

MTF 측정을 통한 비정질 셀레늄 기반의 디지털 방사선 검출기의 영상 질 평가에 관한 연구

석대우, 박지균, 최장용, 남상희*, 강신원**

인제대학교 의용공학과, 인제대학교 의료영상연구소*, 경북대 전자공학과**

Image Quality of Amorphous Selenium DR system using MTF measurement

Dae-Woo Seok, Ji-Koon Park, Jang-Yong Choi, Sang-Hee Nam*, Shin-Won Kang**

Department of Biomedical Engineering of Inje University, Medical Imaging Research center of Inje University*,
School of Electrical Engineering and Computer Science of Kyungpook National University**

Abstract

In this paper, the evaluation of image quality was performed for digital radiography which is developing in using amorphous selenium as a photoconductor material for the purpose of offering basic research data and measurement technique about Medical Imaging Quality. So Modulation Transfer Function as a main factor of imaging quality evaluation was investigated by slit method. For measurement of MTF, Nuclear associates. 07-624 Slit camera image was obtained to study the variation of MTF corresponding to changing spatial frequency. And Presampling MTF was estimated by slit camera image with 10 μm width at Digital Radiography.

In this study, the obtained data demonstrates that the clinical value of a direct conversion type digital radiation detector using the amorphous selenium, which is being developed by domestic technology.

Key Words : Digital Radiography Detector, Modulation Transfer Function, Image quality, Slit method

1. 서 론

새로운 modality의 기술들이 많이 향상되었지만, projection x-ray 장치는 chest나 유방 질환의 초기 진단에 사용되는 중요한 장치로 여전히 남아있다. 기존 x-ray 장치는 detector로서 screen/film을 사용하고 있다. screen/film이 수십 년 동안 사용되어 오면서 비록 질적 측면에서 향상되고 최적화되었지만, 결점들은 여전히 남아있다. 기존 screen/film의 단점을 보완하면서 현재 병원에 널리 보급된 PACS 시스템과의 연계, 영상의 화질과 x-ray 이미지 data의 효용성을 향상시키고자하는 바람에서 지난 20년에 걸쳐서 Digital Radiography 기술이 개발되어 연구되고 있었다. 그러한 연구들의 결과로서, 최근 몇 년 동안 digital과 computer

기술의 발전으로 필름이 없는 digital radiography 개념이 실현되었다.

Digital Radiography를 수행하기 위한 몇 가지 기술들이 있다. computer radiography (CR), flat-panel (FP) 시스템이 chest 촬영용으로 개발된 반면, CR, FP, 그리고 CCD 기반 시스템은 mammography 촬영용 시스템으로 개발되었다.

solid-state detector, 일반적으로 flat-panel detector와 관련된 Digital Radiographic 시스템은 이제 임상에서도 대중화되어 가는 추세이다. 가장 일반적으로 사용된 기술인 computed radiography, CR이 더 대중화되고 값이 싸다할지라도, 환자에게 많은 선량을 조사하지 않고서도 양질의 이미지를 제공할 수 있는 flat-panel 장치의 잠재성을 인식

하고 있다. flat-panel 장치의 기술들이 더 광범위하게 사용되고 기술적 문제점들이 해결됨에 따라 이러한 시스템의 가격은 내려갈 것이며 임상적 효용성도 증가될 것으로 기대된다.

본 연구는 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기를 통해 획득된 영상의 질(image quality) 평가를 통해 순수 국내 기술로 개발중인 디지털 방사선 검출기의 임상 사용여부를 확인하고, 영상평가의 주요인자(Factor)인 변조전달함수(MTF : Modulation Transfer Function)를 Slit method를 이용하여 정량적인 값을 도출함으로써 의료영상평가에 필요한 측정 방법 및 그 기초 자료의 제공을 그 목적으로 한다. 공간주파수의 변화에 따른 MTF의 변화정도를 측정하기 위한 방법으로 먼저 10 μ m의 선폭을 가진 Nuclear associates 社の의 07-624 Slit camera 영상을 74kVp, 125mAs의 촬영조건을 설정하여 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기에서 디지털 영상을 획득하였다. slit 영상으로부터 Presampling MTF를 측정하였다.

2. 실험

2.1 X-ray spectrum과 선량 측정

입사되는 radiation quality는, detector 시스템이 보통 임상에서 사용하는 선질과 같게 선택하였다. MTF 측정을 위해서 사용된 radiation quality는 IEC에서 정의한 RQA 5이다. RQA5는 70kV 근방의 관전압, 7.1mm Al을 반가층으로 가지며, 21mm Al이 추가 필터로서 삽입된 radiation quality이다. Slit camera의 영상을 획득하기 위한 조사 조건은 74kVp, 125mAs이며 21mm Al 추가 필터를 사용하였다. 조사선량은 관전류(mA)를 변화시켜 조절하였다. MTF 측정을 위해서는 이러한 조사 레벨에서 slit camera를 이미지화하였다. 한번 x-ray를 조사한 후, lag effect를 피하기 위해 최소한 60초 이상의 조사시간 간격을 두었다. Small focal spot을 사용했으며 detector 사이의 거리(1.5m)와 geometry는 매 측정 시마다 일정하게 유지하였다. Table 1.은 MTF 측정을 위해 사용된 RQA5의 관전압과 Al 반가층 두께, 그리고 입사되는 x-ray fluence 값을 나타낸다.

선량 측정은 flat field 이미지를 획득하기 전 혹은 획득한 후 측정하였다. 모든 조사선량 측정은 Ionization chamber 2060 (Radical Cooperation,

US)를 사용하여 측정되었다. Ion chamber는 x-ray tube와 detector 사이에, FOV(field of view)의 중앙에 위치시킨다. 산란 방사선을 받지 않게 위치시키는 것이 중요하다. 선량값의 불확실성을 줄이기 위해 열 번 측정하여 평균하여 선량값을 정하였다. 열 번의 측정값을 평균하여 inverse square law를 이용하여 detector에 조사된 X-ray 선량을 추정하였다. 이것은 Al filter 혹은 detector 때문에 생기는 x-ray tube 쪽으로의 산란 방사선 영향을 제거하기 위해서이다.

표 1. radiation quality에 따른 필수 parameters

Radiation quality No.	Calculated X-ray tube voltage in kV	Calculated HVL in mm Al	Calculated SNR_{in}^2 in $1/(mm^2 \cdot mR)$
RQA 5	74	7.1	255,220

2.2 영상 획득과 Slit의 각도

Sub-pixel 해상도를 얻기 위해, 즉 세밀하게 sampling된 LSF를 구하기 위해 pixel matrix의 가로 혹은 세로열에 대하여 1에서 3도 사이의 각도로 기울여 slit camera의 영상을 획득하였다.

Presampling MTF는 line spread function(LSF)에 의해 결정된다. 약간의 각을 준 slit 이미지로부터 획득한 LSF의 sampling 간격은 픽셀과 픽셀간의 간격보다 더 좁다. presampling MTF의 정확성은 edge 각도의 정확성에 의존한다는 사실은 아주 중요하다[1]. 약간의 각을 주고 위치시킨 slit camera 혹은 edge phantom에서 획득된 LSF의 effective sampling 간격은 slit 혹은 edge의 각도에 의해 결정된다.

slit 혹은 edge의 각도와 LSF의 effective sampling 간격과의 관계는 다음의 식으로 나타낼 수 있다 [2].

$$\Delta X' = \Delta X \times \tan\theta \quad (1)$$

여기서,

$\Delta X'$ = LSF의 effective sampling distance

ΔX = digital x-ray detector의 pixel pitch

θ = slit 혹은 edge의 각도

지난 몇 년간 slit 방법을 이용한 presampling MTF를 측정하는 방법에 대한 글이 발표되어왔다.

P.B. Greer와 T.van Doorn은 MTF를 계산함에 있어 line 혹은 edge 각도 오차의 영향이 크다는 사실을 지적했다[3]. Ehsan Samei와 Micheal J. Flynn은 edge 각도를 결정하기 위하여 Hough transform과 다항식에 기초한 least square fitting 기술을 사용해왔다[4].

Slit 장치는 presampling line spread function을 얻기 위해 image matrix와 약간의 각도를 두고 위치시킨다. slit 각도에 오차가 있으면 presampling MTF에 오차가 발생한다. 그래서 정확한 edge의 각도를 구하는 것은 아주 중요하다. edge의 angle은 Hough transformation을 이용하여 아주 정확하게 결정된다[5]. 이 논문에서는 Hough transform과 밀접한 관련이 있는 image projection 기술인 radon transform을 이용하여 정확한 edge의 각도를 결정하였다.

2.3 MTF measurement

여러 MTF 측정 방법 중 본 논문에서는 tilted-slit method를 사용하여 결정하였다. line spread functions(LSF)을 측정하기 위하여 약간 기울어진 x-ray slit camera (Nuclear Associates, Model 07-624)로 영상을 획득한다. 일련의 line으로부터 획득한 LSF를 중첩시켜 over-sampled LSF를 획득한다. 이것이 MTF를 측정하는데 사용된다. 이 기술과 실험적 과정은 Fujita et al.[2]이 잘 설명하고 있다. 사용된 slit은 폭이 $10\mu\text{m}$ (with 4° relief angles on each jaw)이며, 길이가 5.5mm, 1.5mm 두께의 텅스텐(tungsten)으로 만들어졌다. 이미지 시차(parallax)와 focal spot blurring을 최소화하기 위하여 slit camera는 detector의 바로 앞에 위치시킨다. slit camera는 약간 각($1\sim 3^\circ$)을 기울여 위치시킨다. MTF 측정을 위한 실험 장치는 그림 1.에 잘 묘사되어있다. 이러한 배치는 일련의 LSFs를 구하기 위해 사용된다. slit camera는 두 sampling 지점의 다양한 위치에서 위치한다. 이러한 일련의 LSFs는 서로 중첩되어 sampling 지점이 더욱 많은, 혹은 sampling 거리가 짧은 하나의 LSF으로 결합된다.

Slit camera 위에 납으로 x-ray field를 collimate 시켜 산란을 최소화했다. 이러한 과정은 flat-panel 검출기가 x-ray에 과다 노출되어 ghost 이미지 신호가 발생되는 것을 막는데 도움을 준다. signal의 변동을 보상하기 위해 slit 영상에 보정을 가하였다. 약 16개의 연속적 영상이 sampled

composite LSF를 형성하기 위하여 합성되었고 그것의 peak 값을 일반화하였다. sampled LSF에 Fourier Transform(FT)이 적용되었다.

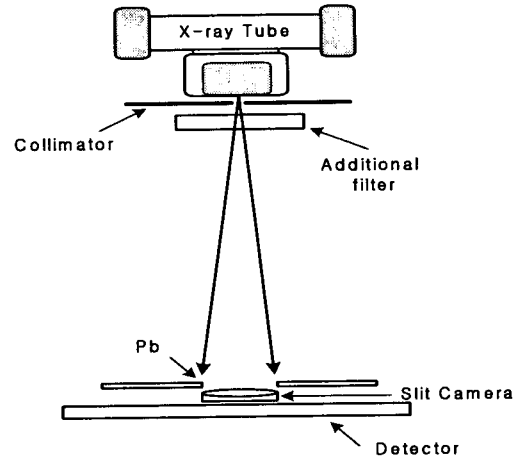


그림 1. Slit camera를 이용한 MTF 측정의 실험 구성도

Slit camera를 detector 위에 위치시킨 후 16회 촬영, 16장의 flat-field images를 획득하였고 16장의 Slit image들을 평균한 후 MTF를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

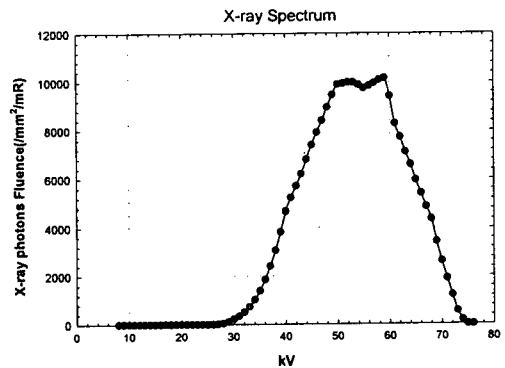


그림 2. 관전압에 따른 단위 선량당 x-ray fluence.

그림 2는 MTF 측정에 사용된 X-ray 스펙트럼을 나타낸다. 사용된 spectrum에 대해서 플루언스는 kV, 발생기 파형, x-ray tube의 총 filtration, 그리고 x-ray detector에서 측정된 선량(exposure)에

의존한다. X-ray 튜브 generator voltage는 7mm Al 반가층을 얻을 수 있는 74kVp를 사용하였다. 7mm Al 반가층을 가지는 spectrum은 일반 촬영 과정에 적절하다. X-ray beam에 21mm Al filtration을 추가하여 spectrum을 획득하였다. 7mm Al 반가층을 가지는 spectrum에 대해서 단위선량 당 x-ray 플루언스 값은 255220 photons/mm²/mR으로 구해졌다.



그림 3 획득된 Slit 이미지

그림 3은 비정질 셀레늄을 이용한 직접 방식의 디지털 검출기에서 측정된 Slit 이미지이다. Slit의 각도는 1.4°이다. 따라서 effective sampling 거리는 3.4μm가 된다.

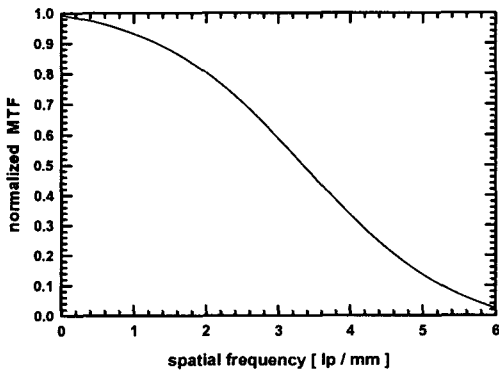


그림 4 MTF 곡선

그림 4는 비정질 셀레늄을 이용한 직접 방식의 디지털 검출기에서 측정된 MTF 곡선을 나타낸다. pixel 크기가 139μm에 대한 cut off frequency는 약 3.5 lp/mm가 되며, 이 공간주파수에 대한 MTF는 45%(slit method)를 나타내었다.

4. 결론

본 연구를 통해 광도전 물질인 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기의 임상사용가능 여부를 확인 할 수 있었다. 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기의 성능 평가를 위해 다학문적 연구를 통하여 DQE(Detective Quantum Efficiency), NPS(Noise Power Spectrum), MTF(Modulation Transfer Function)과 같은 영상평가 인자들에 대한 연구가 병행되어야 한다. 본 연구를 통해 영상평가 측정 기술의 기본적 토대를 마련하고, 측정된 값은 국내 기술로 개발중인 비정질 셀레늄을 이용한 직접방식의 디지털 방사선 검출기의 임상적 사용가치가 충분함을 뒷받침 할 수 있는 기초 자료로서 제공될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 출연금 등으로 수행한 정보통신선도기반기술개발사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] Ikuo Kawashita et al. "Development of an Automated Method for Evaluation of Sharpness of Digital Radiographs Using Edge Method" Medical Imaging 2001 : Physics of medical imaging Proceeding of SPIE vol. 4320
- [2] H. Fujita, D.Y. Tsai, T. Itoh, K. Doi, J. Morishita, K. Ueda, and A. Ohtsuka, "A simple method for determining the modulation transfer function in digital radiography," IEEE Trans. Med. Imaging 11, 34-39, 1992.
- [3] P. B. Greer and T. van Doorn, "Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method", Med. Phys., Vol. 27, NO. 9, 2048-2059, 2000.
- [4] Ehsan Samei and Michael J. Flynn, "A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device", Med. Phys., Vol. 25, No. 1, 102-113, 1998.
- [5] W.K. Pratt, Digital Image Science (Academic, New York, 1991)