

## 이동형 디지털 X선 촬영장치의 구축 및 성능평가

연세대학교 보건과학대학 방사선학과, 보건과학연구소

조효민 · 김희중 · 남소라 · 이창래 · 정지영

최근 국내에서는 원거리에 있는 응급환자에 대한 원격의료서비스를 제공하기 위한 이동형 응급 의료 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구의 목적은 응급구조 차에 탑재 할 수 있는 이동형 디지털 X선 촬영 장치를 구축하고 시스템으로부터 획득한 영상에 대하여 영상 성능평가의 주요인자인 MTF (modulation transfer function), NPS (noise power spectrum) 및 DQE (detective quantum efficiency)를 정량화함으로써 응급상황 시 임상적으로 효용성 있는 영상의 획득 가능성을 평가하는 것이었다. 이동형 X선 장치(Mobix-1000; LISTEM, Wonju, Korea)와 디지털 X선 detector 시스템 (Alpha-R4000; Teleoptic PRA, Kyiv, Ukraine)으로 구축된 영상시스템에 대하여 성능평가를 수행하였다. 측정결과로 10% MTF는 2.4 cycles/mm를 나타내었고, DQE (0)는 조건선량 0.19, 0.5 그리고 1.3 mR에 따라 각각 54%, 55%, 그리고 76%로 측정되었다. 본 연구에서 획득한 영상평가 결과는 연구 중인 이동형 디지털 X선 촬영 장치의 응급 원격 의료에의 사용 가치를 확인 할 수 있는 기초자료로서 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

중심단어: 이동형 디지털 x-선 장치, MTF, NPS, DQE

### 서 론

정보의 디지털화가 급속히 진전되면서, 병원정보화 시스템(HIS), 의료영상 저장 및 전송 시스템(PACS)등과 같은 의료정보화시스템의 구축과 맞물려 디지털 X-선 촬영장치가 설치되지 않은 곳을 찾기 어려울 정도로 많이 보급되었다. 또한 고령화 사회로 변해가면서 원격의료서비스의 필요성이 대두되고 있다.

원격진료는 응급진료의 지역적, 시간적 한계를 극복하는데 도움을 줄 수 있으며 최근 국내에서는 최적화된 모바일 이동 통신 환경에 맞추어 수준 높은 원격의료서비스를 제공하기 위한 이동형 응급 의료 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 원거리에 있는 응급환자에 대한 효과적인 진료를 위해서는 병원 내 응급실의 응급의사가 미리, 혹은 실시간으로 응급환자의 정보를 전송받아 신속하게 의료진단이 이루어지도록 해야 한다. 현재 개발되고 있는 원격

진료시스템에는 여러 가지 멀티미디어 요소가 포함되어 있지만 실시간으로 원거리의 전문의에게 환자 정보가 전달되지 못하는 한계가 있다.

환자의 생체신호, 의무기록 등의 정보를 실시간으로 전송하는 것뿐만 아니라 응급구조 차에 이동형 디지털 X선 촬영 장치를 탑재하여 응급환자의 영상을 PACS를 이용하여 가까운 병원에서 미리 확인하게 된다면 환자의 응급조치에 효율성을 제공 할 것으로 기대된다.<sup>1)</sup>

이에 본 연구에서는 응급 구조 차에 탑재 할 수 있는 이동형 디지털 X선 촬영 장치를 구축하고 시스템으로부터 획득한 영상의 평가를 통해 영상평가의 주요인자인 MTF (modulation transfer function), NPS (noise power spectrum), 그리고 DQE (detective quantum efficiency)를 이용하여 정량적인 값을 도출함으로써 구축된 이동형 디지털 X선 촬영 장치가 응급상황 시 효용성 있는 임상영상의 획득가능성 여부를 평가해 보고자 하였다.<sup>2)</sup>

### 재료 및 방법

본 연구에서 이동형 디지털 X선 촬영 장치를 구축하기 위해 연동한 시스템은 이동형 X선 촬영 장치(Mobix-1000; LISTEM, Wonju, Korea)와 디지털 X선 detector 시스템 (Alpha-R4000; Teleoptic PRA, kyiv, Ukraine)으로써 구축한 .

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(02-PJ3-PG6-EV08-0001).

이 논문은 2007년 6월 6일 접수하여 2007년 9월 11일 채택되었음.

책임저자 : 김희중, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234번지 연세대학교 보건과학대학 방사선학과

Tel: 033)760-2475, Fax: 033)760-2815

E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

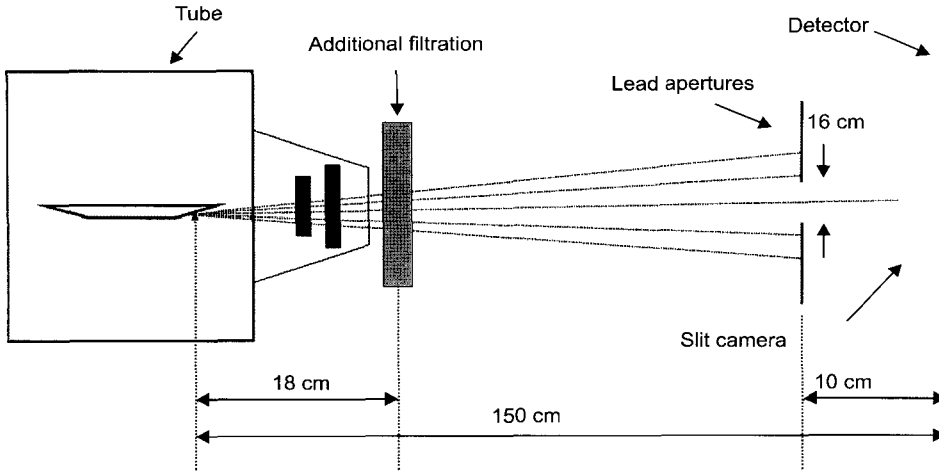


Fig. 1. Schematic diagram of the mobile digital radiography system in experimental setup.

시스템을 통해 얻은 영상을 이용하여 성능평가를 수행하였다. IEC 62220-1 표준규약<sup>3)</sup>에 따라 MTF, NPS, DQE등을 계산하여 detector 화질평가 실험을 수행하였고, 사용된 X선은 IEC 61267표준규약<sup>4)</sup>의 RQA 5 실험조건(Additional filtration: 2.5Al+21Al [mm], HVL: 7.1[mm]Al, kVp: 74, Eave: 54[keV])에서 정의된 평균에너지를 사용하였다(Fig. 1).<sup>5)</sup>

### 1. 변조전달함수(MTF)

디지털 X선 촬영장치의 해상도 특성은 영상 질 평가의 중요한 요소 중 하나이다.<sup>6)</sup> 피사체대조도에 대한 영상대조도의 비로 정의되어지는 변조전달함수는 어떤 영상시스템의 주파수응답을 나타내며 영상의 선예도를 평가하는데 많이 사용되어 진다. 이와 같이 변조전달함수는 영상시스템의 정량적인 분해능을 관측할 수 있고, 고주파 성분의 응답이 많을수록 선예도가 우수한 시스템이라고 평가한다.<sup>6)</sup>

여러 MTF 측정 방법 중 본 연구에서는 폭이 10 μm, 길이가 5.5 mm, 그리고 두께 1.5 mm의 텅스텐으로 만들어진 slit camera를 이용하였다(Fig. 2). Detector의 pixel간의 거리보다 더 미세한 sampling간격을 가지는 finely sampled LSF (Line Spread Function) 곡선을 구하기 위해 slit camera를 약간 기울여(2.5°) 영상을 획득하였다. 또한 산란을 최소화하기 위해 추가적으로 slit camera위에 납을 놓아 collimation 시켰다. 구한 LSF곡선을 식(1)과 같이 Fourier 변환하여 영상 시스템의 MTF를 구하였다.<sup>6,7)</sup>

$$MTF(f) = |FT\{LSF(x)\}| \quad (1)$$

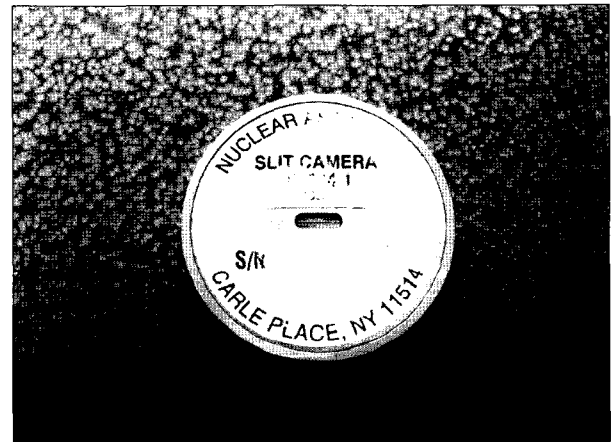


Fig. 2. Slit camera for MTF measurements.

### 2. 잡음력스펙트럼(NPS)

잡음력스펙트럼은 잡음의 공간주파수에 대한 의존도를 나타내며, 잡음의 분산 값 분포를 공간주파수 상에 표현한 것이다. 본 연구에서는 IEC표준규약에 따라 0.19 mR, 0.5 mR, 1.3 mR 조건에서 아무 물체 없이 flat-field영상을 획득하였다. 각 조건에서 8장의 영상을 획득하였고 이들을 평균하였다. 영상 중앙의 1,280×1,280 pixel을 ROI로 설정하고 각 ROI가 겹치도록 512×512 크기의 16개의 구역으로 나누었다. 각 분할영상을 식 (2), (3)을 이용하여 NPS를 구하였다.<sup>8)</sup>

$$NPS(u_n, v_k) = \lim_{N_x, N_y, M \rightarrow \infty} \frac{\Delta x \Delta y}{M \cdot N_x N_y} \sum_{m=1}^M \left\langle \left| \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} [I(x_i, y_j) - S(x_i, y_j)] \exp[-2\pi i(u_n x_i + v_k y_j)] \right|^2 \right\rangle \quad (2)$$

여기서  $I$ 는  $(x_i, y_j)$ 에서의 image intensity이고,  $S$ 는 전체적인 영상의 평균 intensity이다.  $N_x$ 와  $N_y$ 는 영상의  $x, y$ 축 pixel 수이다.  $\Delta x, \Delta y$ 는  $x, y$ 축에서의 pixel 크기이며,  $M$ 은 분할된 ROI의 수이다.

$$NPS_{normalized}(u,v) = \frac{NPS(u,v)}{(large\ area\ signal)^2} \quad (3)$$

3. 양자검출효율(DQE)

양자검출효율은 입력  $SNR^2$ 에 대한 출력  $SNR^2$ 의 비로 정의되며, 검출기 전체적인 SNR 성능을 나타내는 객관적인

매개변수이다. 즉, DQE는 신호 대 잡음비를 전달하는 검출기의 능력을 측정하는 것이다. MTF는 영상시스템이 신호를 얼마나 잘 처리하는지를 나타내는 지표이고, NPS는 영상시스템이 잡음을 얼마나 잘 처리 하는지를 알 수 있는 요소이다.<sup>6)</sup> 이러한 개념으로부터 DQE는 MTF와 NPS를 결합하여 설명 할 수 있음을 알 수 있고 이는 식 (4)와 같이 표현되어 진다.

$$DQE(f) = \frac{SNR_{output}^2}{SNR_{input}^2} = \frac{G \times MTF^2(f)}{q \times X \times NPS(f)} \quad (4)$$

여기서  $G$ 는 gain factor로써 normalized NPS를 사용함으로써 1과 같고,  $q$ 값은 X-선 스펙트럼을 이용하여 계산되어진다. 본 연구에서는  $q$ 값을 계산하기 위해 SRS-78 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 사용된 X-선의 스펙트럼을 획득하

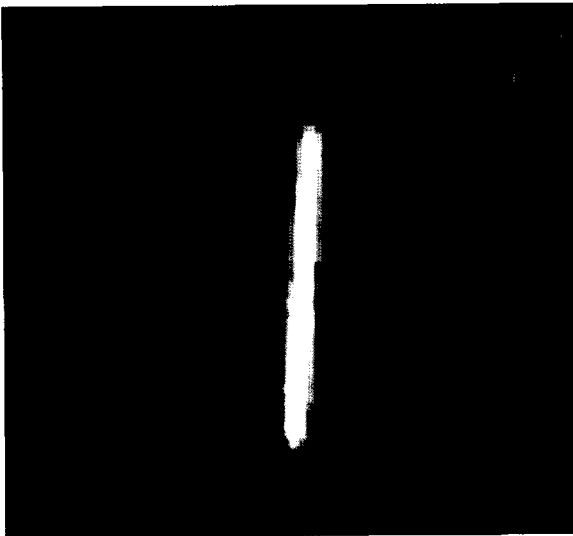


Fig. 3. Image of a slit camera for MTF calculation.

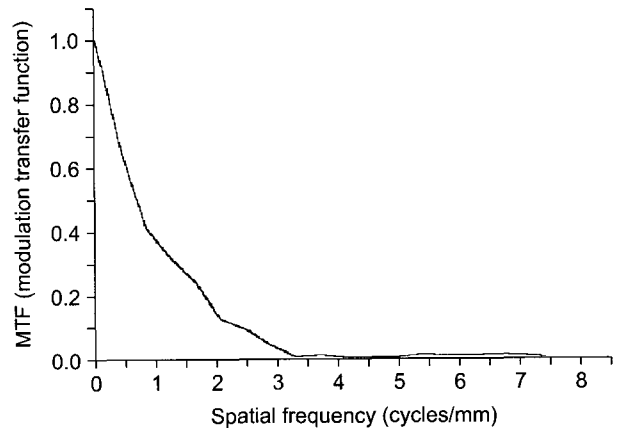


Fig. 4. MTF curves measured at RQA5 test condition.

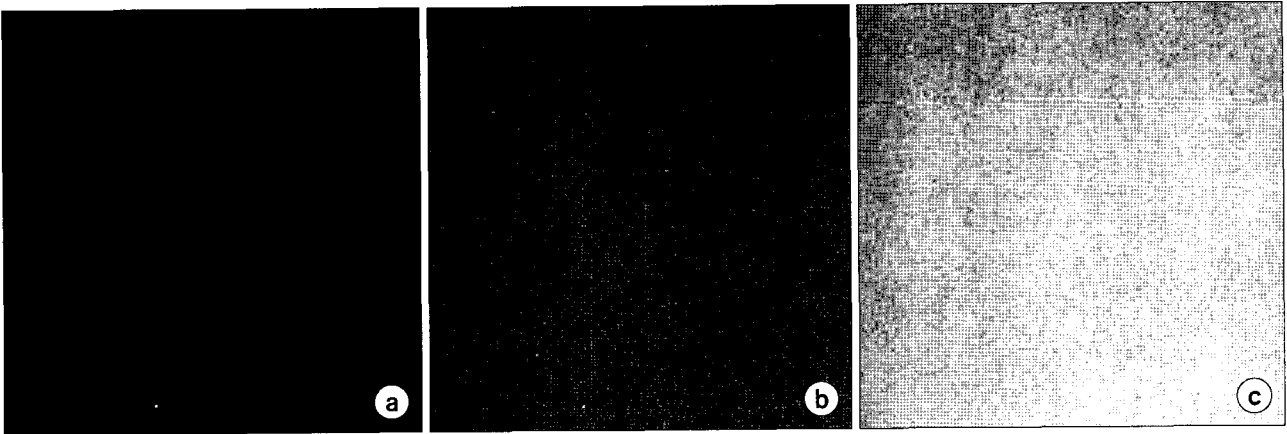


Fig. 5. 2D NPS images measured at IEC standard: (a) 0.19 mR, (b) 0.5 mR, (c) 1.3 mR.

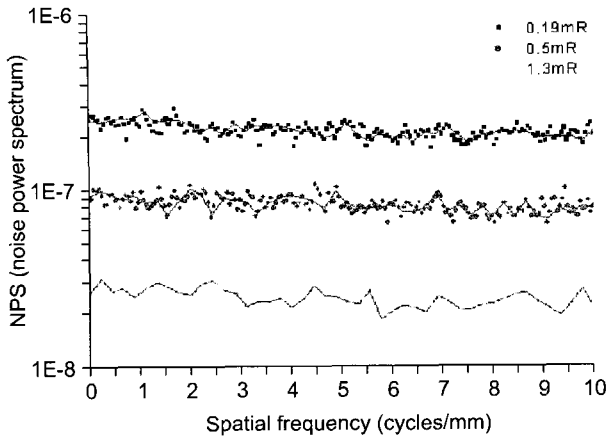


Fig. 6. NPS curves measured at RQA5 test condition.

였다. 스펙트럼을 이용하여 계산한  $q$  값은 261,147 photons/mm였다.

### 결 과

IEC 표준규약의 RQA5 실험조건에서 얻은 영상(Fig. 3)과 이 영상으로부터 획득한 LSF를 이용하여 최종적으로 계산된 MTF 곡선을 나타낸다(Fig. 4). 본 연구에서 평가하고자 했던 이동형 디지털 X선 촬영 장치에 대한 MTF 곡선 10% 응답에서의 공간주파수는 약 2.4cycles/mm로 측정되었다(Fig. 4).

IEC 표준규약에 따라 0.19 mR, 0.5 mR, 1.3 mR 조건에서 아무 물체 없이 획득한 flat-field영상(Fig. 5)과 각 선량 조건에 대해서 계산된 NPS 곡선을 나타낸다(Fig. 6). Fig. 6에서 나타난 바와 같이 고 주파수로 갈수록 점진적으로 감소하는 경향을 보임을 알 수 있고, 조건 선량이 증가 할수록 잡음이 감소됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 각 조사선량 0.19 mR, 0.5 mR 및 1.3 mR에서 계산된 DQE를 나타낸다. 공간 주파수가 증가 할수록 DQE 값은 감소하는 것을 알 수 있으며, 0~1 cycles/mm 영역에서 급격히 감소하였다. DQE(0) 값은 선량조건 0.19, 0.5, 그리고 1.3 mR에서 각각 54%, 55%, 76%로 측정 되었다(Fig. 7). 조사선량이 증가함에 따라 DQE 값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 조사선량이 많을수록 detector의 양자검출 효율이 증가함을 나타내는 것이다.

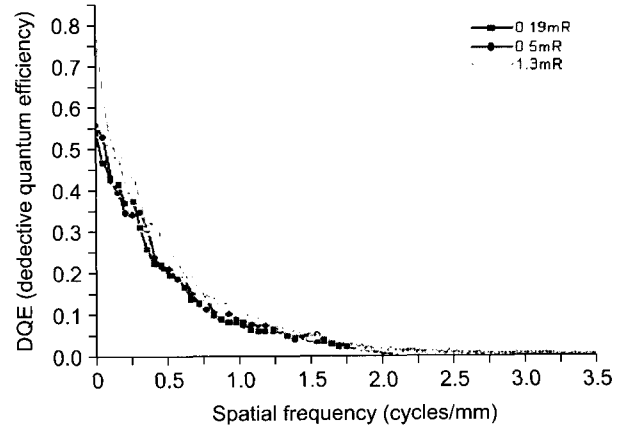


Fig. 7. DQE curves measured at RQA5 test condition.

### 고찰 및 결론

본 연구에서는 응급구조 차에 탑재 할 수 있는 이동형 디지털 X선 촬영 장치를 구축하고 시스템의 영상 성능평가를 통하여 응급상황 시 효율성 있는 임상영상의 획득 가능성 여부를 평가해 보고자 하였다. 이동형 디지털 X선 촬영 장치로부터 IEC 표준규약에 따른 RQA5 실험조건에서 X선 영상을 획득하고, 영상 성능평가 지표인 MTF, NPS, DQE를 계산하여 그 화질을 평가 하였다. 영상의 선예도를 나타내는 MTF는 응답 10%에서 2.41 p/mm로 측정되었다. IEC 표준규약에 따라 0.19 mR, 0.5 mR, 1.3 mR 선량 조건으로 측정된 NPS 곡선은 세 경우 모두 공간주파수가 증가할수록 점진적으로 감소함을 보였다. 또한 선량이 증가함에 따라 잡음이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 응급상황에서 발생률이 높은 흉부 손상의 경우, 대부분 120 kVp 3 mAs의 조건에서 촬영하며 이때의 선량은 약 17mR이므로 다른 환경의 영향이 없다고 가정하면 영상에 대한 잡음의 영향이 더욱 적을 것으로 예측할 수 있다. 최종적으로 앞에서 구한 MTF, NPS를 이용하여 전체적인 시스템의 성능평가를 DQE로 하였다. DQE는 DR 시스템의 양자 효율을 나타낸다. 본 연구에서 구축한 이동형 디지털 X선 촬영 장치의 DQE(0)값은 선량조건 0.19, 0.5, 그리고 1.3 mR에서 각각 54%, 55%, 그리고 76%로 측정되었다. 이를 통해 조사선량이 클수록 양자검출효율이 증가함을 알 수 있었다. 모든 조사조건의 0~1 cycles/mm 영역에서 DQE 값이 급격히 감소함을 보이는데, 이는 측정된 MTF값이 저주파 영역에서 급격히 떨어지기 때문이다. 본 연구에서 얻은 영상평가 결과는 응급구조 차에 탑재하기 위해 연구 중인 이동형 디

디지털 X선 촬영 장치를 실용화하기 위한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. 양건호, 장봉문, 한동훈 등: 모바일 컴퓨팅 환경을 위한 응급의료 영상정보 시스템 설계. 대한PACS학회지 12:8-13 (2006)
2. Park JK, Choi JY, Kang SS, et al: Development of 14"×8.5" active matrix flat-panel digital x-ray detector system and imaging performance. 대한방사선기술학회지 26:39-46 (2003)
3. International Electrotechnical Commission: Medical electrical equipment - Characteristics of digital X-ray imaging devices - Part 1: determination of the detective quantum efficiency. IEC 62220-1 (Geneva: IEC)(2003)
4. International Electrotechnical Commission: Medical diagnostic X-ray equipment - Radiation conditions for use in the determination of characteristics. IEC 61267 (Geneva: IEC)(1994)
5. Samei E, Flynn MJ, Ghotas HG, Dobbins JT III: DQE of direct and indirect digital radiographic systems. Proceedings of SPIE 4320:189-197 (2001)
6. 석대우: MTF, NPS, DQE 측정을 통한 비정질 셀레늄 기반 디지털 방사선 검출기의 성능 평가에 관한 연구. 인제대학교 대학원 석사학위 논문, 2004
7. Fujita H, Tsai DY, Itoh T, Doi K, Morishita J, et al: A simple method for determining the modulation transfer function in digital radiography. IEEE Trans Med Imaging 11:34-39 (1992)
8. Dobbins JT III, Samei E, Ranger NT, et al: Intercomparison of methods for image quality characterization. II. Noise power spectrum. Med Phys 33:1466-1475 (2006)

## Construction and Performance Evaluation of Digital Radiographic System

Hyo-Min Cho, Hee-Joung Kim, Sora Nam, Chang-Lae Lee, Ji-Young Jung

Department of Radiological Science, College of Health Science and Research Institute of Health Science, Yonsei University

Current digital radiography systems are rapidly growing in clinical applications. The purpose of this study was to evaluate the characteristics of a mobile digital radiographic system. The performance of the mobile DR system was evaluated by measuring the modulation transfer function (MTF), noise power spectrum (NPS), and detective quantum efficiency (DQE). Measurements were made on a LISTEM Mobix-1000 generator and a Teleoptic PRA Alpha-R4000 detector. Imaging characteristics were measured for these two systems using the IEC-61267 defined RQA5 (kVp: 74, additional filtration: 21 mmAl) radiographic condition. The MTF at 10% was measured as 2.4 cycles/mm and the DQE(0) values for radiation exposure 0.19, 0.5, and 1.3 mR were measured as 54%, 55%, and 76%, respectively. The NPS curves gradually decreased at high spatial frequencies. This high DQE at low frequencies, may be useful for low frequency information. The results suggested that mobile DR system could be integrated with emergency ambulance system in teleradiologic imaging applications.

**Key Words:** Mobile digital radiography system, MTF, NPS, DQE