

&lt;원저&gt;

## 차트 각도를 이용한 해상력 특성 평가

민정환<sup>1)</sup>·정회원<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>신구대학교 방사선학과 · <sup>2)</sup>백석문화대학교 방사선학과

### Evaluation of Resolution Characteristics by Using Chart Device Angle

Jung-Whan Min<sup>1)</sup>·Hoi-Woun Jeong<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Radiological technology, Shingu University

<sup>2)</sup>Department of Radiological Science, Baekseok Culture University

**Abstract** This study aim was quantitative assessment of MTFs of spectrum of the square wave chart images and Coltman chart images for 0°, 1.7°, 2.2°, 2.9°, 4.1° by using chart method. In general device was AccuRay-650 (DK Medical System, Korea) used, indirect flat panel detector(FPD) Aero (Konica, Japan) used and MATLAB R2019a (MathWorks, USA) used. The result of comparison for each angle of MTF the edge image was highest quantitatively value for MTF finding of showed the best value of 0.1 based on the frequency of 3.5 mm<sup>-1</sup>, value of 0.1 based on the square wave was frequency of 3.0 mm<sup>-1</sup> and value of 0.1 based on the Coltman transform was frequency of 2.4 mm<sup>-1</sup>. In this study it was significant that the methodology of the international Electro-technical Commission was applied mutandis by using the Fujita method within 2~3°.

**Key Words:** Chart device angle, Modulation transfer function, Quality assurance, International electro-technical commission standard, Fujita method

**중심 단어:** 차트 각도, 변조전달함수, 품질보증, 국제전자기술위원회, 후지타 방법

## 1. 서론

병원 의료 환경에서 영상의학과는 의료장비를 관리하는데 있어서 영상 품질관리(Quality assurance; QA)를 매우 중요하게 생각하는 것이 일반적이다[1-3]. 최근에는 디지털화의 변화가 매우 급변하기 때문에 영상의학과 장비에서도 그 중요성이 대두되고 있으며, 일반적으로 품질관리를 하기 위해서 장비의 품질관리 주기 일정을 유지하며, 매우 반복적인 품질관리 평가가 우선되어야 한다. 해상력 특성은 영상 품질관리하는데 가장 중요한 항목이며, 이에 대한 정량적인 평가방법에는 변조전달함수(Modulation transfer function; MTF)가 있는데, 주기적인 평가를 위해서 가장 많이 사용되고 있다[4-7].

변조전달함수 측정에는 주로 슬릿법, 엷지법 등 다양한 방법을 이용하여 측정하고 있다. 슬릿법은 보간법에 의해서 측정값이 왜곡될 수 있는 단점이 있지만, 영상의학과 내에서나, 방사선 치료에서 높은 에너지를 사용해서 슬릿카메라를 이용하여 후지타 방법의 측정을 많이 사용하고 있다[8,9]. 그리고 엷지법은 Edge spread function(ESF)의 slop 기울기에 의해서 측정값이 왜곡될 수 있는 단점이 있기도 하다[10,11]. 하지만 엷지법은 일반적으로 간단하게 사용하는 방법으로 가장 많이 사용하고 있는 정량적 평가방법이기도 하다[4-7]. 또한, 차트(Chart)를 이용한 방법에 있어서도 많이 사용하고 있는 방법이기도 하지만, 필름(film)과 증감지(screen) 시스템(F/S system)에 주로 사용하여 왔으며, 디지털 환경의 변화에 따라서 간접방식의 디지털

This study was supported by from the Shingu University Industry-Academic Cooperation Foundation Grant 2021.

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 15 June 2021; Revised 21 June 2021; Accepted 2 August 2021

Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

장비에 주로 사용해 측정되어 왔던 것은 사실이다[12,13]. 따라서, 디지털 측정의 기본이 되는 방법이기도 하다. 그래서 측정에 있어서 간단하면서도 차트의 각도에 따라서 측정되는 방법을 생각해 볼 필요가 있다. 차트를 이용해서 각도에 따라서 측정한다면 후지타가 고안한 후지타 방법 즉 2~3°보다 각도의 차이가 있는 경우에 따라서 측정값의 차이가 있을 수 있다[14-16]. 따라서, 가장 이상적인 각도에서의 차트의 정량적 평가방법을 확인 할 필요가 있다고 사료된다. 그러므로 디지털 환경에서의 정량적 측정을 위해서 차트를 이용한 각도별 해상력 특성을 확인하고 최적화된 각도에 따라서 측정값이 차이점을 확인할 수 있었으며, 기존의 옛지를 이용한 다양한 각도의 최적화 방법에서의 결과값과 비교하여 확인할 수 있었다. 측정의 완성도를 높이기 위해서 국제전자기술위원회(International electro-technical commission standard IEC; 62220-1)규격에 맞는 해상력 특성을 측정하기 위해서 차트를 이용한 다양한 각도에서의 해상력 특성 평가를 제시하고자 한다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구 대상

연구에 사용한 엑스선 발생 장치는 AccuRay-650(DK Medical System, Korea)을 사용하였고, 영상 수용체는 Aero (Konica, Japan)를 사용하였다. 국제전자기술위원회에서 권고하고 있는 초점으로부터의 거리 150 cm 이상의 거리에서 촬영하였으며, 거리에 따르는 후방산란에 대해서도 고체 팬텀을 이용하여 최소화하였다. 그리고 차트를 이용하여 영상을 각도별로 얻기 위해서 일정 각도를 유지하면서 촬영하였다. 또한, 재현성 및 직선성 확인을 위하여 디지털 특성곡선에 대한 평가도 확인하였다[Fig. 1].

### 2. 연구 영상 분석 방법

연구에 촬영된 차트 영상은 Raw파일로 저장되어 있으며, MATLAB R2019a (MathWorks, USA)프로그램을 사용해서 영상을 확인하였다. 확인된 영상들은 영상분석을 하기 위해

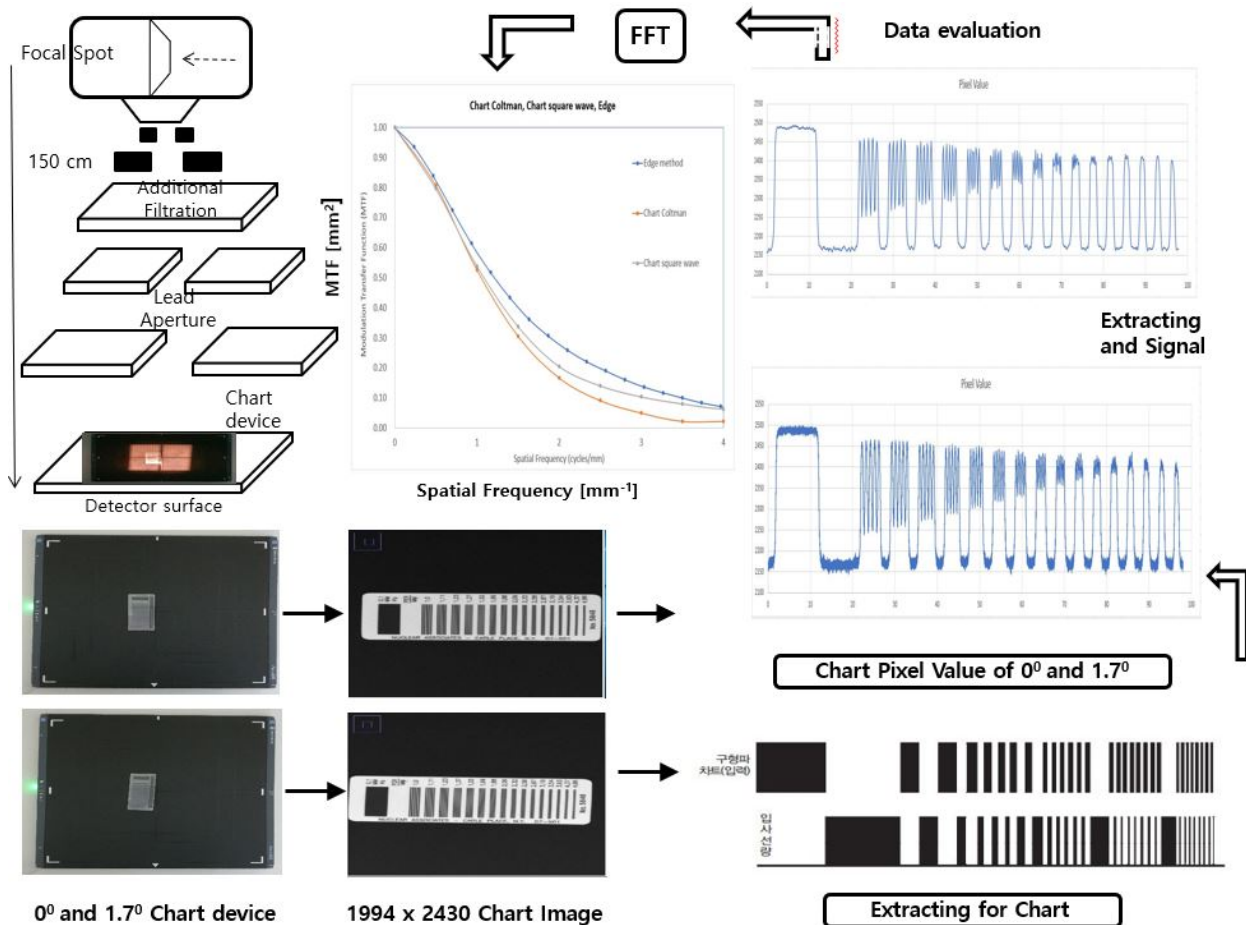


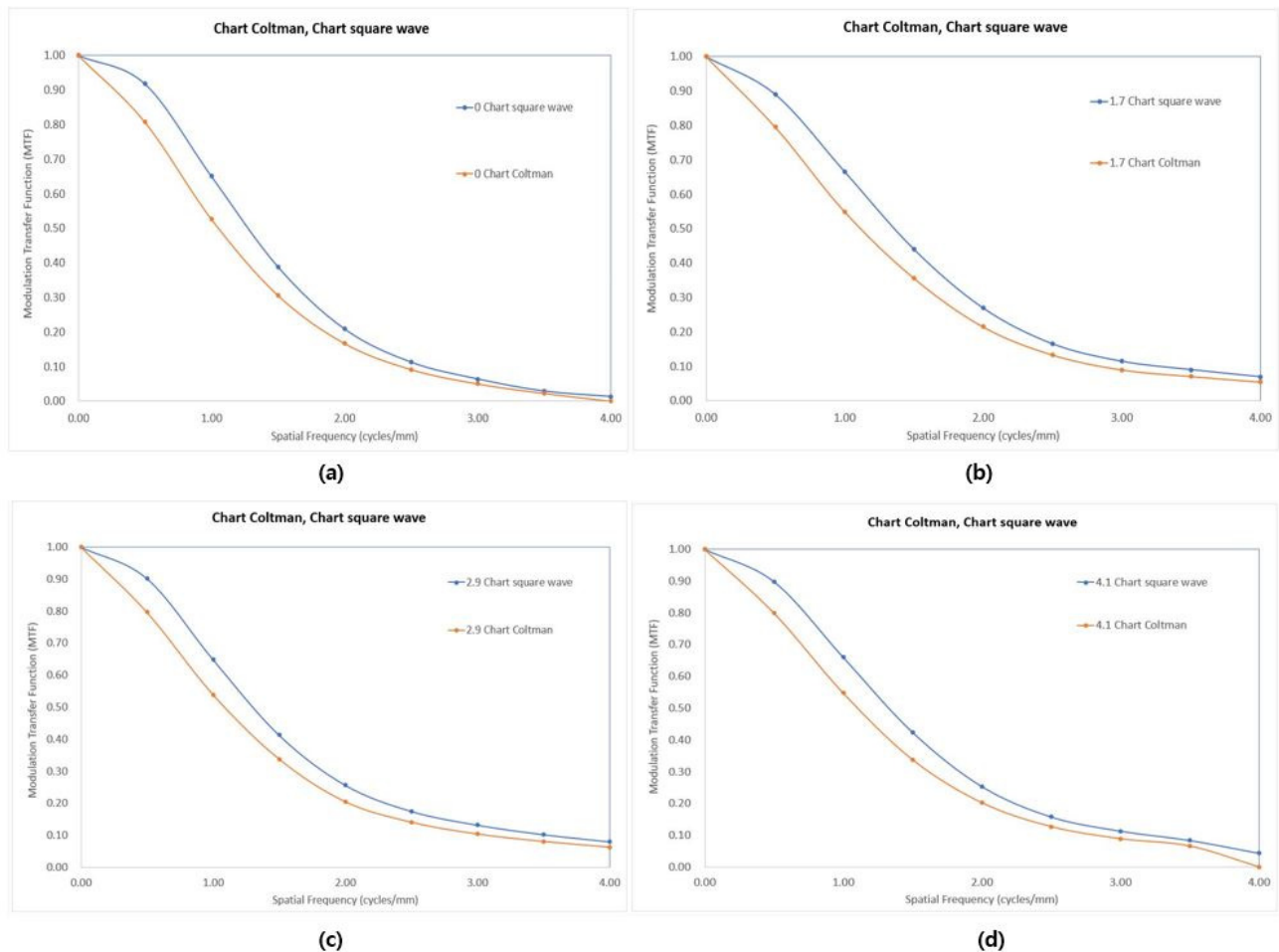
Fig. 1, The Chart image and raw image for MTFs flowchart of the overall procedures.

서 ImageJ(Wayne Rasband National Institutes of Health, USA)프로그램을 이용해서 각도별로 정량적 평가를 위해서 준비하였다. Image J에서 각도별 영상을 가지고 신호 분석을 하였으며, 신호가 분석된 영상들을 각각 주파수대별로 데이터 평가를 하였다[Fig. 1]. 이때 구형파(Square wave) 차트로 부터 입사선량에 대한 평가를 하고, 구형파 MTF를 평가하였다[Fig. 1]. 그리고 정현파 즉 콜트만 변환법을 사용해서 측정된 MTF는 구형파와 비교하였다. 각도별로 비교된 MTF영상은 구형파와 정현파로 비교 측정하였다. 마지막으로 이때 최적화된 각도는 2.9° 구형파와 정현파이며, Edge 방법으로 측정된 데이터를 이용하여 비교 평가하였다.

### III. 결과

#### 1. 구형파와 콜트만 변환의 각도별 비교

MTF 비교 결과값은 차트의 각도 0°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.8 mm<sup>-1</sup>이며, 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.5 mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 2(a)]. 차트의 각도 1.7°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.25 mm<sup>-1</sup>이며, 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.75 mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 2(b)]. 차트의 각도 2.9°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.65 mm<sup>-1</sup>이며, 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.2 mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 2(c)]. 차트의 각도 4.1°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.5 mm<sup>-1</sup>이며, 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.0



**Fig. 2.** a) Assessment of MTFs spectrum of the square wave chart images and Coltman chart images for 0° by using chart method, b) Assessment of MTFs spectrum of the square wave chart images and Coltman chart images for 1.7° by using chart method, c) Assessment of MTFs spectrum of the square wave chart images and Coltman chart images for 2.9° by using chart method, d) Assessment of MTFs spectrum of the square wave chart images and Coltman chart images for 4.1° by using chart method

mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 2(d)].

### 2. 콜트만 변환의 각도별 비교

MTF 콜트만 변환의 각도별 비교 결과값은 차트의 각도 0°에서 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.5 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 1.7°에서 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.75 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 2.2°에서 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.0 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 2.9°에서 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.2 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 4.1°에서 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.0 mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 3].

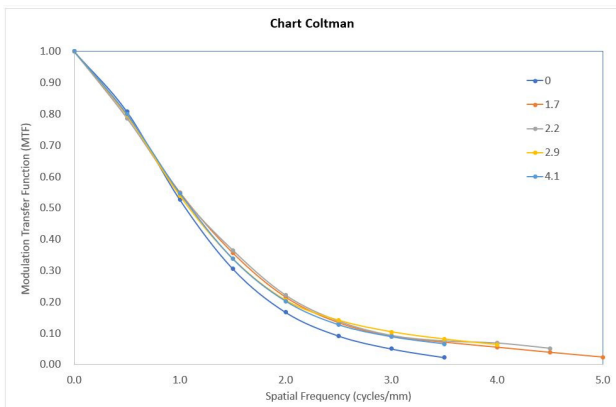


Fig. 3. Assessment of MTFs spectrum of the Coltman chart images for 0°, 1.7°, 2.2°, 2.9°, 4.1° by using chart method

### 3. 구형파의 각도별 비교

MTF 구형파의 각도별 비교 결과값은 차트의 각도 0°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.8 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 1.7°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.25 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 2.2°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.5 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 2.9°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.65 mm<sup>-1</sup>이며, 차트의 각도 4.1°에서 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.5 mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 4].

### 4. 콜트만 변환 및 구형파 그리고 옛지법 비교

MTF 구형파의 각도별 비교 결과값은 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.4 mm<sup>-1</sup>이며, 구형파의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.0 mm<sup>-1</sup>이며, 옛지에서의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.5 mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 5].

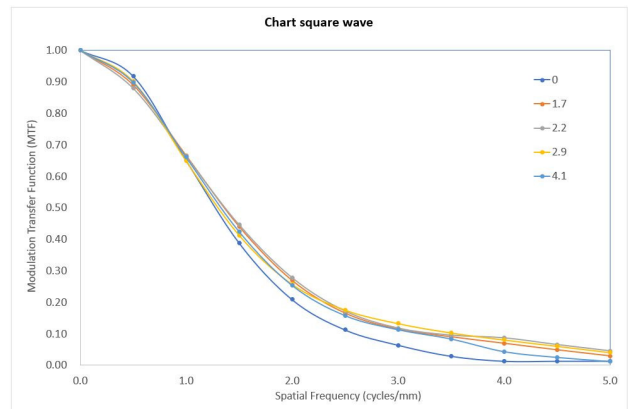


Fig. 4. Assessment of MTFs spectrum of the square wave chart images for 0°, 1.7°, 2.2°, 2.9°, 4.1° by using chart method

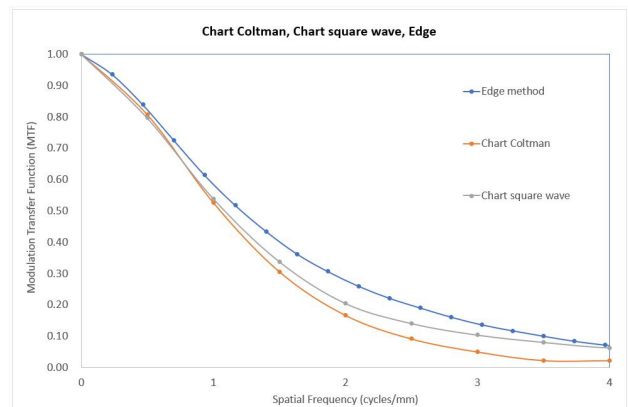


Fig. 5. Assessment of MTFs spectrum for the by using Coltman and square wave, chart method

## IV. 고찰

국제전자기술위원회(International electro-technical commission standard IEC: 62220-1)에서 권고하고 있는 정량적 평가방법의 대표적인 활용은 변조전달함수 (Modulation transfer function; MTF)기법을 이용한 디지털 의료장비의 재현성 및 직선성을 바탕으로 디지털 특성곡선의 작도가 필요하다. 이때 가장 중요한 점은 거리에 대해서 IEC 기준을 준용하여야 하며, 산란에 관한 내용이 엄격히 준용하게 되어있다[17]. 따라서, [Fig. 1]에서 보듯이 기하학적인 위치 및 기준을 정확하게 준용할 필요가 있다. 또한, 본 연구에서는 MTF에 대한 각도별 해상력 특성을 측정하기 위해서 차트를 이용한 다양한 각도에서의 특성 평가를 시행하였다. 그리고 옛지 방법과 비교하여 최종적인 결론에 도달하게 되었다.

결과적으로 차트의 각도 2.9°에서 구형과의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.65 mm<sup>-1</sup>이로서, 해상력이 가장 좋았으며, 콜트만 변환에서도 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과 값으로 볼 때 후지타 방법 즉 2~3° 내에서의 해상특성이 가장 좋다고 할 수 있다[15, Fig. 4]. Fujita 그리고 Min 등이 주장한 엷지 방법에서의 결과와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다[10,11,15]. 여기에서 차트법에서도 엷지와 같은 방법 이기는 하지만, 2~3° 내에서 가장 좋은 데이터를 얻을 수 있다는 결론을 얻었다[15].

또 다른 결과값에서는 MTF 구형과의 각도별 비교 결과값은 콜트만 변환의 0.1에서의 해상력은 주파수 2.4 mm<sup>-1</sup>이며, 구형과의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.0 mm<sup>-1</sup>이며, 엷지에서의 0.1에서의 해상력은 주파수 3.5 mm<sup>-1</sup>이다[Fig. 5]. 결과적으로 엷지를 이용한 방법이 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과값으로 볼 때 차트 방법의 최적화 되어진 각도에서의 결과 값은 엷지에서 얻은 값보다는 낮은 해상력 특성을 나타내고 있다. 따라서 각도별로 비교해서 정확하게 어떤 방법이 좋다고는 이야기할 수 없지만, 정량적으로 엷지 방법이 차트 방법보다는 우수하다는 것을 확인할 수 있었다[12,13]. 그 이유로는 콜트만 변환보다는 구형과 차트방법이 우수하다는 것은 일반적인 결과이다. 이때 구형과 차트법을 이용할 시 고주파 부분의 해상력에서는 왜곡되는 현상 및 정확하게 측정이 되지 않는 점이 단점으로 보여주기 때문이다[12,13]. 그러므로 어떤 방법이 좋다고는 할 수 없으며, 기하학적인 위치 및 재현성을 가지고 측정하는데 중요성을 인식하고, 영상의학과 의료장비의 해상력 특성을 주기적으로 관찰할 필요가 있다고 사료된다[10,11]. 또한, 잡음 전력스펙트럼에 관련해서도 해상력과 어떤 다른 관계가 있는지를 알아볼 필요가 있을 것으로 생각이 된다[18].

그러므로 영상의학과 내의 의료영상 디지털 장치의 객관적인 정량적 평가를 주기적으로 하기 위해서는 Fujita방법을 이용하여 국제전자기술위원회의 방법론을 준용하여야 할 것이라고 사료된다[15,17].

## V. 결론

기존의 해상력 연구에서 차트법을 이용해서 정량적인 평가를 하였다면, 좀 더 세분화되어진 각도별로 구형과 차트의 영상을 얻어 정량적인 평가를 할 수 있다는 가능성을 보여주었으며, 특히 영상의학과 내의 의료장비에 대한 정량적 평가에 대한 주기적인 평가방법이 일반화되어야 한다고 생각을

한다. 따라서, 본 연구에서는 2~3°내의 Fujita 방법을 이용하여 국제전자기술위원회의 방법론을 준용하였으며, 정량적 평가의 여러 방법을 이용하였다는데 의의가 있다.

## REFERENCES

- [1] Min JW, Jeong HW, Kim KW, et al. Study on the resolution characteristics by using magnetic resonance imaging 3.0T. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2020;43(4):251-57.
- [2] 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.
- [3] Miyati T, Fujita H, Kasuga T, et al. Measurements of MTF and SNR(f) using a subtraction method in MRI. *Physics in Medicine and Biology*. 2002;47:2961-72.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Sawant A, Antonuk LE, El-Mohri Y. Slit design for efficient and accurate MTF measurement at megavoltage X-ray energies. *Medical Physics*. 2007;34:1535-45.
- [9] Kim JM, Jeong HW, Min JW, et al. Correction method of slit modulation transfer function on digital medical imaging system. *Journal of Radiological Science*

- and Technology. 2006;29(3):133-9.
- [10] 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.
- [11] Min JW, Jeong HW. Evaluation of angle optimization on edge test device setting in modulation transfer function. Journal of Radiological Science and Technology. 2020;43(1):15-21.
- [12] Ichikawa K, et al. New method of measuring pre-sampling MTF by fourier transform of square wave chart image. Japanese Journal of Radiological Technology. 2002;58(9):1261-7.
- [13] Kunitomo H. Modulation transfer function-pre-sampled MTF measurements by fourier analysis using square wave chart. Japanese Journal of Radiological Technology. 2009;65(11):1561-7.
- [14] Greer PB, van Doorn T. Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method. Medical Physics. 2000;27:2048.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] IEC (International Electro-technical Commission) 62220-1. Medical electrical equipment Characteristics of digital X-ray imaging devices Part 1: Determination of the detective quantum efficiency. Geneva; 2003.
- [18] Min JW, Jeong HW, Kim SC. Evaluation of noise power spectrum characteristics by using magnetic resonance imaging 3.0T. Journal of Radiological Science and Technology. 2021;44(1):279-88.

구분	성명	소속	직위
교신저자	민정환	신구대학교	부교수
공동저자	정회원	백석문화대학교	부교수