

Contrast Method를 이용한 디지털 X선 영상과 필름 영상의 영상 질(Quality) 평가

— Image Quality Evaluation of Digital X-ray Image and Film Image using Contrast Method —

한국국제대학교 방사선학과 · 식품의약품안전청 의료기기관리과¹⁾

박지균 · 정봉재 · 최장용¹⁾ · 강상식

— 국문초록 —

본 논문은 현재 임상에서 사용되고 있는 비정질 셀레늄을 이용한 평판형 X선 영상 검출기를 통해 획득된 영상의 변조전달함수(MTF)에 대한 정량적인 값을 도출하였다. 영상 질(quality)의 주요변수인 MTF의 측정은 먼저 test pattern 영상을 획득한 다음, contrast method를 이용하여 공간주파수(spatial frequency)에서의 line profile을 디지털 값으로 획득하여 MTF를 계산하였다. 측정 결과, test pattern 영상에서 3.0lp/mm에서 36.1%의 MTF 값을 나타냈으며, 종래의 필름 영상보다 약 2배 높은 해상력을 가짐을 알 수 있었다. 측정된 값은 비정질 셀레늄을 이용한 직접방식의 디지털 방사선 검출기의 임상적 사용가치가 충분함을 뒷받침 할 수 있는 기초 자료로서 제공될 수 있을 것으로 판단된다.

중심 단어: 디지털 방사선 검출기, 비정질 셀레늄, 변조전달함수, 영상질, 콘트라스트 측정법

I. 서 론

X선 발생장치를 이용한 질병의 진단 및 치료는 현대 임상의학에서 핵심적인 역할을 주도하고 있다. 현재 종래의 필름을 사용하지 않고 X선에 의한 영상신호를 전기적 신호로서 획득하여 영상을 구성하는 디지털 영상화 방식으로 바뀌고 있는 실정이다^{1,2)}. 특히 직접 변환방식의 X선 영상 시스템은 X선의 흡수 후 전기적인 신호를 직접 발생시키는 변환 물질인 광도전물질을 이용함으로써 고해상도 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다. 이러한 직접방

식에서 연구되고 있는 광도전 물질로는 a-Se, HgI₂, PbI₂, CdZnTe 등이 있다^{3,4)}. 하지만 이러한 디지털 영상 검출기는 픽셀크기가 원자단위의 크기로 만들어질 수 없기 때문에 영상의 해상력에서 제한적 요소를 가진다. 의료영상평가 방법에는 일반적으로 해상능, H-D curve, 변조전달함수(Modulation Transfer Function) 등을 파라미터를 이용하고 있지만, 아직까지 이러한 디지털 방사선 검출기의 영상의 질(image quality)에 대한 기준이 정립되지 않은 실정으로 정량적 평가를 하기 위해 기존 아날로그 방사선 필름 및 디지털 방사선 검출기의 변조전달함수를 측정 및 비교하기 위한 연구가 요구되고 있다^{5,6)}.

따라서 본 연구에서는 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기에 대해 영상의 질 성능평가 지표 중 가장 일반적인 변조전달함수를 이용하여 영상 질 평가를 목적으로 한다. 본 연구에서는 contrast method를 통한 필름

*접수일(2010년 10월 31일), 1차심사일(2010년 11월 9일), 2차심사일(2011년 2월 15일), 확정일(2011년 3월 16일)

교신저자: 강상식, (660-759) 경남 진주시 문산읍 산 270
한국국제대학교 H동 8층 방사선학과
TEL: 055-751-8303
E-mail: kss94@nate.com

및 디지털 영상의 MTF 측정을 통하여 영상의 quality에 대한 정량적 수치를 측정함으로써 검출기의 성능 평가를 나타낼 수 있는 지표를 제시하고자 하였다. 또한 본 연구를 통하여 국내 기술로 개발중인 비정질 셀레늄을 이용한 직접 평판형 디지털 방사선 검출기 영상의 질적 평가를 통하여 임상적 활용 가치의 검증에 그 연구 목적이 있다.

II. 연구재료 및 방법

방사선 영상의 질을 평가하기 위한 요소로 대조도, 해상능, 선예도 등 많은 인자들이 알려져 왔다. 하지만, 이러한 값들의 결과값은 서로간의 상관관계에 의하여 독립적인 값으로 사용될 경우 시스템 전체의 정확한 성능분석의 어려움이 따른다. 특히 대조도는 영상시스템의 공간 해상력 혹은 영상의 구조에 대한 정확한 정의를 내릴 수 없기 때문에, 영상 시스템의 설명을 위해서는 잘 사용되지 않는다. 그러나 변조전달함수는 영상의 전 영역에 걸쳐 공간 주파수(Spatial frequency: cycles/mm or line pairs/mm)의 시스템 Performance에 대한 Contrast response 정보를 나타내기 때문에 영상 시스템에 대한 정량적 분석시 척도가 된다. MTF의 개념은 focal spot, fluorescent screen, film, intensifier 등 심지어 의사의 눈까지 포함하는 총체적인 중간과정에서의 영상의 질 저하 정도를 정량적으로 나타내는 것을 정의한다. 변조라 함은 정보전달신호의 진폭(amplitude) 또는 강도(intensity), 양(amount)의 변화를 의미한다. 예를 들어 A란 이미지상 중에서 한 특정 부분이 흐리게 표시되거나 혹은 표시가 되지 않을 수 있다. 변조전달함수는 픽셀 값들을 공간주파수에 대해 영상 시스템의 전달능(Transfer ability)를 나타낸다. 만일 영상 시스템이 선형적이고 시간에 대해 독립적이라면 delta function에 대한 시스템 반응은 수많은 delta function의 중첩으로 가정되어지며, 영상의 결정적 변화를 설명할 수 있다.

MTF curve는 공간주파수의 함수로써 표현된 입력 함수에 대한 출력 함수의 비율로서 표현되어, 시스템에 대한 MTF의 값이 크면 클수록 공간 분해능이 향상되어 결과적으로 영상의 blurring 현상은 줄어들게 된다. 비정질 셀레늄의 디지털 X선 영상 시스템의 영상 질의 성능평가를 비교하기 위해 필름 영상의 MTF를 contrast method

를 이용하여 측정하였다. 측정을 위해 Fuji 社の ortho chromatic green sensitive film 및 rare earth phosphor gadolinium oxysulfide screen(speed 100)을 사용하여 그리드를 사용하지 않은 조건에서 해상력 테스트 패턴 [Nuclear Associates-carle place, N.Y. 07-523] 영상을 획득하였다. 방사선 영상을 획득하기 위한 X선 장비는 TOSHIBA DRX-353570을 이용하였으며, 팬텀 영상을 얻기 위해 일반적으로 사용되는 조사선량인 100 mA, 44 kVp, 0.05 sec을 조사조건으로 설정하였다. 획득된 영상은 미세 농도 측정기를 통하여 샘플링 되어지는 곳에서의 최대값 및 최소값을 구하였다. 필름 농도에 따른 디지털 값을 얻기 위해 사용된 미세농도측정기(micro densitometer)는 광원에서 나온 빛이 필름을 통과해서 광증배관(photomultiplier tube)으로 들어오며, 광속(photon flux)은 필름에 맺힌 상의 농도에 따라 달라지게 된다. 광증배관으로 들어온 광자는 광음극(photocathode)에 충돌하여 전자를 발생시키므로 이때 광의 세기는 전류신호로 변환될 수 있으며, 전류의 세기는 다시 12 bit A/D converter를 사용하여 필름에 맺힌 상의 농도를 정량적인 값으로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 5 μ m 간격으로 데이터를 읽어들이는 미세 농도 측정기를 이용하였으며, 0.5 lp/mm부터 3.5 lp/mm까지의 9개의 샘플링 데이터를 설정하여 spatial frequency에 대한 상대농도 값을 나타내었다. Contrast를 이용한 film/screen 방식의 MTF 측정은 아래와 같이 정의된다. 그림 1은 contrast method을 이용한 MTF 측정방법을 나타내고 있다.

$$MTF = \frac{\Psi_{\max} - \Psi_{\min}}{\Psi_{\max} + \Psi_{\min}} \dots\dots\dots (1)$$

(Ψ_{\max} : The length from background to high peak,
 Ψ_{\min} : The length from background to low peak)

본 연구에 이용된 디지털 영상 시스템은 현재 상용화된 비정질 셀레늄 층과 a-Si TFT array로 구성된 평판형 X선 영상 검출기로 5초 이내의 영상획득 시간을 지닌 분할 구동 판독 회로를 개발하였다. 이 검출기의 사양은 pixel size(139 μ m), fill factor(86%), matrix size(560 \times 1536) 이며, 그림 2(a)는 제작된 평판형 X선 영상 검출기 시스템이며, 그림 2(b)는 획득된 test pattern 영상을 보여준다.

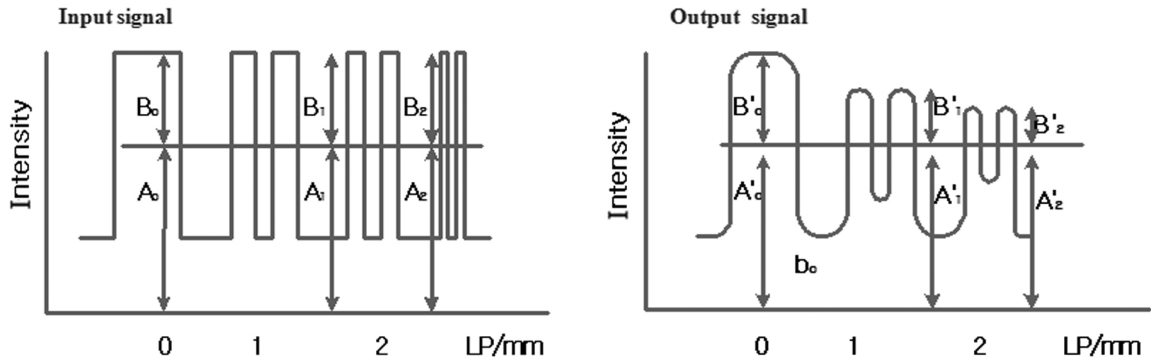
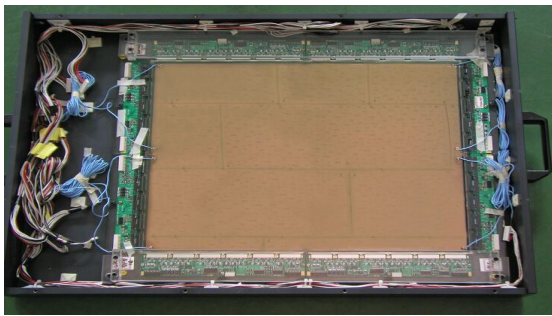
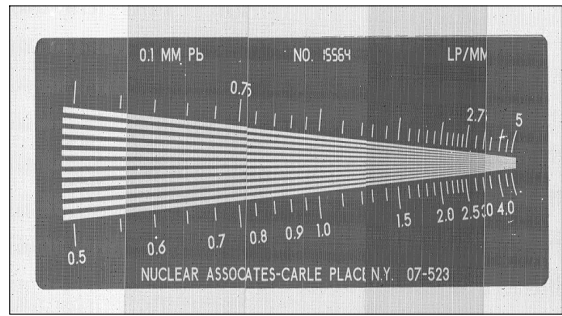


Fig. 1. MTF measurement by contrast method



(a) a-Se digital x-ray detector



(b) Obtained image (44 kVp, 5 mA, 0.05 sec)

Fig. 2. a-Se flat panel digital X-ray imaging system (a) and test pattern image (b)

MTF를 측정하기 위해 획득된 test pattern 영상으로부터 기존 film/screen 방식의 MTF 측정법과 같은 contrast method를 이용하여 샘플링되는 공간 주파수에서 디지털 line profile 값을 읽어 들었다. 이러한 공간주파수에 대한 각 intensity 측정을 통해 변조깊(modulation)을 구하였다. 획득된 line profile은 진폭의 최대값과 최소값이 일정하지 않았기 때문에 평균값을 통해 pixel의 intensity profile의 최대값과 최소값을 결정하였다. 획득되어진 영상의 임의의 공간 주파수(0.5, 0.8, 1.0, 1.3, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 lp/mm)에 해당되는 pixel 조합에 대해 8-bit gray level intensity를 contrast 정의를 적용하여 입·출력파형의 대조도비를 응답함수로서 산출하여 MTF를 도출하였다.

III. 결 과

Film/screen 방식의 영상 질 평가를 위해 미세 농도 측정기를 이용하여 획득된 필름영상으로부터 공간주파수에 따른 농도의 차이를 측정함으로써 변조전달 함수를 측정하였다(Fig. 3). 측정결과, 0.5 lp/mm에서 평균 농도의 최대값이 2.75, 최소값이 0.28이었으며 MTF 는 81.5%를 나타내었다. 또한, 공간주파수가 증가함에 따라 최대 농도와 최소 농도의 차는 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며, 2.0 lp/mm에서 MTF 값이 30.9%까지 감소하였다. 이는 공간주파수가 높아짐에 따라 인접해 있는 물체를 구별해내는 분해능(resolution)이 떨어지는 것을 의미하며 필름 영상에서의 미세병변의 진단능의 한계를 가짐을 알 수 있었다. 표 1에서와 같이 3.0 lp/mm에서 17.0%, 3.5 lp/mm에서 11.0%의 매우 낮은 MTF 값을 보였다.

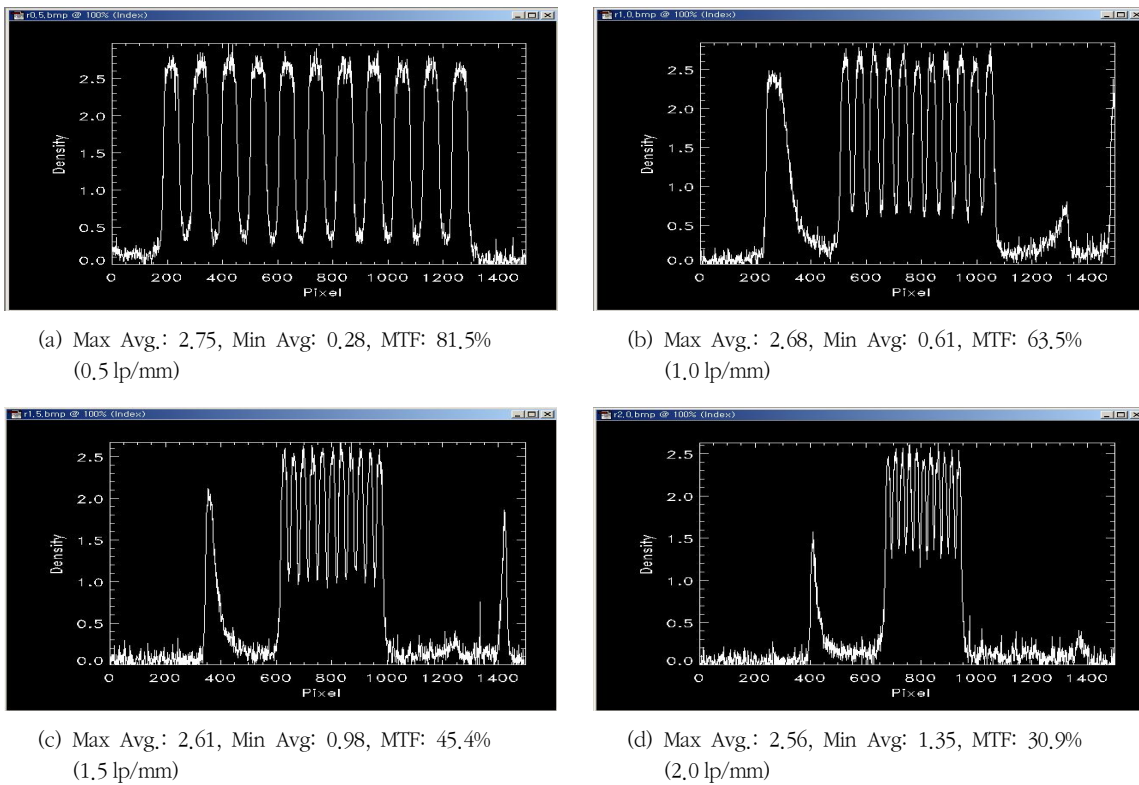


Fig. 3. Intensity profile at various spatial frequency in film image (test pattern)

Table 1. Result of MTF of film image at various spatial frequency

lp/mm \ Intensity	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
Max, Avg	2.75	2.68	2.68	2.64	2.61	2.56	2.42	2.44	2.42
Min, Avg	0.28	0.51	0.61	0.82	0.98	1.35	1.52	1.73	1.94
MTF (%)	81.5	68.0	63.5	52.6	45.4	30.9	22.8	17.0	11.0

Contrast method를 이용하여 디지털 방사선 검출기로부터 획득한 test pattern 영상의 공간주파수에 따른 line profile의 intensity 분포를 측정하였다(Fig. 4). 이때 횡축은 픽셀의 위치를 나타내었으며, 종축은 각 픽셀에 대한 강도를 나타내었다. 측정된 test pattern의 line profile 결과 값은 offset 값을 설정하여 측정된 각 공간주파수에 대해 offset 값과의 차이를 이용하여 최대 및 최소값을 측정하였다.

측정결과, 0.5 lp/mm의 공간주파수에서 89.5%의 높은 MTF 값을 보였으며, 공간주파수가 높아짐에 따라 필름 영상의 MTF 값과의 차이가 커짐을 확인할 수 있었다. 일반적으로 영상의 진단에서 병변을 확인하기 위해서는 3 lp/mm 이상의 공간주파수에서 검출기의 해상력이 높아야

한다. 본 실험의 결과, 디지털 X선 검출기의 경우 3.0 lp/mm의 공간주파수에서 36.1%의 MTF 값을 보였으며, 이 값은 현재 임상에서 사용되고 있는 상용화된 a-Se 디지털 X선 영상 시스템에 비해 1.5배 정도 낮은 값을 보였지만, 필름 영상에 비해 약 2배 높은 해상력을 가짐을 알 수 있었다.

Fig. 5는 Film/screen과 a-Se 디지털 X선 영상검출기로부터 획득된 test pattern 영상의 공간주파수에 따른 MTF 측정 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 1.0 lp/mm 이하의 낮은 공간주파수에서는 두 영상 모두 높은 MTF 값을 보인 반면, 1.5~3.0 lp/mm에서 a-Se 디지털 영상이 필름영상에 비해 약 2배 정도 높음을 알 수 있었다.

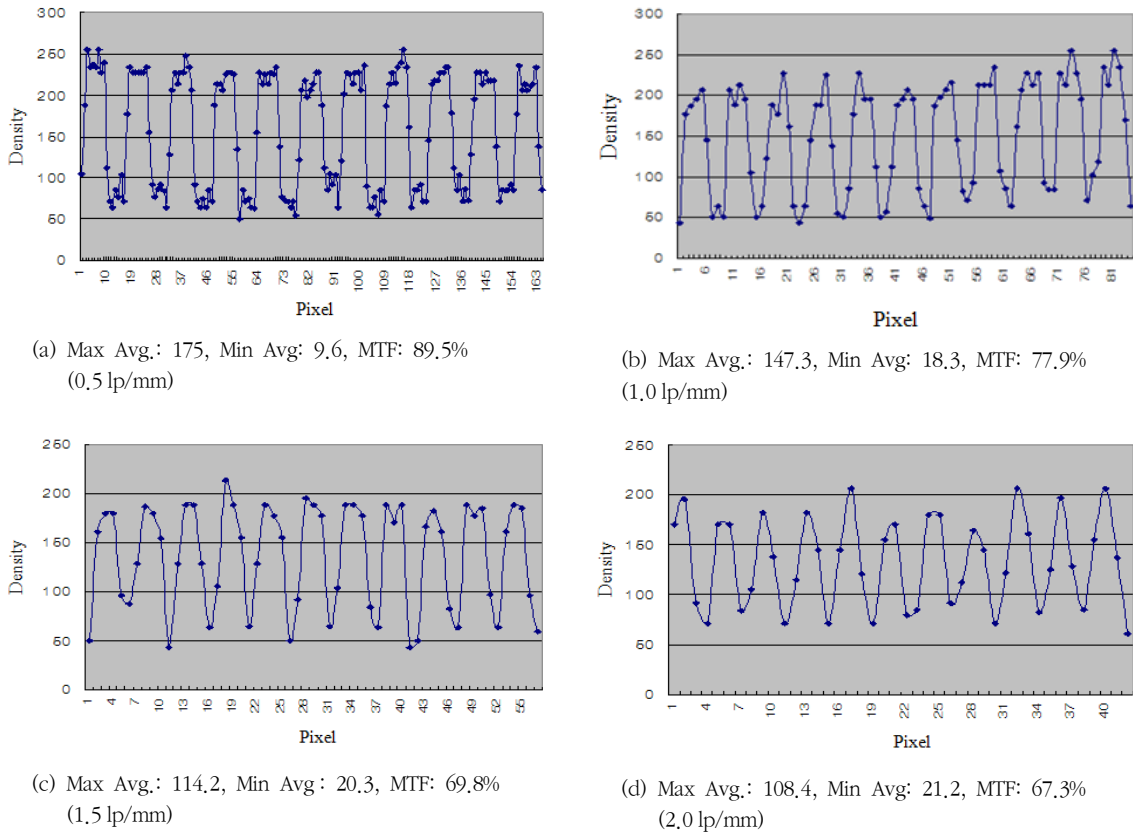


Fig. 4. Intensity profile at various spatial frequency in digital image (test pattern)

Table 2. Result of MTF of digital image at various spatial frequency

lp/mm \ Intensity	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
Max, Avg	175.0	148.5	147.3	137.3	114.2	108.4	97.4	118.1	125.3
Min, Avg	9.6	11.3	18.3	19.7	20.3	21.2	34.4	55.5	84.5
MTF (%)	89.5	85.9	77.9	74.9	69.8	67.3	47.8	36.1	19.4

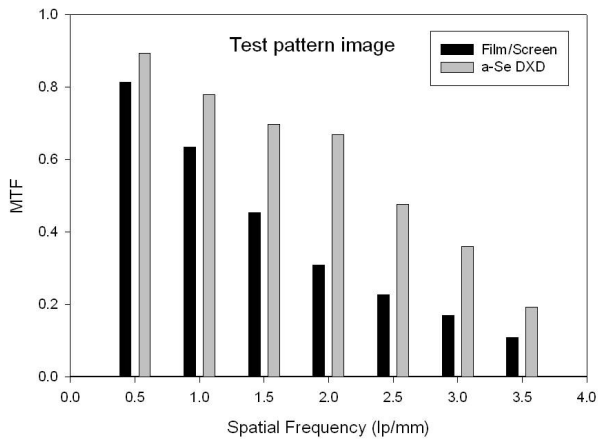


Fig. 5. Modulation transfer function of as a function of spatial frequency in film and digital image

IV. 고 찰

현재 선진의로 장비 개발업체에서는 상품화된 디지털 방사선 검출기에 대한 영상의 질적 수행능 혹은 신호대 잡음비의 전달 특성을 평가하는 많은 파라미터들을 스펙 상에 제시하고 있으며, 세계적으로 디지털 방사선 검출기의 영상의 질적 수행능을 평가할 수 있는 표준화된 프로토콜을 활발히 개발하고 있다. 그러나, 현재 국내 기술력으로 개발되고 있는 직·간접 방식의 디지털 방사선 검출기의 영상의 질적 수행능에 대한 평가는 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는, 디지털 의료영상 평가의 기초적 이론과 변조전달함수를 측정하기 위한 contrast method를 통한 MTF 측정 방법의 이론적 모델을 제시하

고, 이론적 모델을 적용한 MTF 측정을 통하여 영상의 해상도를 정확하게 묘사하여 검출기의 정확한 성능 평가를 나타낼 수 있는 지표를 마련하였다. 또한 본 연구를 통하여 국내 기술로 개발중인 비정질 셀레늄을 이용한 직접 평판형 디지털 방사선 검출기의 성능 평가를 통하여 임상적 활용 가치의 검증에 그 연구 목적이 있다.

본 연구에서 영상의 질을 평가하기 위해 미세 농도 측정기를 이용하여 아날로그 방사선 검출기와 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기의 test pattern 영상으로부터 MTF 값을 측정하기 위해 contrast method를 이용하였다. 이때 디지털 test 영상의 평가는 object가 없는 부분의 디지털 값을 먼저 읽어 이를 baseline, 즉 offset 값으로 설정하였다. 샘플된 9개의 공간주파수에서 측정된 강도분포는 offset 값과의 차이를 최대값과 최소값으로 설정하여 MTF 값을 계산하였다. 연구 결과, contrast method를 이용하여 MTF의 정량적 수치를 측정된 결과 기존의 필름 영상에 비해 a-Se 디지털 영상 시스템은 1.5~3.0 lp/mm의 공간주파수에서 필름 영상에 비해 약 2배 정도 높은 해상력을 보였으며, 이는 임상에서 진단에 유용한 주파수 범위에서 병변의 검출에 우수한 성능을 나타낼 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 결과는 DR 시스템의 영상획득과정에서 신호처리에 의한 노이즈 잡음의 제거가 이루어졌기 때문으로 판단된다⁷⁾. 하지만, 본 논문에서 직접 제작한 검출기의 MTF는 a-Se 방식인 Hologic 社사의 DR-1000과 CsI:Na 방식의 간접변환 검출기인 GE 社의 XQ/I와 비교하였을 때 1.5배 정도 낮은 해상력을 보임을 알 수 있었다. 이러한 차이는 MTF 측정 방법의 차이와 X선의 선질, 조사조건 등의 차이에 의한 것으로 사료되며, 향후 동일한 측정방법으로 측정 비교 및 NPS, DQE 등의 영상 성능 평가지표에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기의 영상 질 평가를 통해 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기의 임상 사용가능 여부를 확인할 수 있었으며, 실제 영상의 질을 정확히 평가할 수 있는 인자(factor)로 알려져 온 변조전달함수의 측정에는 contrast method 방법을 이용하여 검증을 하였다. 비정질 셀레늄

을 이용한 직접 방식의 디지털 검출기의 pixel size가 139 μm 에 대한 cut off frequency는 약 3.5 lp/mm가 되며, 이 공간주파수에 대한 MTF는 19.4%를 나타내었다. 본 연구를 통해 광도전 물질인 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기의 임상사용가능 여부를 확인 할 수 있었다. 현재까지 디지털 검출기로부터 획득된 의료영상의 quality에 대한 평가는 아직 정확한 기준이 설립되지 않은 상태이다. 따라서 비정질 셀레늄을 이용한 디지털 방사선 검출기의 성능 평가를 위해 임상판독 전문가로부터 공학도에 걸친 다학문적 연구를 통하여 NPS, DQE 등과 같은 영상평가 인자들에 대한 연구가 병행되어야 한다. 또한 본 연구에서 사용된 측정법은 아날로그 및 디지털 의료영상의 영상평가를 위한 기초 자료로 사용되어질 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No.2009-0088856)

참 고 문 헌

1. W Que, J.A. Rowlands, "X-ray imaging using amorphous selenium: inherent spatial resolution", *Medical Physics*, 22(4), 365-373, 1995
2. M.J. Yaffe, J.A. Rowlands, "X-ray detectors for digital radiography", *Phys. Med. Biol.* Vol 42, 1-39, 1997
3. Arthour S. Diamond, David S, Weiss: *Handbook of Imaging Material*, Second Edition, Marcel Dekker, 329-368, 1991
4. 김창복, "CR을 이용한 일반촬영장치의 MTF 측정", *방사선기술과학*, 28(2), 111-115, 2005
5. 양한준, 고신관, 주미화, "유방촬영용 X선관 target/filter 조합에 따른 MTF 영상평가에 관한 고찰", *방사선기술과학*, 30(2), 2007
6. 김선철, 정재은, "F/S 시스템과 DR 시스템의 화질과 피폭선량 비교에 관한 검토", *대한방사선기술학회지*, 26(3), 2003

• Abstract

Image Quality Evaluation of Digital X-ray Image and Film Image using Contrast Method

ji-Koon Park · Bong-Jae Jung · Jang-Yong Choi¹⁾ · Sang-Sik Kang

Department of Radiological Science, International University of Korea

¹⁾*Department of Medical Equipment Management, Korea Food & Drug Administration*

In this paper, an image quality evaluation of amorphous selenium based x-ray system was performed using modulation transfer function (MTF) measurement. MTF as a main factor of imaging quality evaluation was investigated by contrast method from acquired test pattern image. The MTF value was measured to 36.1% at 3.0 lp/mm which is twice as high as that in the film image. Compared with other studies, the results demonstrate that amorphous selenium based x-ray detector is clinically meaningful.

Key Words : Digital Radiography Detector, Amorphous Selenium, Modulation Transfer Function, Image quality, Contrast method