비정질 셀레늄층과 비정질 실리콘TFT배열을 사용하는 디지털 X-선 검출기의 영상특성 평가

*(주)디알텍, †서울대학교 의과대학 영상의학교실

김창원*・윤정기*・김종효†

이 연구에서는 저자들이 개발한 비정질 셀레늄층과 비정질 실리콘TFT배열을 사용하는 직접방식 디지털 X-선 영상 검출기에 대해 IEC (international electrotechnical commission)와 같은 국제표준으로 권고된 측정방법에 따라 특성을 평가하였다. 영상 성능 묘사에 사용되는 측정은 응답특성(response characteristic), 변조전달함수(MTF, modulation transfer function), 잡음전력스펙트럼(NPS, noise power spectrum), 양자검출효율(DQE, detective quantum efficiency), 양자제한 성능을 포함하고 있다. 영상특성평가 결과, 개발된 검출기의 DQE 값은 최저주파수와 최고주파수에서 각각 40%와 25%이었다. 해외 타사의 제품과 비교해서도 우월한 값을 나타내었다. 또한 MTF는 간접방식 DR, CR과 비교하면 매우 우월한 성능을 보이고 있다. 또한 양자 제한된 특성을 평가한 결과, 0.023 mR 이하에서만 제한된 특성을 보여 일반촬영용도로서 적합성을 확인할 수 있었다.

중심단어: X-선, 박막트랜지스터, 영상특성, 평가, DQE

서 론

디지털 X-선 영상 검출기의 개발과 임상응용에 있어서 검출기의 성능을 확인하기 위한 정량적인 측정은 필수적이다. 이와 같은 검출기의 특성평가에 있어서는 변조전달함수(MTF, modulation transfer function), 잡음전력스펙트럼(NPS, noise power spectrum), 양자검출효율(DQE, detective quantum efficiency) 등의 척도들이 영상의 화질을 묘사하는데 자주 활용된다.[1] 이중에서도 특히 DQE는 MTF, NPS, 검출기 이득, 그리고 검출기에 입력되는 X-선 양자의 수 등을 종합적으로 반영하기 때문에 가장 주목 받고 있는 요소이다. 이와 같은 검출기의 특성평가는 새로운 방식의 검출기 개발이나 신제품 출시에 있어 이전 장치들과의 비교 평가를 위해 반드시 수행되어야 하는 주요 과정이다. 특히 미식품의약품안전청(FDA)에서는 90년대 후반부터 디지털 X-선 검출기의 평가에 DQE, MTF, 양자제한성능(quantum limited performance) 등의 요소를 510(k)문서로 요구하고 있다. 이와 같은 검출기의 특성평가에 있어서 평가결과는 평가방법에 따라 다른 값을 가질 수 있기 때문에 2003년에 국제전자기술위원회(IEC)에서 표준화된 측정규약을 제정한 바 있다.[2]

그러나 현실적으로는 국내외에 공신력 있는 표준 측정 시험소가 없기 때문에, 측정결과를 인증기관에 제출할 때에는 사용된 측정규약을 같이 제출하여 검증 받아야 한다. 이에 따라, 직접방식과 간접방식 DR (Digital Radiography) 및 CCD (Charge Coupled Device) DR을 생산하는 의료기기 업체들은 제품화된 기기를 평가하고 FDA에 제출함과 동시에 논문으로도 발표하여 관련학계의 전문가들을 통해 평가과정과 결과의 적절성을 알리고 있다.[1,3]

저자들은 비정질 셀레늄을 감응물질로 사용하는 평판형 X-선 영상 검출기를 개발하였고, 이에 대해 국제 표준의 측정규약에 따라 특성평가를 수행하였으며 이 자료를 바탕으로 국내최초로 FDA의 승인을 획득하였다.

이 논문에서는 국제표준 규약에 따라 디지털 X-선 영상 검출기의 특성을 평가하는 과정을 기술하며, 저자들이 개발한 검출기에 대해 측정된 특성자료들을 제시한다.

측정에 사용된 검출기의 규격과 동작원리를 설명하고, 응답특성(response characteristic)과 MTF, NPS, 그리고 DQE의 측정방법과 결과들을 제시하며, 종래의 검출기들과의 특성 차이를 고찰한다.

이 논문은 2008년 9월 24일 접수하여 2008년 12월 11일 채택되었음.
책임저자 : 김종효, (110-799) 서울특별시 종로구 연건동 28번지
서울대학교 의과대학 영상의학교실
Tel: 02)2072-3677, Fax: 02)747-7418
E-mail: kimjhyo@snu.ac.kr

대상 및 방법

1. 대상 검출기의 설명

이 연구에 사용된 검출기는 일반 X-선 촬영을 목적으로 개발된 것으로서, 검출기의 개요도는 Fig. 1에, 그리고 검출기의 치수들은 Table 1에 각각 나타내었다. 14×17인치 크기의 수광면을 2,048×2,560의 화소 배열로 대응하게 되어있으며, 화소 간격은 168 um이며 83%의 fill factor를 가지는 정방형 화소면으로 구성되어 있다. X-선을 직접 전기신호로 변환하기 위하여 비정질 셀레늄층과 비정질 실리콘 박막 트랜지스터 배열을 갖도록 제작되었다.

X-선을 전기신호로 변환하는 에너지 변환 과정과 전기신호를 디지털 신호로 변환하는 데이터 수집 과정은 Fig. 1을 고려해서 설명한다. X-선 양자들이 감지되고 광전도체인 셀레늄 층에 흡수될 때, 입사된 양자들의 에너지는 셀레늄 내부의 전자들을 들뜨게 하고 전도대역으로 이동시킨다. 이 검출기는 X-선의 직접 검출방식을 사용하므로 가시광선으로의 변환 없이 흡수된 X-선 양자들을 전기신호로 변환한다. 에너지 변환과정 동안 광도전 물질 양단에 전압을 인가함으로써 변환된 전하들은 수집할 수 있게 된다. 이 신호들은 증폭되고 결국에는 디지털 신호로 변환되다. 이 전기장 없이는 전도대역으로 들뜬 상태의 전자들이 밸런스 밴드(balance band)로 돌아가지 못한다. X-선 조사에 의해 발생된 전하들은 각 화소의 저장 축전기(storage capacitor)에 저장된다. 게이트 배선의 전압을 박막트랜지스터가 켜질 수 있도록 변환시켜서 인접한 데이터 배선과 전기적으로 접속할 수 있도록 한다. 영상 정보를 형성하는 신호들은 저장 축전기에서 박막트랜지스터를 통해 외부 전자회로로 흘러간다. 이 신호전하들은 전하 앰프에 의해 전압 신호로 변환되고 표본 및 유지(sample-and-hole) 회로에 의해 표본 채취 된다. 이렇게 표본 채취된 신호들은 4개의 채널을 통해 2 MHz의 클럭 주파수를 가지고 14 bit로 디지털화 된다.

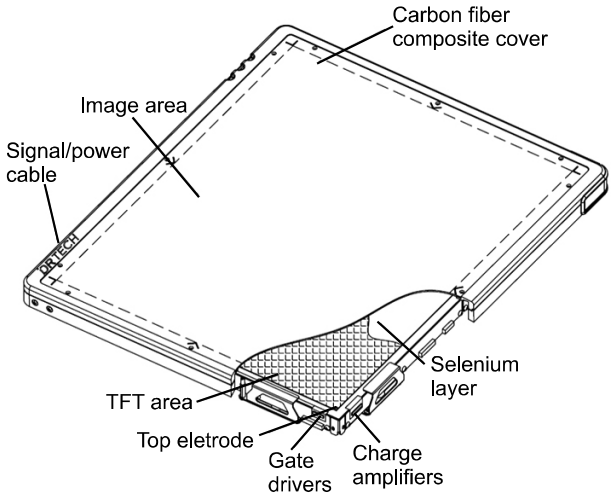

Fig. 1. A schematic diagram showing detector cross section.

기존의 자사 제품과 차별화되는 점은 DQE 향상을 위하여 화소 크기를 139 ㎛에서 168 ㎛로 변경하였고 검출부위 영역을 기존의 14×17 inch에서 17×17 inch로 변경하였다. 또한 Back Light Unit을 냉음극형광램프에서 발광다이오드 배열로 변경함으로써 인버터를 사용하지 않게 됨으로써 소비전력을 저감시켰고 냉음극형광램프의 턴온 시간이 불완전한 부분을 개선하였다. 또한 고전압발생장치에 사용하는 스위치를 릴레이에서 반도체 스위치로 변경하여 고전압 턴오프 동작의 불완전함을 개선하여 전반적으로 시스템 동작이 안정화되었다.

2. 응답특성(response characteristic)

응답특성(response characteristic)은 입력 조사량에 대한 출력 신호 수준의 그래프를 의미하며, 특성곡선 또는 민감도로 불리기도 한다. X-선 검출기는 입사 에너지의 스펙트럼에 따라 그 응답특성이 달라지므로, 검출기 간의 공정한 특성 비교를 위해서는 표준 스펙트럼을 정의해야 한다.[2] 일반촬영을 목적으로 하는 디지털 X-선 시스템에서는 RQA5 스펙트럼 조건이 일반적으로 사용되고 있다. RQA5 스펙트럼은 X-선 발생기에 21 mm두께의 1100 알루미늄을 사용하는 필터를 추가함으로써 얻어질 수 있다. 이때 사용되는 피크 전압을 알루미늄 반가층(HVL, Half Value Layer)이 7.1

Table 1. Detector element dimensions.

Element	Specification	Unit	Remark
Detecting area	344 (H)×430 (V)	mm^2	H : horizontal, V : vertical
Pixel pitch	168 (H)×168 (V)	μm^2	H : horizontal, V : vertical
Pixel number	2,048 (H)×2,560 (V)	N/A	H : horizontal, V : vertical
Fill factor	83	%	

Table 2. Quanta per area per air kerma for various spectrum types.

Spectrum	Added Al filter (mm Al)	HVL (mm Al)	Quanta per area per air kerma (photons/(mm^2 ·mR))
RQA3	10	4.0	1.909E5
RQA5	21	7.1	2.647E5
RQA7	30	9.1	2.839E5
RQA9	40	11.5	2.726E5

mm가 되도록 70에서 80 kVp사이에서 조정한다.[3] 결과적으로 이 연구에서는 76 kVp을 사용하였다. 각각의 X-선 시스템들은 사용하는 X-선관이나 X-선 발생장치 등에 의해 변동량이 있으므로 다른 시스템의 DQE를 비교할 때에 반드시 반가층을 통해 얻어진 표준 스펙트럼을 사용하도록 되어있다.

이 연구에서 사용한 표준 스펙트럼과 기하학적 배열은 다음과 같다.

1) SID (source-image distance) = 165 cm.
2) 21 mm Al filter in the tube port.
3) Technique: 76 kVp, small focus.

다음으로 검출기에 X-선을 조사하고 각각의 조사에 대해서 검출기 표면에서의 공기 커마(Air kerma)값을 측정한다. 공기 커마는 이온챔버 장치로 측정할 수 있으며, 이 연구에서는 TRIAD TnT X-ray field kit (모델명: 10500AMT, 제조사: Fluke Biomedical, 조제지: Everett, WA, USA)를 사용하였다. 공기 커마 대 100×100 화소의 출력 값의 평균을 그래프로 그리고, 이 그래프에서 선형영역의 기울기를 구함으로써 특성곡선의 이득을 구하였다.

3. 변조전달함수(MTF, modulation transfer function)

MTF (Modulation Transfer Function)의 측정은 아날로그 X-선 시스템의 공간분해능력을 측정하기 위해서 자주 사용되었던 척도이며, 현재는 디지털 방사선(DR, Digital Radiology) 시스템에서도 공간분해능을 평가하는데 사용되고 있다. 디지털 방사선 시스템에서 MTF를 분석할 때는 샘플링을 거친 이산신호(discrete signal)을 다루기 때문에 aliasing 효과에 주의를 기울여야 한다. 음성신호와 같은 일반적인 디지털 시스템에서는 샘플링 단계 전에 low pass filter를 사용하여 대역제한을 하여 aliasing을 사전에 방지하는 방식이 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 평판형 X-선 검출기에서는 기술적으로 대역제한을 하기가 어렵기 때문에 MTF측정시에 aliasing 효과를 상쇄시키기 위한 방법들이 제안되었다.[4-6] 이 연구에서는 Fujita 등이 제안한 방법[4,6]을 따랐다.

MTF 측정을 위하여 2 mm두께의 텅스텐 에지 팬텀을 제작하였다. 이 팬텀의 측정에 사용되는 모서리는 잘 연마되어야 한다. 측정 시에 6도 기울기로 검출기 표면에 놓이며 이 때 초과샘플 비율(oversampling rate)은 8이다. 이때 사용되는 촬영조건은 특성함수를 측정할 때에 사용된 것과 같은 조건을 사용한다. 얻어진 X-선 영상으로부터 ROI (Region of Interesting)부분에 대하여 ESF (edge spread function)를 구할 수 있다.[4] 이를 수치적으로 미분하면 LSF (Line Spread Function)를 얻을 수 있다. 이 LSF를 퓨리에 변환하여 MTF를 얻었다.

4. 양자검출효율(DQE, detective quantum efficiency)

DQE 측정은 IEC에 의해 제정된 국제규약[2]을 따라 수행되었다. 촬영조건은 RQA5조건을 사용하였으며, 다음과 같은 점들에 유의하여 측정이 수행되었다. 안정된 촬영을 위하여 촬영 시작 전에 1시간 정도 예열시간을 가져야 한다. 기준에서 게인 조정, 오프셋 조정, 화소 결점 수정은 허용되지만 그밖에 주파수 변환이나 화질을 개선하기 위한 작업들은 허용되지 않는다.

우선 특성함수 측정과 MTF 측정은 앞의 B절과 C절에서 설명한 대로 측정된다. 다음으로 NPS는 아래와 같이 수행된다.[2]

a) 어떤 시험용 팬텀 없이 영상은 획득되어야 하며 촬영조건은 특성곡선 촬영 시에 사용된 표준 조건을 사용한다. b) 각각의 측정영상에 대하여 2차원의 2차 다항식을 이용하여 경향성 제거를 수행한다. c) 128×128 픽셀영역에 대하여 절반씩 겹쳐서 분석을 수행한다. d) 각각의 영역에 대하여 식 (1)과 같이 2차원 푸리에 변환을 수행한 후에 제곱을 취한다. e) 결과의 평균값을 구한다.

$$NPS(u,v)=\frac{\Delta x\Lambda y}{M\cdot 128\cdot 128}\sum_{m=1}^{M}\left|\sum_{i=1}^{128}\sum_{j=1}^{128}(I(x_i,y_j)-S(x_i,y_j))\exp(-2\pi i(ux_i+vy_j))\right|^2 \quad (1)$$

식 (1)에서 x, y는 화소공간에서 각각 수평과 수직방향을 의미한다. M은 ROI의 개수다. $I(xi, yj)$는 선형화된 측정 데이터이다. $S(xi, yj)$은 필터된 2차원 다항식이다. 1차원 NPS는 2차원 NPS의 +/−5 행 및 열을 평균 내어서 사용한다.

DQE.의 계산은 다음과 같다.

$$DQE(f) = \frac{G^2 \cdot MTF^2(f) \cdot \Phi}{NPS(f)} \quad (2)$$

G는 검출기 게인이다. Φ는 검출기 입력에서 단위 면적당 투과하는 X-선 양자의 개수다.

5. 양자제한성능(quantum limited performance)

양자제한성능(quantum limited performance)은 X-선 검출기에서 얻어진 신호의 정밀도가 포아송 분포를 갖는 입사 X-선의 양자 잡음에 의해서 제한되는 정도를 의미하며 검출 시스템 전체의 잡음중에서 X-선 양자에 의한 잡음이 차지하는 비중을 알수 있다.

양자 제한(quantum limit)을 결정하기 위한 신호 대 잡음 측정규약은 아래와 같다.

첫째, 순차적으로 세기를 키워가면서 일련의 일정한 강도의 조사가 이루어진다. 이 연구에서는 최소 0.023 mR에서 최대 7.23 mR의 값이 사용되었다. 각각의 조건에서 2번의 영상이 촬영하여 한쌍으로 취급한다. 둘째, 각각의 영상쌍에 대하여 두 영상의 평균영상 및 두영상의 차이 영상에 대한 분산 영상을 식 (3), (4)와 같이 구한다.

a) Avg. Sig. = (image1＋image2)/2. (3)

b) Variance = variance (image1-image2)/2. (4)

분산영상의 1/2 승을 취하여 표준편차 영상 σ를 얻으며, 최종적으로 log(σ) 대 log (signal)에 대한 그래프를 그린다. 이 때 포아송 분포를 가정하였으므로 각각의 점들은 직선을 형성하여야 하며 기울기는 0.5에 가까워야 한다. 측정된 기울기가 0.5와 얼마나 가까운 가를 통해 양자제한성능을 구한다.

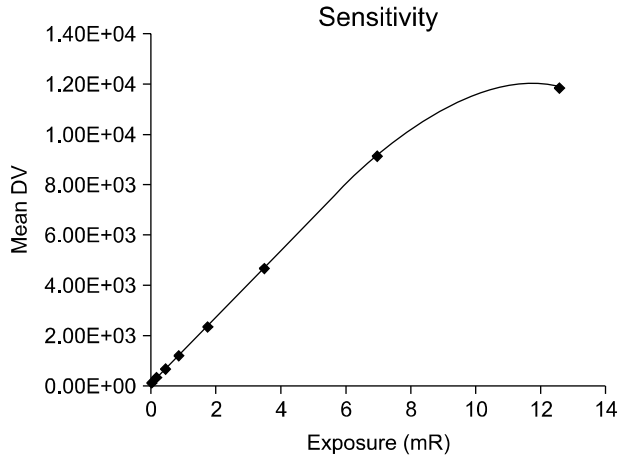

Fig. 2. Response characteristic of the developed detector is shown. The curve has linear response within 0.03～10 mR range, and become saturated over that range.

결 과

1. 응답특성

개발된 검출기의 응답특성은 Fig. 2와 같다. 일반적으로 사용되는 시스템은 선형시스템을 가정하고 있으므로 응답특성의 선형영역을 정의하는 것이 중요하다. 특히 DQE 측정은 특성함수의 선형 영역에서만 유효하다. 이 시스템에서는 선형영역이 약 0.03 mR에서 10 mR의 영역임을 알 수 있었으며, 이 구간에서 1297.1 Digits/mR의 기울기를 구할 수 있었다. 입사 조사량이 10 mR이상인 구간에서는 비선형적인 응답을 나타내었는데, 이는 제작된 검출기의 적층구조에 기인한다. 사용된 검출기는 하층부터 각각의 화소로 이루어지는 박막 트랜지스터 배열, 셀레늄 층, 절연체층, 전극의 적층 구조를 가지고 있다. X-선이 조사될 때에 전자와 정공 쌍들이 셀레늄 층에서 의해 형성되며, 전계에 의하여 정공은 화소 전극에 축적되고 전자는 셀레늄 층과 절연체 층의 계면에 축적된다. 이 때 계면에 쌓이는 전자들은 전극에 의해 생성되는 전계를 약화 시키며 약화된 전계는 X-선에 대한 민감도를 떨어뜨려 10 mR 이상의 신호에 대한반응이 포화되는 것을 보인다.

2. 변조전달함수

Fig. 3은 표준 스펙트럼을 사용하고 공기 커마 값을 1.74 mR으로 놓고 촬영 하였을 때의 X-선 영상 중에 에지 영상의 일부분을 8배 확대한 영상이다. 일반적으로 에지 각도를 2～3도 사이의 값을 사용하지만 직접방식 DR에서는 sub-sampling을 적게 하여도 MTF의 결과상에 별차이가 없으므로 6도의 기울기를 사용하고 있다.

Fig. 4는 Fig. 3으로부터 얻어진 edge spread function을 수치적으로 미분하여 얻어진 line spread function이다.

이 데이터를 퓨리에 변환을 이용하여 얻은 MTF를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5의 MTF그래프로부터 2.97 lp/mm의 Nyquist 주파수에서의 값이 65.7%임을 알 수 있다. 이 검출기는 셀레늄을 사용하는 여타 직접방식의 검출기와 같이 신호의 흩어짐이 없기 대문에 비교적 높은 MTF값을 유지한다. 이상적인 검출기의 경우 MTF는 sinc함수가 되는데 이 시스템의 MTF는 sinc 함수와 매우 가깝다.

Fig. 3. X-ray image of edge phantom used for MTF measurement . The phantom was tilted 6 degree in order to compensate aliasing effect in the measurement of MTF.

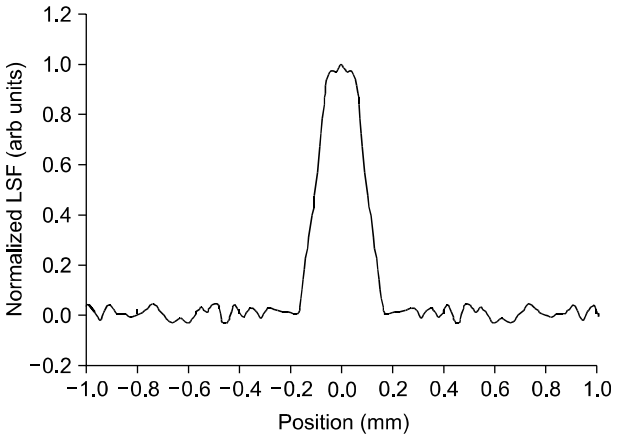

Fig. 4. Normalized line spread function obtained by applying a derivative of the line profile across the edge image of figure 3.

3. 잡음전력 스펙트럼(noise power spectrum)

특성함수를 구하기 위해 촬영한 영상 중에서 선형 구간에 있는 영상들을 이용하여 잡음전력 스펙트럼을 계산하였으며 결과는 Fig. 6과 같다. 전 주파수 대역에서 매우 균일한 잡음특성을 나타냄을 알 수 있다. 이는 직접방식 검출기의 일반적인 특성으로서 검출기 앞 단의 감응물질부에서 신호의 흩어짐에 의한 고주파 성분의 감쇠가 일어나지 않는다는 것을 시사한다.

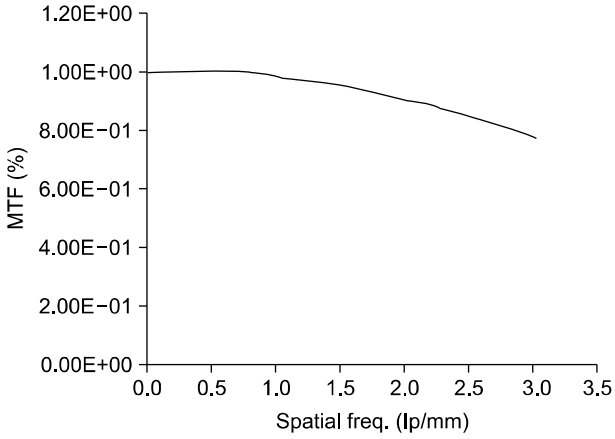

Fig. 5. Modulation Transfer Function obtained by taking Fourier transform of line spread function. The MTF value at Nyquist frequency (2.96 lp/mm) was 65.7% which was very close to the value of sinc function of ideal case.

4. 양자검출효율

DQE 측정은 특성함수에서와 같은 조건으로 0.03 mR부터 7.23 mR까지의 9가지 조건에 대하여 측정되었다. 168 um의 정사각형의 화소 사이즈를 가지고 있기 때문에 유효한 측정 영역은 Nyquist 주파수인 2.97 lp/mm까지이다. RQA5조건으로 촬영된 이 시스템은 최대 40%의 DQE값을 나타내었다. 여러 주파수에서의 DQE값을 그래프로 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 각각의 그래프는 오른 쪽에 보여지는 여러 air kerma 값에서의 결과이다.

Fig. 8은 최소 및 최대 주파수, 즉 0과 Nyquist 주파수인 2.97 lp/mm에서 여러 수준의 X-선 조사량에 대한 DQE측정값들을 그래프로 보여준다. 두 주파수 모두에서 입사 에너지량이 0.5 mR 이상이 되면 DQE가 거의 일정한 수준을 유지함을 알 수 있다.

5. 양자제한성능

양자제한 성능은 Fig. 9과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 피팅된 직선의 기울기는 0.458로서, 이상적인 경우인 0.5와 10%정도의 차이를 보였다. 따라서 잡음의 90%는 포아송 잡음에 의한 것으로서 양자잡음이 지배적이라고 할 수 있다. 양자잡음 외의 10%는 전자회로에서 발생하는 여타 노이즈의 영향에 기인한다는 것을 알 수 있다. 이 곡선에서 0.023 mR까지도 직선의 형태를 유지하고 있으므로 이 검출기는 0.023 mR이하에서 양자 제한되었다고 말할 수 있다. 이 값은 일반 촬영용도로서는 충분한 값이라고 말할 수 있는데, 이는 일반촬영의 X-선 조사량 대역이 0.03 mR에서 3 mR까

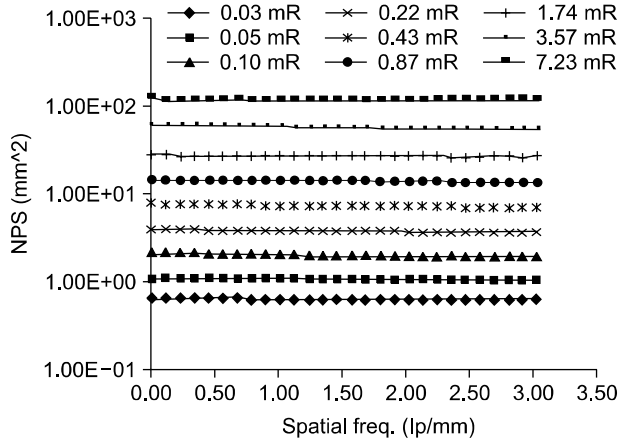

Fig. 6. Noise power spectrum of the developed detector. Noise power level remains very uniform over wide spatial frequency range, which indicates no spatial spread of X-ray quanta at energy transduction layer.

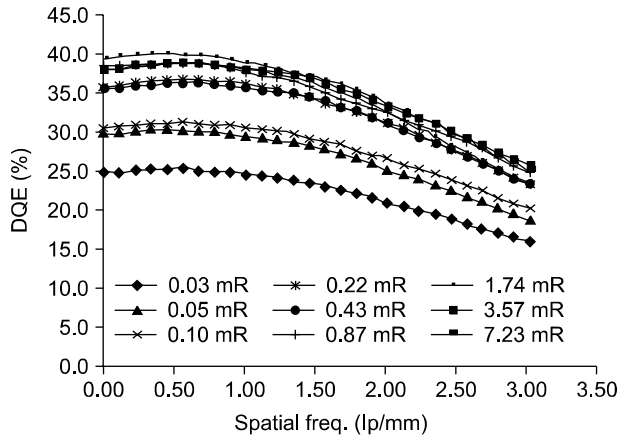

Fig. 7. DQE graphs over varying spatial frequency upto Nyquist frequency. Nine graphs correspond to DQE values measured with 9 different air kerma. Maximum DQE reached about 40%.

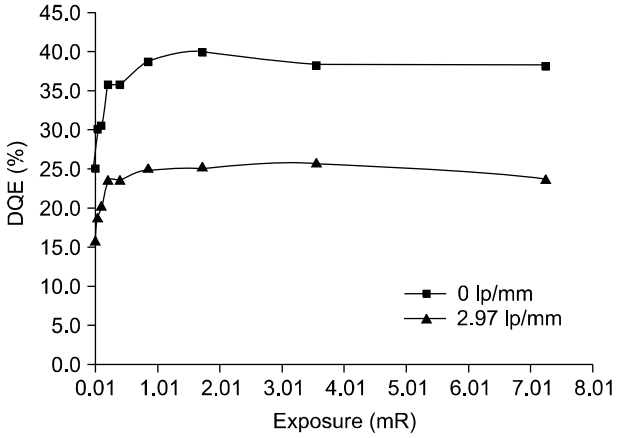

Fig. 8. Changes of DQE over various level of entrance exposure. At both low and high spatial frequencies, DQE reaches high range for entrance exposure levels over 0.5 mR

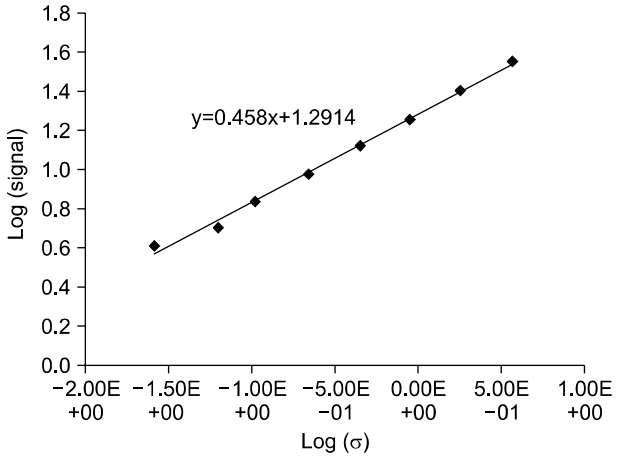

Fig. 9. A log (σ) vs. log (signal) graph shows quantum limited performance of the detector. The graph maintains linearity down to 0.023 mR, which indicates the detector is quantum limited by the entrance exposure below 0.023 mR.

지이기 때문이다.

토의 및 결론

디지털 X-선 촬영분야에서 종래에는 CR이 주종을 이루었으나, 최근에는 DR 장치의 가격대비 효용성이 향상되면서 국내외적으로 보급이 늘어나고 있다. 국내 산업계에서도 DR의 개발과 상용화가 늘어나고 있어 향후 그 보급은 더욱 늘어날 것으로 예상된다. DR 시스템의 평가와 선정에 있어서 객관적인 측정자의 활용은 일반화 되어 있고, 해외에서는 다양한 제품에 대한 평가 결과들이 논문으로 보고되고 있다. 그러나 국내에서 개발된 제품에 대해서는 저자들이 아는 한 아직 국제 규격에 따른 특성평가가 보고된 바 없다.

이 연구에서는 저자들이 개발한 직접방식 디지털 X-선 영상 검출기에 대해 국제표준으로 권고된 측정방법에 따라 특성을 평가하였다. 이 검출기는 이 연구에서 수행된 측정 결과를 바탕으로 미국 FDA에 의해 국내 최초로 직접방식 검출기로서 승인을 득한 바 있다. 이 논문에서 기술된 방법들과 결과들은 미국 FDA에 의해 검토되고 인정된 내용들

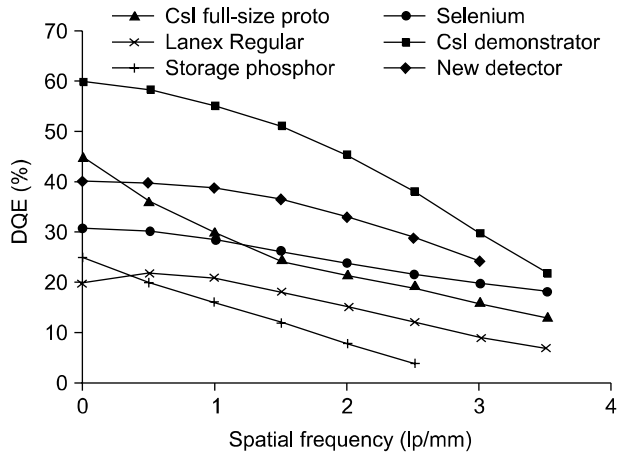

Fig. 10. DQE values of the various detector technologies are redrawn from the published data8) and compared with that of the New Detector, the exposure conditions are same as RQA5 condition.

이어서, 향후 국내 개발된 제품들에 대해 국제규격에 따른 영상특성 평가를 수행할 경우 참조로 활용될 수 있을 것이다.

영상특성평가 결과, 개발된 검출기의 DQE 값은 최고 40%의 수치를 가졌으며, Nyquist 공간주파수에서도 25%의 높은 수준을 유지함을 알 수 있었다.

기존의 일반 촬영용으로 개발된 직접/간접방식 DR, CR, 그리고 Film/Screen 등과 DQE 결과를 참고문헌에 나와 있는 그래프와 비교해 보면 측정 방식에 차이가 있으나 CR과 Screen/film 방식의 DQE (0)가 각각 25%, 20%인 것과 비교할 때 상당히 높은 수치를 가짐을 알 수 있었다. 해외 타사의 직접방식 제품과 비교할 때에도 비교제품의 DQE(0)가 32% 정도인 것에 비해 이 연구에 사용된 검출기가 높은 값을 나타내었다. 일부 간접방식 DR 제품의 DQE(0)가 60%를 상회하는 경우도 있으나 고주파영역에서는 낮은 MTF로 인하여 급격히 떨어지는 형태를 보이고 있고 제안된 제품의 DQE와 값이 역전되는 경우도 있음을 알 수 있었다.[7,8] Fig. 10은 참고문헌에 나와 있는 DQE 데이터와 Fig. 7에 제시된 DQE 데이터를 비교한 그래프이다.[8]

또한 MTF는 간접방식 DR, CR과 비교하면 매우 우월한 성능을 보이고 있고,[9] 셀레늄을 사용하는 직접방식 DR과 비슷한 수치를 보이고 있다.

또한 양자 제한된 특성을 평가한 결과, 0.023 mR 이하에서만 제한된 특성을 보여 일반촬영용도로서 적합성을 확인할 수 있었다.

향후에는 DQE를 향상시키기 위해서는 검출기의 중요한 부품인 TFT 기판, 광도전층 물질, 전하 증폭기에서의 전반적인 노이즈를 저감시키는 것이 필요하다. TFT의 데이터배선 용량 저감과 오프전류 저감, fill factor 향상과 광도전층의 감도 향상 암전류 감소와 전하 증폭기에 BiCMOS 공정채용으로 잡음감소를 꾀하고, 필터 채용 등을 통하여 한층 잡음 저감화가 이루어질 수 있다. 더불어 구동신호나 구동방식의 최적화, 게인 보정과 같은 영상 전처리 개선을 통하여 신호 대 노이즈 특성을 개선하는 방법 등이 가능할 것이다.

결론적으로 이 연구에서는 국내에서 개발된 직접방식의 디지털 X-선 검출기에 대해 국제규격에 따라 영상특성 평가를 수행했으며, 그 결과 얻어진 수치들을 통하여 기존 제품들과의 객관적인 비교와 우월점, 그리고 향후 개선방향 등을 도출할 수 있었다. 이 논문에서 제시된 방법과 결과들은 향후 유사 연구를 수행함에 있어 참조로서 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. **Lee DL, Cheung LK, Rodricks B, Powell G**: Improved imaging performance of 14 x 17-inch Direct Radiography TM System using Se/TFT detector. Proc. of SPIE, Medical Imaging 3336:14-23 (1998)
2. **IEC62220-1**: 2003, Medical Electrical Equipment Characteristics of Digital X-Ray Imaging Devices - Part 1: Determination of the Detective Quantum Efficiency.
3. **Granfors P, Aufrichtig R**: Performance of a 41x41-cm2 amorphous silicon flat panel x-ray detector for radiographic imaging applications. Med Phys 27(6):1324-1331 (2000)
4. **Fujita H, Tsai D, Itoh T, et al**: Simple Method for Determining the Modulation Transfer Function in Digital Radiography. IEEE Trans. On Medical Imaging 11(1):34-39 (1992)
5. **Dobbins III J**: Effects of under-sampling on the proper interpolation of modulation transfer function, noise power spectra, and noise equivalent quanta of digital imaging systems. Med Phys 22(2):171-181 (1995)
6. **Fujita H, Doi K, Giger M**: Investigation of basic imaging properties in digital radiography.1.MTFs of II-TV digital imaging systems. Med Phys 12(6):713-720 (1985)
7. **Hoheisel M, Arques M, Chabbal J, et al**: Amorphous silicon X-ray detectors. J. of Non- Crystalline Solids 227-230:1300-1305 (1998)
8. **Chaussat C, Chabbal J, Ducourant T, Spinnler V, Vieux G**: New CsI/a-Si 17" x 17" X-ray flat panel detector provides superior detectivity and immediate direct digital output and easy interfacing to digital radiographic systems. Proc. of SPIE, Medical Imaging 3336:45-56 (1998)
9. **Bunch P**: Comparison of high-MTF and reduced-noise radiographic imaging systems. Proc. of SPIE, Medical Imaging 2432: 67-95 (1995)

Image Quality Evaluation of Digital X-Ray Detector Using Amorphous Selenium Layer and Amorphous Silicon TFT Array

Chang-Won Kim*, Jeong Key Yoon*, Jong-Hyo Kim†

*DRTECH Corp, †Department of Radiology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

In this study, we have conducted characterization of imaging performance for a flat panel digital X-ray detector using amorphous Selenium and a-Si TFT which was developed by the authors. The procedures for characterization were in concordance with internationally recommended standards such as IEC (international electrotechnical commission). The measures used for imaging performance characterization include response characteristic, modulation transfer function (MTF), detective quantum efficiency (DQE), noise power spectrum (NPS), and quantum limited performance. The measured DQEs at lowest and highest spatial frequencies were 40% and 25% respectively, which was superior to that of commercial products by overseas vendor. The MTF values were significantly superior to that of CR and indirect type DRs. The quantum limited performance showed the detector was limited by quantum noise at the entrance exposure level below 0.023 mR, which is sufficiently low for general X-ray examination.

Key Words: X-ray, Detector, TFT, Imaging performance, Characterization, DQE