

비공학도를 위한 X-ray 영상촬영 시스템 해상력 평가 방법

- An Evaluation Method of X-ray Imaging System Resolution for Non-Engineers -

건양대학교 방사선학과

우정은·이용금·배석환·김용권

— 국문초록 —

Digital Radiography(DR) 시스템은 임상현장에서 아날로그 시스템을 대체하고 널리 이용되고 있다. DR을 이용하여 얻어진 X선 영상의 해상력을 결정짓는 요소에는 이용되는 검출기의 고유 해상력, 피사체의 대조도 및 특성, X선 선질, X선원의 산란, DR 검출기의 성능, X선 변환효율 및 초점의 크기, 피사체의 움직임 등이 있다. DR 검출기를 구성하는 요소에는 X선 포획 요소, 커플링 요소, 정보수집 요소가 있는데 이들은 시스템의 성능에 영향을 미치며, 그 성능은 해상력으로 평가된다. 의료영상 시스템의 해상력은 촬영대상물의 조직 간의 해부학적 영상을 구분하는 능력을 나타낸다. 해상력 평가를 위해 Modulation Transfer Function(MTF)이 보편적으로 이용되고, MTF는 입력 공간주파수 성분에 대한 출력 공간주파수 성분의 비를 나타내는데, 수학적으로 MTF는 Point Spread Fuction(PSF) 입력에 대한 시스템의 주파수 응답이며 Edge Phantom을 이용한 결과 영상에서 추출된 Line Spread Function(LSF)을 Fourier Transform하면 얻을 수 있다. 일반적으로 임상현장에서 의료영상시스템의 이용 및 관리의 책임은 방사선사가 맡고 있지만, MTF를 측정하기 위해서는 공학적, 수학적 기초 및 C, Fortran, Matlab등의 프로그램 작성 능력이 필요하기 때문에 비 공학도는 정확한 측정이 불가능하다. 의료영상 시스템의 성능 관리 및 최상의 상태를 유지하기 위해 시스템의 성능평가가 이뤄져야 하는데, 이를 위해 본 연구에서는 비공학도가 해상력 성능평가를 할 수 있도록 ImageJ 및 Excel을 이용하여 해상력 평가를 할 수 있도록 방법을 제시하고, 제안된 방법을 이용해 계산된 결과와 프로그래밍을 이용해 계산된 결과의 비교를 통해 본 논문에서 제시하는 방법의 유용성을 확인하였다.

중심 단어: 변조전달함수, 디지털 라디오그래피, 공간분해능, ImageJ, Excel

I. 서 론

DR(Digital Radiography)시스템은 임상현장에서 아날로그 시스템을 대체하고 널리 이용되고 있다. DR을 이용하여 얻어진 X선 영상의 해상력을 결정짓는 요소에는 이용되는 검출기의 고유 해상력, 피사체의 대조도 및 특성,

X선 선질, X선원의 산란, DR 검출기의 성능, X선 변환효율 및 초점의 크기, 피사체의 움직임 등이 있다. DR 검출기를 구성하는 요소에는 X선 포획 요소, 커플링 요소, 정보수집 요소가 있는데 이들은 시스템의 성능에 영향을 미치며, 그 성능은 해상력으로 평가된다¹⁾. DR 시스템은 구성 요소에 따라 성능이 달라지는데 시스템 성능 및 특성을 평가하는 것은 시스템 설계 및 최적화, 성능비교, 설계, 정도 관리 등의 목적으로 이용된다. Mammography 시스템의 경우 X선 타겟 재질 및 부가필터의 조합에 따라 성능이 달라지기도 한다²⁾. DR 시스템의 성능은 여러 인자들(선예도, 잡음, SNR : Signal-to-Noise Ratio)로 표현되는데 그 중 선예도와 잡음이 영상의 질을 결정

* 접수일(2012년 9월 28일), 1차 심사일(2012년 11월 13일), 확정일(2012년 12월 6일)

교신저자 : 김용권, 대전광역시 서구 원앙마을 1길 28
 건양대학교 방사선학과
 Tel : 042-600-6459, CP : 010-2440-1936
 E-mail : ygkim@konyang.ac.kr

짓는 대표적인 인자이다^{3,4)}. 의료영상 시스템의 해상력은 촬영대상물의 조직 간의 해부학적 영상을 구분하는 능력을 나타낸다. 해상력 평가를 위해 Modulation Transfer Function(MTF)이 보편적으로 이용되고, MTF는 입력 공간주파수 성분에 대한 출력 공간주파수 성분의 비를 나타내는데, 수학적으로 MTF는 Point Spread Function 입력에 대한 시스템의 주파수 응답이며 결과 영상을 Fourier Transform하면 얻을 수 있다⁵⁾. 시스템의 해상력은 영상을 획득한 후 MTF를 이용하여 평가하게 된다. 이 때, Focal Spot에 의한 번짐을 최소화하기 위해 Test Object와 검출기를 밀착하고, X선원과 검출기 간의 거리를 최대한으로 하여 영상을 획득하여야 한다. MTF를 이용하여 시스템의 선예도를 평가하기 위해 해상력을 나타낼 수 있는 Bar Pattern, Slit, Edge 팬텀이 이용된다. 이 방법들의 장단점을 살펴보면,

첫째, Bar-Pattern을 이용한 평가 법은 불연속적인 공간해상도를 갖는 Bar-Pattern을 이용하여 영상을 획득하여 해상력을 평가하는 방법으로 상대적으로 빠르고 쉽게 구현할 수 있으며 개념적으로 쉽게 이해되지만 정밀도가 낮다는 단점이 있다⁶⁾.

둘째, Slit을 이용한 평가 법은 2mm 두께의 납판 2개를 약 10 μ m간격으로 배치하여 영상을 획득하여 해상력을 평가하는 방법으로 정밀도가 높아 널리 이용되는 방법이며 Slit을 정렬하여 배치하는데 많은 노력이 필요하므로 영상획득을 위해 많은 시간이 소요되는 단점이 있다⁷⁾.

마지막으로 Edge를 이용한 평가 법은 IEC62220-1에 나타나 있듯이 2mm 두께의 'c' 형태의 납판과 1mm 두께의 직사각형 텅스텐 판을 이용하여 영상을 획득하여 해상력을 평가하는 방법으로 쉽고 빠르게 영상을 획득할 수 있고 저주파 성분에서의 높은 정밀도를 보이나 계산과정에서 미분을 이용해야 하므로 잡음에 민감하고 고주파 성분에 대한 정밀도가 낮다는 단점이 있다^{8,9)}.

위의 세 가지 방법 중 Edge를 이용한 평가방법은 정확도 및 정밀도, 측정방법의 용이성 및 편리함으로 인해 DR 시스템의 해상력 측정을 위한 표준으로 이용되고 있다¹⁰⁾. 과거에는 시스템의 MTF를 구하기 위해 관전압 70 kVp에 0.5 mm의 Cu 필터⁷⁾, 관전압 70-120 kVp에 19 mm Al 필터를 이용한 다양한 X선질을 이용하였으나 최근에는 다양한 시스템의 성능을 비교하기 위해 유사한 선질을 이용하는 게 바람직하다고 판단되어 International Electrotechnical Commission (IEC)에서 규정하는 표준 성능 평가방법이 널리 이용되고 있다¹⁰⁻¹⁴⁾.

프로그래밍을 이용하지 않고 Fourier Transform 공식

과 MTF 산출과정을 이해할 수 있도록 Slit Phantom, Excel, Image J를 이용한 MTF 측정 및 보정 방법이 제시되었다¹⁵⁾. 이번 연구에서는 표준으로 사용하는 평가방법인 Edge를 이용한 평가법과 IEC의 규정 평가방법을 사용하여 프로그래밍 언어를 배우지 않은 비공학 전공 학생들이 MTF를 측정할 수 있도록 Excel과 Image J를 이용하여 간단하게 MTF를 측정하는 방법을 연구하였다.

II. 대상 및 방법

MTF를 측정을 하기 위해 영상을 얻어야 하는데, 영상 획득을 위한 촬영 설정은 fig. 1과 같이 X선관의 초점과 Image Plate(IP) Cassette까지의 거리를 150 cm로 설정하고, IEC62220-1의 RQA5로 정의된 선질의 X선을 사용하기 위해 콜리메이터 하단에 AL판 21 mm를 부착하였다. X선 발생장치는 Listem Progen 650R를 사용하였고 Image Plate(IP) 위에 IEC62220-1에서 정의된 Standard Edge Phantom을 놓고 X선관과 수직이 되게 하여 촬영하였다. 이 때 Image Plate는 Kodak사의 10"×12" size를 이용하였고 CR 현상기는 Kodak사의 DirectView Vita CR을 사용하였다. MTF 측정을 위한 Edge 영상은 관전압 70 kVp, 관전류량 8 mAs로 설정하여 촬영하였다. 영상촬영을 포함하여 MTF 측정까지의 실험과정은 fig. 2의 Flow Chart와 같이 진행되었다.

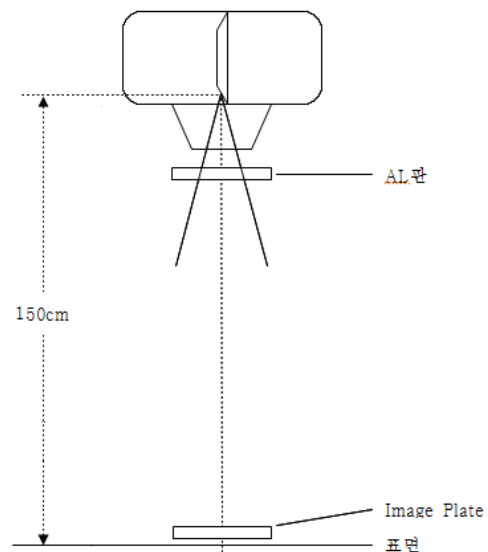


Fig. 1. Geometrical set-up of the X-ray source and the phantom is based on the IEC62220-1.

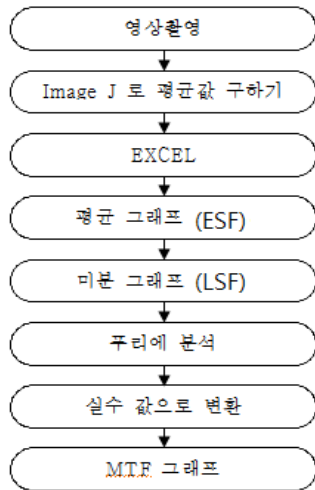


Fig. 2. Flow chart representing the MTF calculation process.



Fig. 3. Imaging set-up for MTF calculation.

1. 영상촬영

fig. 3와 같이 X선원과 검출기까지의 거리를 150cm로 설정한 후 IP위에 Standard Phantom을 놓고 조사야의 중심에 맞춰 영상을 획득한다. 이때 Phantom 및 IP 위치는 Listem Progen 650R의 X선원과 Table 윗면의 거리가 충분치 않기 때문에 실험실 바닥에 위치시켜 150 cm를 확보하였고, IP는 바닥면에서 발생할 수 있는 산란선의 영향을 최소화하기 위해 1mm의 두께의 납판위에 위치시켰다. 조사야의 크기는 바닥면 납판의 크기를 넘지않고 Edge

Phantom을 촬영할수 있도록 fig. 4와같이 맞추고 관전압 70 kVp, 관전류 8 mAs의 촬영조건을 이용하여 촬영하였다. 촬영된 영상은 Kodak사의 DirectView Vita CR를 이용하여 디지털 영상을 획득하였다, 이때 주의할점은, 일반적인 CR Reader의 경우 디지털영상을 획득한후 Edge 강화 영상처리를 한 후 저장하기 때문에 시스템의 성능평가를 위해서는 영상처리 과정을 없애고 원본 영상을 획득할 수 있도록 설정해야 한다.



Fig. 4. Edge phantom placement and irradiation field set-up.

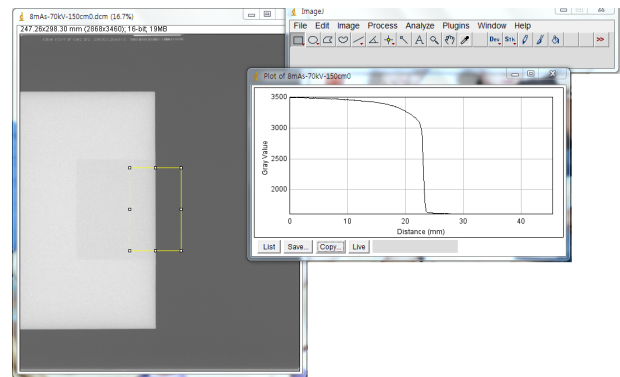


Fig. 5. SNR enhanced ESF.

2. Edge Image 영상처리 및 MTF 계산

획득한 영상을 이용하여 MTF를 구하기 위해서는 fig. 2의 Flow Chart와 같이 영상촬영을 하여 얻은 영상을 Image J를 이용하여 fig. 5와 같이 텅스텐 판을 놓은 부분과 Background 부분을 측정 영역으로 선택하고, 메뉴의 Analyze/Plot profile을 이용하여 측정영역의 ESF의

평균값을 구한 후 저장한다. 이때 저장된 값들이 Edge Spread Function이다. EXCEL을 사용해 저장된 Edge Spread Function(ESF)을 불러온 후 꺾은선 그래프를 만들면 ESF 그래프가 fig. 6와 같이 나타난다. 위 행과 아래 행을 빼 미분을 하면 Line Spread Function(LSF)를 구할수 있다. LSF 값을 이용하여 그래프를 만들면 fig. 7과 같이 LSF 그래프를 얻을 수 있다. LSF값은 데이터분석을 이용하여 푸리에분석 하면 '실수+허수'의 복소수로 표현되는데, MTF는 절대값을 표현해야 하므로 복소수의 절대값을 취하기 위하여 IMABS 함수를 이용하면 복소수의 절대값을 구할수 있다. 이 값을 이용하여 그래프를 만들면 fig. 8과 같은 MTF 그래프가 된다.

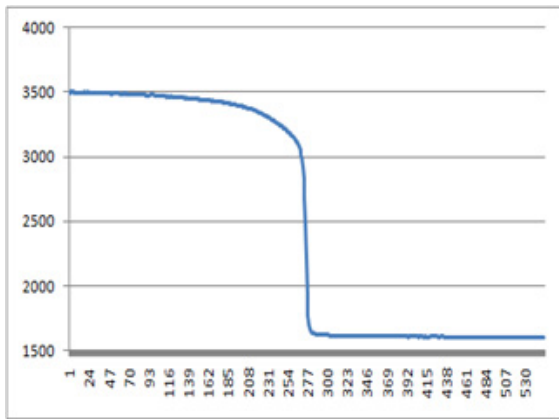


Fig. 6. Plot of the ESF by using Excel.

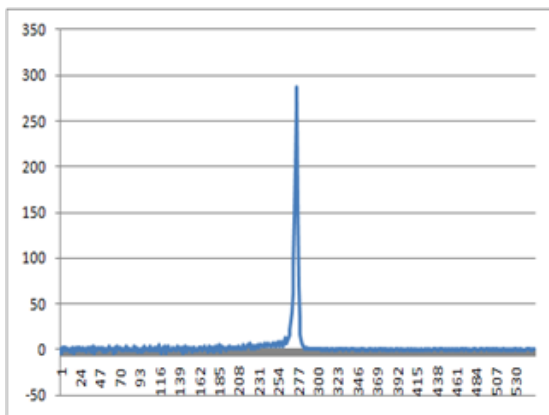


Fig. 7. Plot of LSF by using Excel.

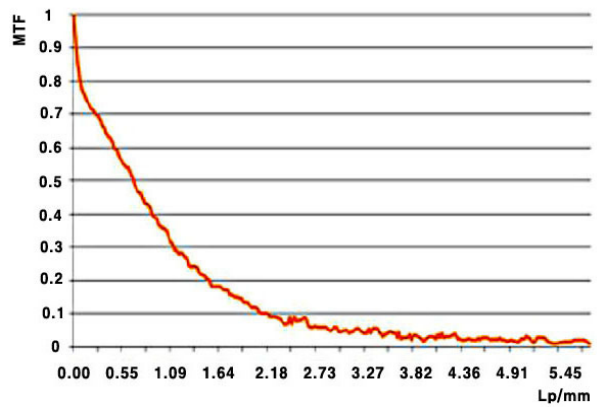


Fig. 8. Calculated MTF by using Excel.

III. 결론 및 고찰

일반적으로 임상현장에서 의료영상시스템의 이용 및 관리의 책임은 방사선사가 맡고 있다. 의료영상 시스템의 성능 관리 및 최상의 상태를 유지하기의해 시스템의 성능 평가가 이뤄져야 하고, 시스템의 성능지표는 신호대 잡음비, 해상력, 기계적인 안정성, 전기적인 안정성, 시스템을 구성하고 있는 요소등 다양한 지표가 있다. 이러한 다양한 성능지표중 비교적 단순하게 측정가능한 지표는 해상력 및 신호대 잡음비이다. 신호대 잡음비의 경우 기준 팬텀을 이용한 단순 측정만으로도 측정이 가능하지만, 해상력 평가의 경우에는 수학적인 배경 및 프로그래밍 능력이 요구되는데 임상중심적인 교육을 바탕으로 임상현장에서 근무하고 있는 대다수 방사선사들에게는 쉽게 접근하기가 어려운 측정이다. 이를 위해 본 연구에서는 쉽게 이용가능한 프로그램을 통해 MTF의 측정 및 해상력을 평가할수 있는 방법을 제시하고자 한다. 시스템의 해상력 평가를 위해 MTF 측정이 요구되는데, IEC 62220-1에서 제시하는 Edge를 이용한 평가법을 사용하여 프로그래밍 언어를 배우지 않은 상태에서 MTF를 측정할 수 있도록 하였다. 영상을 획득한 후 Image J로 영상의 잡음을 감소시킨 평균 ESF Data를 획득하고 EXCEL을 이용하여 미분 및 Fourier 변환한후 MTF 측정을 하였다. 측정된 MTF 값이 0.1인 지점의 공간주파수 값(lp/mm)이 시스템의 해상력으로 정의되는데, 이번 실험에서 사용한 MTF 측정법의 유용성 및 정확성을 확인하기 위해 MatlabR2012A(Mathworks, Natick, Massachusetts, U.S.A.)을 사용하여 MTF를 측정하고 본 연구에서 제안한 방법을 이용한 MTF 측정값을 비교하였다. MATLAB을 이용하여 측정한 값을 이용한 그래프와 본 연구에서 측정한 MTF값을 비교

해 본 결과, fig. 8의 EXCEL을 이용하여 측정된 MTF 그래프를 보면 MTF=0.1 일 때 2.15 lp/mm의 시스템 해상력을 구할수 있었고 fig. 9의 MATLAB을 사용한 MTF 프로그램의 결과 MTF 그래프를 보면 MTF=0.1 일 때 2.135 lp/mm 가 나온 것을 볼 수 있다. Image J 와 EXCEL을 사용한 MTF 측정방법과 MATLAB을 이용한 MTF 측정방법간의 차이는 0.015로서 무시할만한 오차를 보였으며, Image J와 Excel을 이용한 MTF 측정방법의 유효성을 확인하였다. fig. 7과 fig. 8에서 공통적으로 나타나는 현상인 공간주파수 0에서의 MTF 값과 다음 주파수 성분값에서의 불 연속적인 값의 차이는 LSF의 Baseline Correction이 충분치 않음을 보여주고 있는데 이 문제를 해결하기 위해서는 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 본 연구를 통하여 시스템의 성능 평가 및 관리를 위해 기본적으로 요구되는 성능지표 중 해상력을 ImageJ 와 EXCEL을 이용하여 쉽게 평가할 수 있는 방법을 제시하고 유효성을 확인하였다.

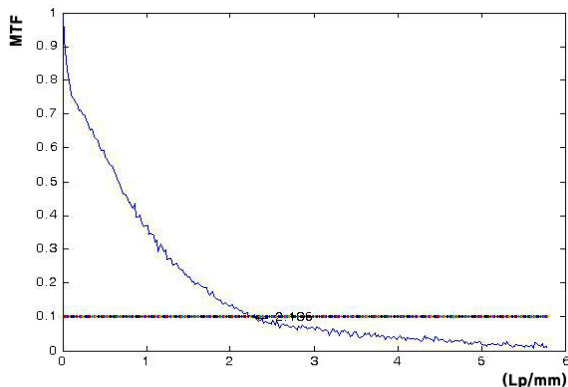


Fig. 9. Calculated MTF by using Matlab.

참고문헌

1. E. Samei: Performance of digital radiographic detectors: Factors affecting sharpness and noise, RSNA Categorical Course in Diagnostic Radiology Physics, 49-61, 2003
2. 양한준 고신관 주미화: 유방촬영용 X선관 target/filter 조합에 따른 MTF영상평가에 관한 고찰, 방사선기술과학회지, 30(2), 113-119, 2007
3. Rossmann K.: Point spread-function, line spread function, and modulation transfer function: tools for the study of imaging systems, Radiology, 93, 257-272, 1969
4. Rossmann K.: Spatial fluctuations of x-ray quanta and the recording of radiographic mottle, Radiology, 90, 863-869, 1963
5. Barrett HH, Swindell W.: Radiological imaging: the theory of image formation, detection, and processing. New York, NY: Academic Press, 1981
6. Borasi G, Nitrosi A, Ferrari P, Tassoni D.: On site evaluation of three flat panel detectors for digital radiography, Med. Phys., 30, 1719-1731, 2003
7. Dobbins JT III, Ergun DL, Rutz L, Hinshaw DA, Blume H, Clark DC.: DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices, Med. Phys., 22, 1581-1593, 1995
8. Samei E, Flynn MJ, Reimann DA.: A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device, Med. Phys., 25, 102-113, 1998
9. Cunningham IA, Reid BK.: Signal and noise in modulation transfer function determinations using the slit, wire, and edge techniques, Med. Phys., 19, 1037-1044, 1992
10. Hoeschen D.: DQE of digital x-ray imaging systems: a challenge for standardization, Proc. SPIE, 4320, 280-286, 2001
11. Samei E.: Image quality in two phosphor-based flat panel digital radiographic detectors, Med. Phys., 30, 1747-1757, 2003
12. Samei E, Flynn MJ.: An experimental comparison of detector performance for computed radiography systems, Med. Phys., 29, 447-459, 2002
13. Samei E.: Image quality in two phosphor-based flat panel digital radiographic detectors, Med. Phys. 30, 1747-1757, 2003
14. International Electrotechnical Commission: Medical electrical equipment: characteristics of digital x-ray imaging devices, I. Determination of the detective quantum efficiency. Publication no. IEC 62220-1. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2003
15. 김정민, 정희원, 민정환, 임은경: 디지털 의료영상에서 슬릿법에 의한 Modulation Transfer Function의 보정 방법, 방사선기술과학회지, 29(3), 133-139, 2006

An Evaluation Method of X-ray Imaging System Resolution for Non-Engineers

Jung-Eun Woo · Yong-Geum Lee · Seok-Hwan Bae · Yong-Gwon Kim

Department of Radiologic Science, Konyang University

Nowadays, digital Radiography (DR) systems are widely used in clinical sites and substitute the analog-film x-ray imaging systems. The resolution of DR images depends on several factors such as characteristic contrast and motion of the object, the focal spot size and the quality of x-ray beam, x-ray scattering, the performance of the DR detector (x-ray conversion efficiency, the intrinsic resolution). The DR detector is composed of an x-ray capturing element, a coupling element and a collecting element, which systematically affect the system resolution. Generally speaking, the resolution of a medical imaging system is the discrimination ability of anatomical structures. Modulation transfer function (MTF) is widely used for the quantification of the resolution performance for an imaging system. MTF is defined as the frequency response of the imaging system to the input of a point spread function and can be obtained by doing Fourier transform of a line spread function, which is extracted from a test image. In clinic, radiologic technologists, who are in charge of system maintenance and quality control, have to evaluate or make routine check on their imaging system. However, it is not an easy task for the radiologic technologists to measure MTF accurately due to lack of their engineering and mathematical backgrounds. The objective of this study is to develop and provide for radiologic technologists a medical system imaging evaluation tool, so that they can measure and quantify system performance easily.

Key Words : Modulation Transfer Function, Digital Radiography, ImageJ, Excel, Resolution