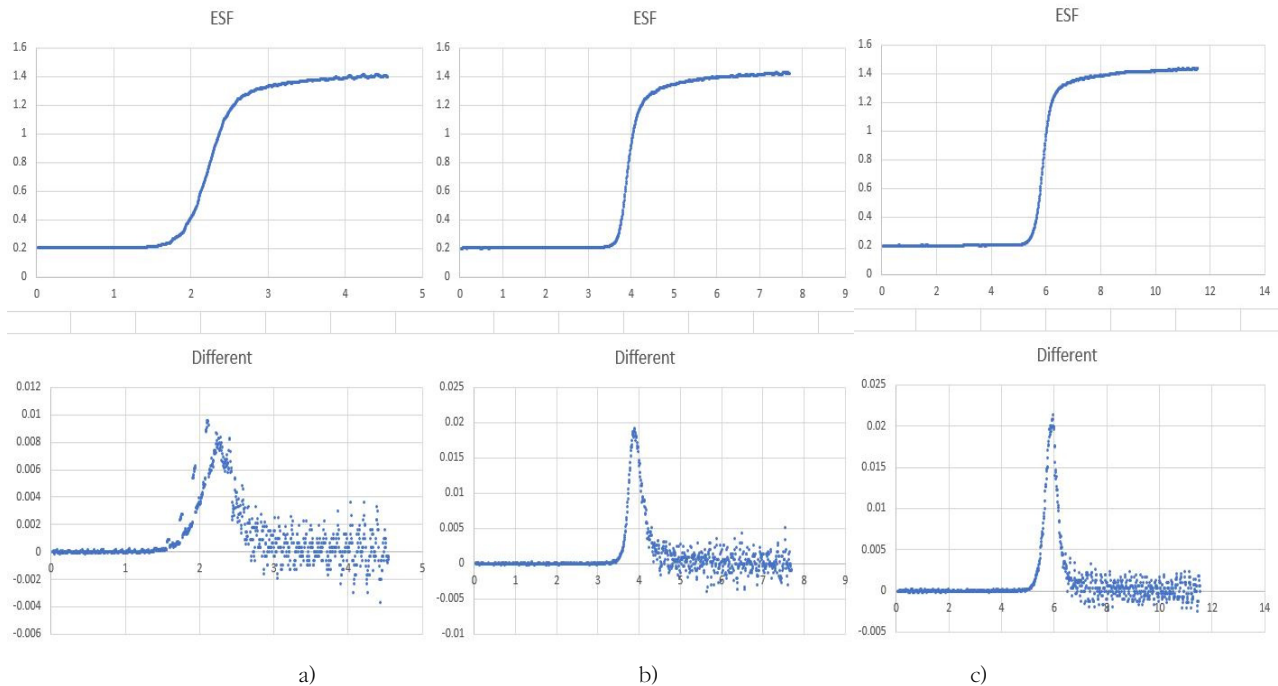


Fig. 2. a) 1.2° degressed ESF spectrum and different spectrum of the IDR by using IEC method
 b) 2.4° degressed ESF spectrum and different spectrum of the IDR by using IEC method
 c) 3.6° degressed ESF spectrum and different spectrum of the IDR by using IEC method

표준편차값이 가장 작으면서도 각도별 LSF 모양이 각도별로 일정함을 볼 수 있다[Fig. 3].

C는 IEC규격에 촬영된 엷지 영상의 각도가 2°~3° 이상이며, 3.0°, 3.6°, 3.8°, 4.0° 각도 LSF의 영상을 얻고 데이터를 산출하였으며, 각도가 후지타방법보다 커지면 커질수록 LSF들이 모양이 일정하면서도 좁게 퍼짐을 볼 수 있다 [7]. 중앙으로부터의 표준편차값이 작으면이면서도 각도별 LSF 모양이 각도별로 불규칙함을 볼 수 있다[Fig. 3].

3. Edge 1.0°, 1.2°, 1.4°, 1.6° 각도에 따르는 MTF

IEC 기준으로 MTF를 측정하였고, MTF 값이 0.1일 때 공간주파수 1.0°에서 1.38 cycles/mm, 1.2°에서 2.09 cycles/mm, 1.4°에서 1.62 cycles/mm, 1.6°에서 2.25 cycles/mm이었다. MTF 값이 0.5일 때 공간주파수 1.0°에서 0.73 cycles/mm,

1.2°에서 0.86 cycles/mm, 1.4°에서 0.77 cycles/mm, 1.6°에서 1.11 cycles/mm이었다[Fig. 4].

4. Edge 2.0°, 2.2°, 2.4°, 2.8° 각도에 따르는 MTF

IEC 기준으로 MTF를 측정하였고, MTF 값이 0.1일 때 공간주파수 2.0°에서 2.55 cycles/mm, 2.2°에서 2.33 cycles/mm, 2.4°에서 2.56 cycles/mm, 2.8°에서 2.36 cycles/mm이었다. MTF 값이 0.5일 때 공간주파수 2.0°에서 1.24 cycles/mm, 2.2°에서 1.20 cycles/mm, 2.4°에서 1.32 cycles/mm, 2.8°에서 1.24 cycles/mm이었다[Fig. 5].

5. Edge 3.0°, 3.6°, 3.8°, 4.0° 각도에 따르는 MTF

IEC 기준으로 MTF를 측정하였고, MTF 값이 0.1일 때 공간

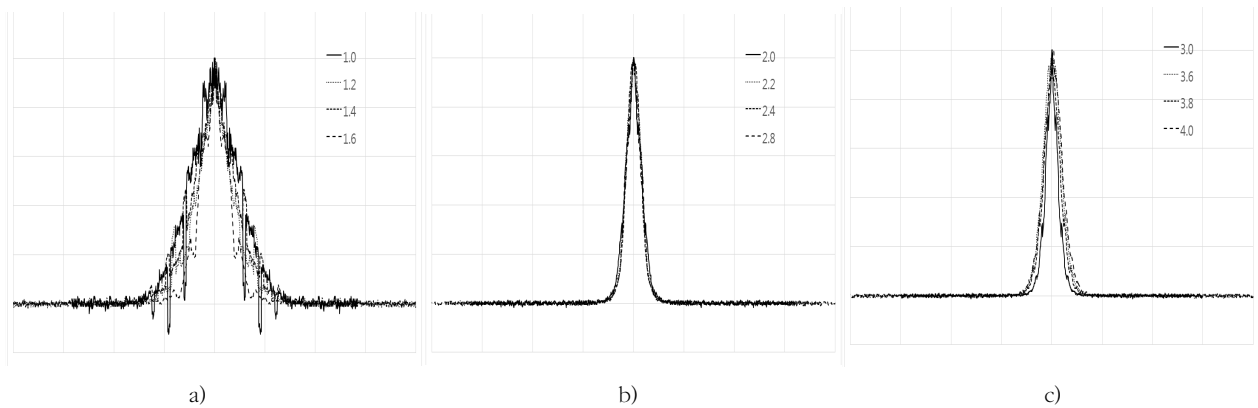


Fig. 3. a) 1.0°, 1.2°, 1.4°, 1.6° degreed LSF spectrum of the IDR by using IEC method
 b) 2.0°, 2.2°, 2.4°, 2.8° degreed LSF spectrum of the IDR by using IEC method
 c) 3.0°, 3.6°, 3.8°, 4.0° degreed LSF spectrum of the IDR by using IEC method

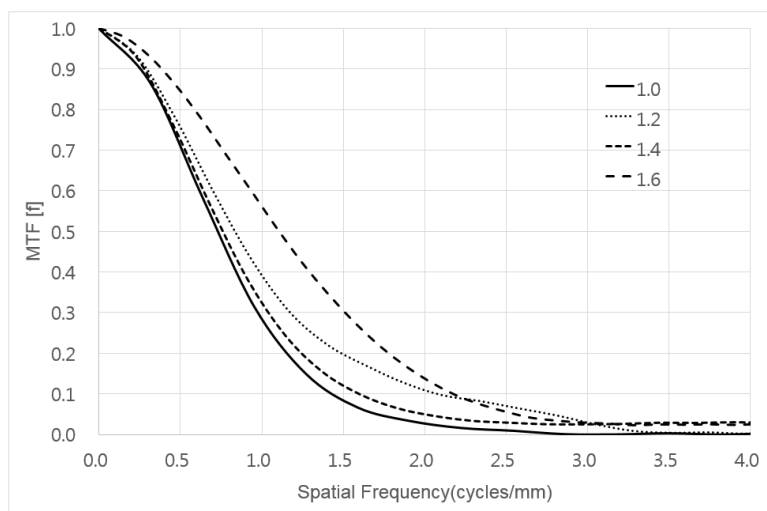


Fig. 4. 1.0°, 1.2°, 1.4°, 1.6° degreed Measured MTFs for the IDR by using IEC method

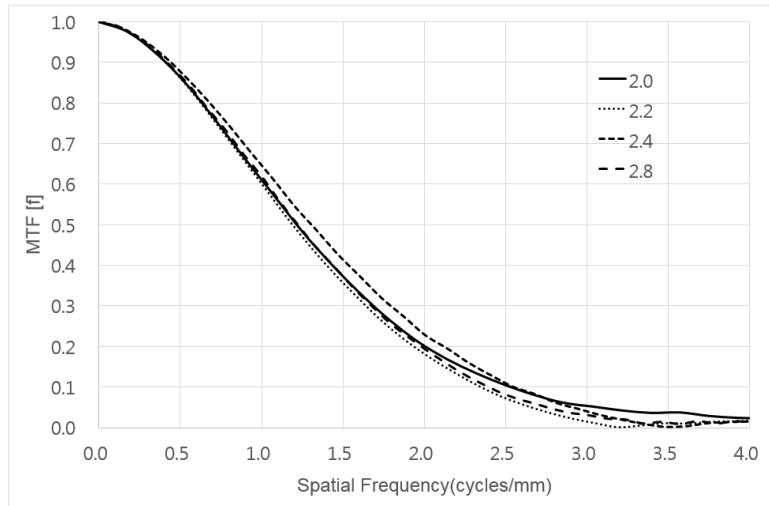


Fig. 5. 2.0°, 2.2°, 2.4°, 2.8° degreed Measured MTFs for the IDR by using IEC method

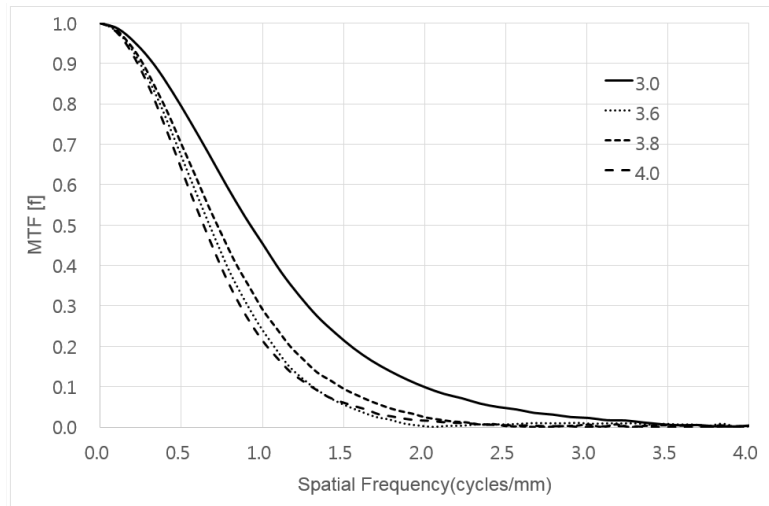


Fig. 6. 3.0°, 3.6°, 3.8°, 4.0° degreed Measured MTFs for the IDR by using IEC method

주파수 3.0°에서 2.00 cycles/mm, 3.6°에서 1.30 cycles/mm, 3.8°에서 1.49 cycles/mm, 4.0°에서 1.31 cycles/mm이었다. MTF 값이 0.5일 때 공간주파수 3.0°에서 0.92 cycles/mm, 3.6°에서 0.70 cycles/mm, 3.8°에서 0.73 cycles/mm, 4.0°에서 0.67 cycles/mm이었다[Fig. 6].

IV. 고 찰

디지털 의료환경의 변화는 디지털 의료영상 평가라는 중요한 과제를 만들어 가며, 의료영상장치별 평가에 양식을 만들어 가고 있는 현실이다. 이에 본 연구에서는 Min 등의 연구에 대해서 좀 더 자세하면서도 독자들에게 한발 다가설 수 있는 디테일을 추구하였다[3]. 또한 각도의 다양성을 확

보하였으며, LSF에 대한 내용을 더해서 ESF에 대한 디테일과 인접차분에 대한 설명도 추가 부연하였다[3]. 따라서 ESF에 따르는 인접차분 및 LSF들에 대한 설명들이 차별성을 가지고 있다고 할 수 있다. 이는 FT하기 전에 하는 과정으로서 꼭 필요성을 확보해야 한다는 결과를 얻었다. 그리고 각도의 다양성에 따라서 ESF의 기울기가 급함과 완만한 정도에 따라서 평가할 수 있다는 것을 확인하였으며, 인접차분에 따르는 LSF의 생성 과정속에서 잡음의 형태로 나타나며 표준편차에 대한 Error값을 반영하고 있음을 확인하였다. 여기에서 주목할만한 대목은 저주파 및 고주파수 영역에서의 각도별 차이점은 각도에 따라서 틀러질 수 있다는 것이다. 결과값들을 정리해 보면, 엷지 각도 1.8° 및 3.0° 값은 경계값으로 보이고 있다. 엷지 각도 1.8° 이하는 데이터 수는 충분하지만 픽셀 값의 오차가 ESF에 영향을 주고 그로

인하여 LSF에 나쁜 영향을 주게 된다. 그리고 엣지 각도 3.0° 이상에서는 데이터 수가 부족하며, 픽셀값에 영향을 주지 않으므로 ESF에 영향을 거의 주지 못하므로 LSF에는 적절하게 좋은 모양으로 보여진다. 이들 값은 MTF 결과로 도출이 되며, 각도별 차이점이 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있다.

MTF의 특징은, 2°가 안 되는 각도에서 주로 나타나는 현상에는 완만하면서도 넓게 퍼지는 형상을 볼 수 있으며, 3°가 넘어가는 각도에서도 마찬가지로 현상이 두드러진다. 그리고 2°~3°를 유지하는 MTF에서는 모양이 잘 나타나며, 2.0°~2.8° 부분에서 가장 이상적인 그래프로 표현이 되며, 차별화가 될 수 있음을 확인하였다. 더해서 가장 뚜렷하면서도 MTF의 측정에 있어서 2.4°의 데이터가 가장 이상적임을 확인하였다. 따라서 후지타 등이 주장한 엣지의 각도가 2°~3° 사이의 각도를 유지하는 것이 가장 일반화되어야 한다고 생각을 한다[7]. 그러므로 Min 등의 주장한 논문과 마찬가지로 2.0°~3.0° 각도별로 확인해서 정량적 평가를 하는 것이 일반화되었다고 할 수 있다[3,7]. 그리고 본 논문은 Samei 연구에서의 픽셀 샘플링에 관해서 픽셀 크기의 차이는 있으며, 가장 큰 제한점으로 둘 수가 있다[3,8]. 또한 Min 등의 주장한 결과값에 대해서는 분명한 차별성이 있는 실험임을 알 수 있다[3,8].

결론적으로 샘플링을 잘해야 한다는 것은 후지타 방법에 의해서 적정의 데이터를 샘플링 해야 한다는 결론에 도달했으며, 국제전자기술위원회의 기준 및 일반적인 각도를 유지해서 정량적인 평가를 해야 한다는 것이다[7]. 그러므로 본 논문에서의 결론은 엣지 각도를 설정할 때 본 논문의 내용을 참고해서 실험한다면 좀 더 자세한 각도에 의해서 실험해야 한다는 결론을 내렸으며, 이에 따라 2.0°~2.8°의 엣지 각도가 유효할 것으로 사료 된다.

V. 결 론

MTF 측정 시 국제전자기술위원회의 기준을 적용하였으며, 엣지 각도의 기준이 2.0°~2.8°를 유지해서 정량적인 평가하는 방법이 가장 효율적이며, 장비마다 각각의 정량적 평가를 위해서는 최적의 엣지 각도라고 할 수 있다는 것을 제시하였다는 점에서 학술적 의의를 둘 수 있다.

REFERENCES

[1] Jeong HW, Min JW, Kim JM, et al. Performance

characteristic of a CsI(Tl) flat panel detector radiography system. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2012;35(2):109-17.

[2] Jeong HW, Min JW, Kim JM, et al. Investigation of physical imaging properties in various digital radiography system. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2017;40(3):363-70.

[3] Min JW, Jeong HW. Comparison of modulation transfer function in measurements by using edge device angle in indirect digital radiography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2019; 42(4):259-63.

[4] IEC (International Electrotechnical Commission) 62220-1. Medical electrical equipment Characteristics of digital X-ray imaging devices Part 1: determination of the detective quantum efficiency. Geneva; 2003.

[5] Kim KW, Jeong HW, Min JW, et al. Evaluation of the modulation transfer function for computed tomography by using American association physics medicine phantom. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2016;39(2):193-8.

[6] Min JW, Jeong HW, Kim KW, et al. Evaluation of image quality for various electronic portal imaging devices in radiation therapy. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2015;38(4):451-61.

[7] Fujita H, Tasai DY, Itoh T, et al. A simple method for determining the modulation transfer function in digital radiography. *IEEE Trans Med Imaging*. 1992;11(1):34-9.

[8] Samei E, Flynn MJ, Reimann DA, et al. A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device. *Medical Physics*. 1998;25:102.

[9] Greer PB, van Doorn T. Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method. *Medical Physics*. 2000;27:2048.

[10] Kim KW, Jeong HW, Min JW, et al. Evaluation of the performance characteristic for mammography by using edge device. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2016;39(3):415-20.

[11] Kim KW, Jeong HW, Min JW, et al. Measurement of image quality according to the time of computed

- radiography system, Journal of Radiological Science and Technology, 2015;38(4):365-74.
- [12] Granfors PR, Aufrichtig R, Performance of a 41×41 cm² amorphous silicon flat panel X-ray detector for radiographic imaging applications, Med Phys, 2000;27(6):1324-33.
- [13] Antonuk LE, Boudry J, Huang W, et al, Demonstration of megavoltage and diagnostic X-ray imaging with hydrogenated amorphous silicon arrays, Med Phys, 1992;19(6):1455-66.
- [14] Finc C, Hallscheidt PJ, Noeldge G, Clinical comparative study with a large-area amorphous silicon flat-panel detector: image quality and visibility of anatomic structures on chest radiography, Am J Roentgenol, 2001;178(2):481-6.
- [15] Bacher K, Smeets P, Bonnarens K, et al, Dose reduction in patients undergoing chest imaging: digital amorphous silicon flat-panel detector radiography versus conventional film screen radiography and phosphor-based computed radiography, Am J Roentgenol, 2003;181(4):923-9.
- [16] Min JW, Jeong HW, Kim KW, et al, Comparison of noise power spectrum in measurements by using international electro-technical commission standard devices in indirect digital radiography, Journal of Radiological Science and Technology, 2018;41(5):457-62.
- [17] Min JW, Jeong HW, Han JH, et al, Study on the physical imaging characteristics by using magnetic resonance imaging 1.5T, Journal of Radiological Science and Technology, 2019;42(5):329-34.

구분	성명	소속	직위
제1저자	민정환	신구대학교	부교수
공동저자	정희원	백석문화대학교	조교수
교신저자	민정환	신구대학교	부교수