

<원저>

유방영상에서 엣지를 이용한 물리적 영상 평가

- Evaluation of the Performance Characteristic for Mammography by Using Edge device -

¹⁾강동경희대병원 영상의학과·²⁾서울아산병원 영상의학과·³⁾백석문화대학교 방사선과
⁴⁾순천향대학교 의과학과·⁵⁾인제대학교서울백병원 영상의학과·⁶⁾원광보건대학교 방사선과·⁷⁾신구대학교 방사선과
김기원¹⁾·최관우²⁾·정희원³⁾·장서구⁴⁾·이을규⁵⁾·손순룡⁶⁾·손진현⁷⁾·민정환⁷⁾

— 국문초록 —

본 연구에서는 맘모그래피 장비에 대한 유지 보수에 대한 진단을 하는데 있어서 필수적인 정확성을 높이기 위해 edge방법을 이용한, 유방영상의 물리적 특성에 대해서 알아보려고 한다. International electrical commission standard IEC: 61267의 RQA-M2 방법에 의해서 변조전달함수(modulation transfer function: MTF), 잡음전력스펙트럼(noise power spectrum: NPS), 양자검출효율(detective quantum efficiency: DQE)등을 측정하였다. 결과는 selenia demensions의 tomo장비와 lorad selenia는 맘모 전향장비의 MTF는 10 mm⁻¹에서의 공간분해능을 유지하고 있었으며, NPS와 DQE는 낮은 nyquist frequency 포함하여 6.0 mm⁻¹까지 나왔다. 따라서 정확한 진단을 위하여 주기적인 맘모시스템의 유지보수가 필요하며, 본 연구는 DDR 맘모시스템의 QA 및 수행성능 평가에 기초가 될 것으로 생각된다.

중심 단어: 변조전달함수, 잡음전력스펙트럼, 양자검출효율

I. 서 론

맘모그래피는 스크린 필름 시스템에서 디지털 검출기로 변화되면서, 의료영상전송시스템(picture archiving communication system: PACS)의 발전과 함께 증가되어 왔다. 맘모그래피는 10 혹은 12 비트의 10 Mbyte정도의 용량을 가지며, 스크린 필름 시스템과 비교하여, 디지털 검출기들은 지속적인 대조도와 큰 다이내믹 레인지를 제공하며, 넓은 노출 조건의 다양성을 제공한다. 대개 기존의 맘모그래피 장비와 함께 사용되며, 저장 형광관을 이용하는 computed radiography (CR) 장비 또는 a-si 광전 다이오드 배열과 결합한 CsI 신틸레이터를 기반으로 한 평판형 판넬 시스템,

고체판 검출기(si)를 기반으로 한 직접 광자검출기, 마지막으로 얇은 필름 트랜지스터 배열인 a-Se의 광전도층을 기반으로 한 평판형 판넬 시스템이 대표적이라 할 수 있다.^{1,2)}

일반적으로 CR 장비는 낮은 공간분해능과 양자검출효율(detective quantum efficiency: DQE)때문에 유방 영상화에는 좋은 결과로 받아들여지지 않는다. 또한 대조도 공간분해능에 대해서 스크린 필름과 엄격하게 비교되어야 하기 때문에 신호대잡음비(signal to noise ratio: SNR)로 평가되어 왔다. 그러므로 디지털 맘모그래피는 직접적으로 객관적인 비교평가를 하기 위해서는 영상 수행성능 특성을 비교함으로써 영상화에 좋은 결과를 갖는 것이 매우 중요한 사항이다. 따라서 일반적으로 영상화의 기본적인 수행성

This study was supported by a grant (2016) from the department of Radiological Technology, The Shingu University.

Corresponding author: Jung-Whan Min, Department of radiology, Shingu University, 377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, 13174, Korea

Tel: +85-31-740-1361 / E-mail: pmpmpm@daum.net

Received July 28 2016; Revised 19 September 2016; Accepted 20 September 2016

과 측정은 변조전달함수(modulation transfer function: MTF), 잡음전력스펙트럼(noise power spectrum: NPS), 양자검출효율(detected quantum efficiency: DQE) 등이 있다³⁻⁵⁾. MTF 측정을 위해서 일반적이면서 단순한 구조와 다양한 이유에 의해서 선호되는 edge 방법을 이용하게 되었다. 또한 노이즈의 진폭을 측정하기 위해서 NPS 측정을 하였으며, 맘모그래피 장비의 영상화 수행성능을 묘사하는데 필요한 DQE가 필수적이며, International electrotechnical commission standard IEC: 61267의 RQA-M2 방법에 의해서 측정하였다⁶⁻⁹⁾.

본 연구에서는 맘모그래피 장비에 대한 유지 보수에 대한 정확한 진단을 하는데 있어서 필수적인 정확성을 높이기 위해서 edge 방법을 이용한 유방영상의 물리적 특성에 대해서 알아보려고 한다.

II. 실험방법

1. 맘모그래피 장비

맘모그래피 장비는 Hologic direct digital radiography (DDR: USA) 장비를 사용하였으며, selenia dimensions의 tomo 장비와 lorad selenia는 맘모 전형 장비로 두 가지 장비에 대한 물리적 특성을 알아보려고 하였다. Hologic selenia는 a-Se/TFT switch를 사용하고 있으며, pixel matrix는 3328 × 4096이다. Selenia dimensions 장비의 pixel size는 0.065 mm이며, lorad selenia 장비의 pixel size는 0.070 mm이다. 타겟과 필터는 Mo/Mo를 사용하였으며, 튜브 관전압 범위는 22~29 kVp이며, 거리는 660 mm에서 측정되었다. Figure 1은 실험장비에 대한 모든 부분을 설명한다.

2. 측정방법

International electrotechnical commission standard IEC: 61267의 RQA-M2가 측정에 적용되었으며(filter thickness 0.032 mm, nominal X-ray tube voltage 28 kV, HVL 0.60 mmAl, added filter 2 mm)이다. X선관 초점으로부터 맘모장비 디텍터 표면까지의 거리는 660 mm이며, 부가 필터 21 mmAl을 사용하였다(Figure 1).

MTF 측정은 Fujita et al. 이 기술한 pre-sampled MTF 방법으로 수행하였다¹⁰⁾. MTF는 검출기의 분해 능력을 기술한다. MTF는 검출기의 비교적 큰 샘플링 간격으로 인한 aliasing을 피하기 위해 slant-edge (2~3°) method를 사

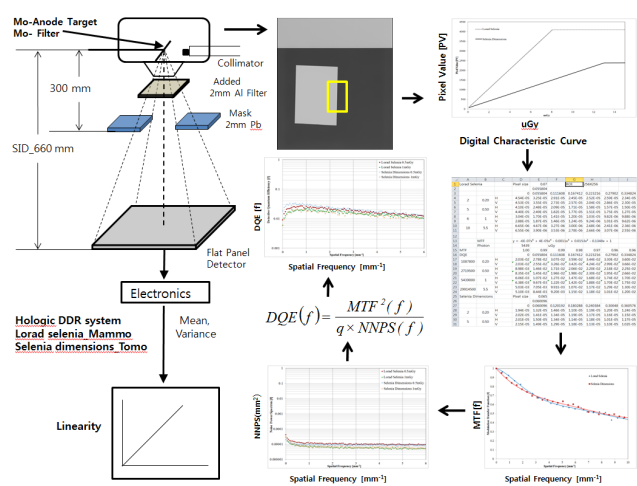


Figure 1 1-D profile of the X-ray signal obtained at the boundary's surface of the edge platform mammography. Ideally, the signal should be a linearity, as indicated by the solid linearity line. MTF, NPS and DQE flowchart of the overall procedures. When measuring the ESF, the profile of the edge is normalized profile. We obtained the response function with the real edge image by using an edge device. The MTF was computed by performing a fast Fourier transfer (FFT) of the LSF and normalizing. The one-dimensional NPS was expressed by averaging the axis direction from the bandwidth of the two dimensional NPS space. The DQE was evaluated from the measured MTF and NPS

용하여 측정하였다. 이는 pixel 과 pixel의 구분을 위해서 물리적으로 측정하기 위한 방법으로 고안된 방법이다. 또한, 획득된 edge spread function (ESF)는 line spread function's (LSF's)를 획득하기 위해 미분되었다. 여기에서 ESF는 데이터를 표현하기에 부족함이 있다. 따라서 근접한 데이터를 알기위한 방법으로는 미분을 통한 LSF를 구하는 것이 좋은 방법의 예라고 하겠다. 원래의 edge line에 수직 방향에서 MTF는 LSF의 fast Fourier transfer (FFT)를 수행하고 영점 주파수에서 그것의 값을 통합하기 위해 정규화 시킴으로써 산출되었다. 여기에서 보여주는 FFT의 개념은 K-space에서 보여주는 저주파와 고주파의 관계를 보여주는 것과 같다고 생각하면 될 것이다.

NPS는 공간주파수의 함수로써 노이즈 진폭에서 변화를 측정하고 영상에서 노이즈와 공간분해능 점유들을 형성한다. 우리의 quality assurance (QA) 알고리즘에서 사용된 NPS 스펙트럼 방법은 Figure 1에서 보여지며, NPS 측정의 정규화를 위한 IEC: 61267의 RQA-M2 선속 품질을 사용하여 측정을 하였다. 그리고 NPS를 평가하기 위해 white 영

상들은 direct detector에 피사체 없이 조사함으로써 획득되었다. DQE는 MTF, normalized NPS (NNPS), 그리고 다음 식(1)을 사용해서 단위 면적 ϕ 당 X선 광자 입사의 평균 숫자 측면에서 시스템에 대한 노출로 산출된다.

$$DQE = \frac{MTF^2}{\phi NNPS} \quad \cdot \text{Eqs. 1}$$

여기에서 중요한 부분은 NPS에 대한 내용이다. 피사체 없이 조사를 하기 때문에 Heel effect와도 연관이 있다. 여기에서는 조사된 영상을 FFT해서 주파수영역대에서의 평가를 하기 위함이며, 이때 MTF 표현방법인 주파수와 같은 K-space와 같은 저주파수와 고주파의 관계로 나타내게 된다. 결국에는 같은 주파수대에서 MTF는 분해능을 NPS는 주파수대의 노이즈를 생각하면 된다. 따라서 위 공식에서와 같이 DQE를 표현하기 위해서는 같은 주파수대별로 나누어 주면 DQE 그래프로 표현되게 된다. 그러므로 효율에 관련된 DQE의 그래프가 완성하게 된다.

III. 결 과

1. 디지털 특성곡선

맘모 data file은 영상 분석을 위한 영상화 워크스테이션으로부터 PACS 서버로부터 변환되어진 영상을 사용하였다. PACS로 부터 digital image communicated of medicine (DICOM) 파일 기준으로 크게 장점이 내 세워지는 반면, DICOM 파일의 영상들은 정량적 수행에 대한 객관적 연구 환경에서는 덜 유용하게 만드는 다양한 header들을 가지고 있다. 그러므로, DICOM 영상들을 이용함에 있어서도 신중히 접근하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 아래 그림은 디텍터의 response 함수를 보기 위한 그림으로 selenia demensions의 tomo장비와 lorad selenia는 맘모 전형장비의 R²값은 1에 가까운 선형성을 가지고 있음을 볼 수 있다(Figure 2). 또한, 조사선량에 대한 (mGy) pixel value 값은 선형성을 가지면서 증가하는 모습을 보고 있다.

2. 변조전달함수

영상처리 과정을 포함한 DICOM 파일을 사용하였다. Edge 방법인 MTF에서 ESF, LSF, windowing 함수 같은 것들이 결과에 영향을 미치는 이유이기도 하다. Figure 3은 sampling MTF의 10%와 50%의 공간주파수들을 보여준다.

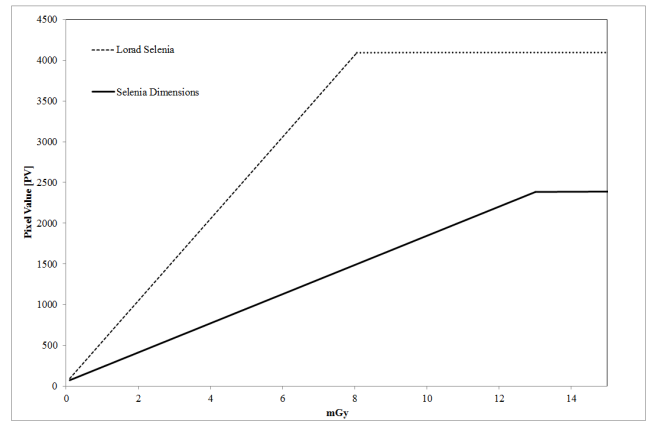


Figure 2 The R² value close to 1 shows stabilized linearity of the system.

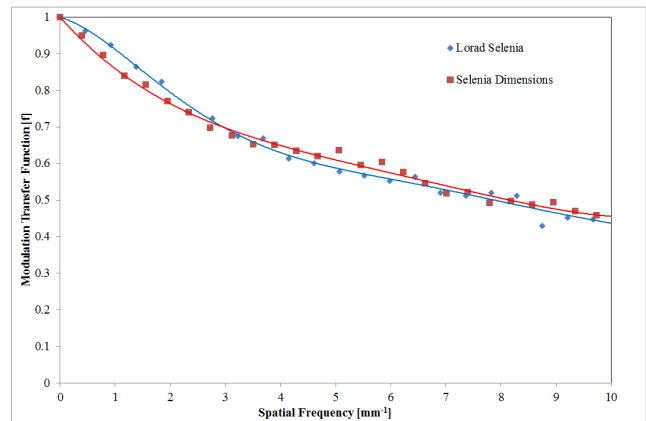


Figure 3 MTF curves for the DDR detector using the edge device for MTF 50% and 10%

맘모장비의 sampling MTF의 결과들을 보면 근소한 차이는 있다. 저주파수대에서는 lorad selenia 맘모 전형장비가 selenia demensions의 tomo장비를 근소한 차이로 높아져 있지만, 고주파수의 공간주파수에서는 근소한 차이로 selenia demensions의 tomo장비들의 MTF는 10 mm⁻¹에서의 공간분해능을 유지하고 있음을 볼 수 있다.

3. 잡음전력스펙트럼

Figure 4는 selenia demensions의 tomo장비와 lorad selenia는 맘모 전형장비의 DDR 검출기들에서 각각의 방향에 NPS profile들과 NPS에서의 추가적인 gaussian 잡음의 효과를 나타낸다. 각각의 DDR 시스템의 NPS는 낮은 nyquist frequency 포함하여 6.0 mm⁻¹까지 나왔으며, 주로 0.0001~0.00001 사이에 분포한다. 주파수가 증가하여도 비교적 균일한 모양을 하고 있으며, 두 가지 맘모 장비에서의 서로 다른 선량을 비교해 보았을 때 약간의 근소한 차

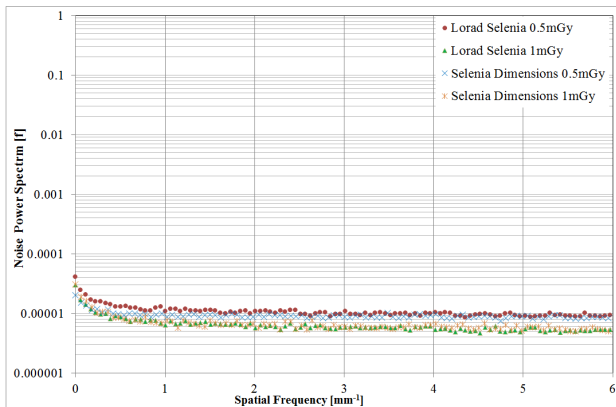


Figure 4 NPS spectrum of the DDR detector using IEC overlapping method

이로 노이즈 분포를 보였다. 각각의 노이즈 분포는 lorad selenia 1 mGy가 가장 낮은 노이즈 분포를 보였으며 selenia dimensions 1 mGy, selenia dimensions 0.5 mGy, lorad selenia 0.5 mGy순으로 높은 노이즈 분포를 나타내었다. 여기에서 노이즈에 대한 내용 보면 노이즈가 작으면 작을수록 좋은 결과를 보여준다고 할 수 있다. 따라서 lorad selenia 1 mGy가 가장 낮은 노이즈 분포로 좋은 결과값을 보여주고 있다.

4. 양자검출효율

Figure 5는 0.8 mm^{-1} 에서 두 가지 mammo 장비에서의 서로 다른 선량을 비교했던 DDR 검출기들의 peak DQE를 보여준다. Peak DQE는 selenia dimensions 0.5 mGy는 0.032, lorad selenia 0.5 mGy는 0.029, lorad selenia 1 mGy는 0.022, selenia dimensions 1 mGy가 0.019로 가장 좋은 Peak DQE 수치를 보였다. 그리고 selenia dimensions 0.5 mGy는 0.032로 가장 높은 peak DQE수치를 나타내었다. 1 mm^{-1} 에서의 DQE는 peak DQE수치와 마찬가지로 같은 경향성을 보이고 있음을 그림을 통해서 볼 수 있다. 각각의 DR 시스템의 DQE는 낮은 nyquist frequency 포함하여 6.0 mm^{-1} 까지 나왔으며, 주로 $0.1 \sim 0.01$ 사이에 분포한다.

IV. 고찰 및 결론

Selenia dimensions의 tomo장비와 lorad selenia는 mammo 전형장비의 R^2 값은 1에 가까운 선형성을 가지고 있다. 이는 장비의 선형성으로 주기적인 검사를 할 수 있는 근거를 마련하게 되었다. 또한 두 장비의 저주파수대와 고주파수대

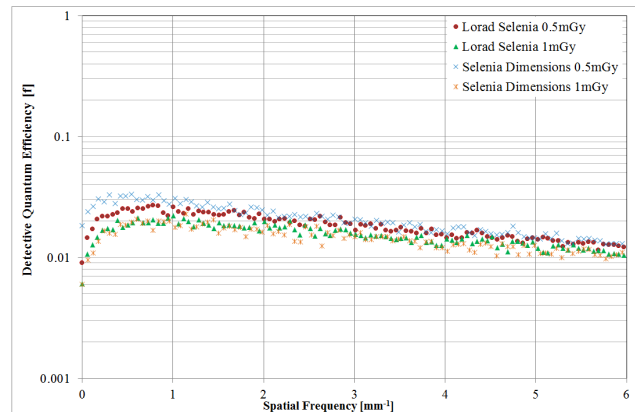


Figure 5 DQE was evaluated by using the measured MTF and NPS. Our DDR detectors indicated high peaks at low spatial frequency whereas they indicated a decreasing aspect for frequencies greater than 0.8 mm^{-1}

의 공간분해능 차이는 조금 있지만, MTF값은 10 mm^{-1} 에서의 공간분해능을 유지하고 있음을 볼 수 있다. 이런 이유는 두 장비의 물리적인 pixel pitch인 0.065 mm 와 0.070 mm 에 비해서도 $50 \mu\text{m}$ 의 pixel pitch로 유지한다는 좋은 결과를 보여주는 대목이다. NPS와 DQE는 낮은 nyquist frequency 포함하여 6.0 mm^{-1} 까지 나왔다. 특히 NPS에서는 lorad selenia 1 mGy가 가장 낮은 노이즈 분포로 좋은 결과값을 나타내었다는 것은 선량에 서로 노이즈의 관계가 있음을 알 수 있다. 이 또한 두 장비의 조건설정에 따르는 다소간의 차이는 있지만, 디지털 유방영상장치의 IEC: 61267의 RQA-M2기준에 맞는 좋은 결과를 얻었다고 할 수 있다. 다만, 2005 Carton A K 등의 논문과의 비교를 하면, raw 데이터에 의한 정량적인 평가가 이루어졌다는 점에서 비교 대상이 될 수 없음을 알 수 있으며, 그 외적인 논문에서도 비교대상이 될 수 없음을 알 수 있다. 본 논문에서는 DICOM 파일을 이용해서 측정을 하였기 때문에 차이가 분명히 있을 것이라 생각이 된다. 또한 2006 Jung-Min Kim, 2012 Hoi-Woun Jeong, 2016 Ki-Won Kim 등의 논문에서는 각기 다른 장비로 특성평가를 하였으므로 비교 대상이 될 수 없었으며, 주목할 만한 것은 DICOM 파일을 이용해서 특성방법을 설명하였다는데 의의를 들 수 있다. 또한, 특성방법의 전반적인 설명과 정량적인 평가 결과값을 제시하였다는데 있다.

mammo영상에서의 여러 가지 특징들 중에서 산란선과 대조도의 관계도 포함된다. 첫 번째는 유방과 디텍터 사이에는 빈 공간이 존재하게 되어 있다. 이유로는 피사체로부터의 산란선은 빈공간의 감소로 인해 줄어든다. 빈공간의 감소는 대조도를 증가시키지만 영상의 공간분해능을 감소시킨

다. 따라서, 성능저하에 대한 장비에 대하여 특별한 원인으로 인한 성능저하까지 정량적인 평가로 확인하는 것이 우선이다. 그러므로 장비의 물리적 특성을 정기적으로 실시하여 장비의 성능저하를 체크해 보는 것이 바람직 할 것이다. 또한, 두번째로는 디지털 확대 유방촬영술은 디지털 유방촬영의 미세석회화를 진단하는데 널리 사용되고 있다. 여기에서 확대에 의해 증가된 기하학적 불선예도를 줄이기 위해 소초점을 사용하게 되는데 확대율이 증가함에 따라 기하학적 불선예도가 증가하고 공간분해능은 감소한다. 유방은 디텍터 위에 고정된 standard support platform 위에 위치된다, 그렇기 때문에 유방과 디텍터 사이에는 빈 공간이 존재하게 된다. 디지털 확대 유방촬영에서는 일반적으로 1.5에서 2.0 사이의 확대율이 쓰이고 있다. 따라서, 피사체로부터의 산란선은 빈공간의 감소로 인해 줄어든다. 빈 공간의 감소는 대조도를 증가시키지만 영상의 공간분해능을 감소시키는 이유이다.

본 연구에는 몇 가지 제한점을 가지고 있는데, 제한점으로 변조 전달 함수 (MTF)는 영상장비에서의 공간분해능을 특성 짓는데 가장 일반적으로 사용되고 있는 측정법이지만, 피사체에서 기인한 산란선과, 초점 흐림, 기하학적 확대율에 의한, 실질적 성능에 반영하지 못한 점 등의 한계점을 가지고 있기 때문이다. 그리고 DICOM 파일의 영상들은 정량적 수행에 대한 객관적 연구 환경에서는 덜 유용하게 만드는 다양한 header들을 가지고 있다. 그러므로, DICOM 영상들을 이용함에 있어서도 신중히 접근하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

주기적인 성능평가를 위해서 맘모장비의 재현성과 직선성 그리고 정량적 평가방법을 생각하여 주기적인 관찰이 필요할 것을 사료된다.

내용을 종합해보면, 몇 가지 제한점을 가지고 있지만, 정확한 장비의 성능을 평가하고 진단하기 위하여 주기적인 맘모장비의 유지보수가 필요하며, 본 연구는 DDR 맘모장비의 QA 및 수행성능 평가에 기초가 될 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Carton A K, Vandenbroucke D, Struye L, Maidment A D, Kao Y H, Albert M, Bosmans H and Marchal G: Validation of MTF measurement for digital mammography quality control, *Medical Physics*, 32, 1684-1695, 2005
2. Jung-Min Kim, Jung-Whan Min, Hoi-Woun Jeong et al: Correction Method of slit Modulation Transfer function on Digital Medical Imaging System, *Journal of Radiological Science and Technology*, 29(3), 133-139, 2006
3. Hoi-Woun Jeong, Jung-Whan Min, Jung-Min Kim et al: Performance characteristic of a Cs I (TI) Flat panel detector radiography system, *Journal of Radiological Science and Technology*, 35(2), 109-117, 2012
4. Soon-Yong Son, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Measurement of Image Quality According to the Time of Computed Radiography System, *Journal of Radiological Science and Technology*, 38(4), 365-374, 2015
5. Ki-Won Kim, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Evaluation of the Modulation Transfer Function for Computed Tomography by Using American Association Physics Medicine Phantom, *Journal of Radiological Science and Technology*, 39(2), 193-198, 2016
6. Sawant A, Antonuk L E, El-Mohri Y: Slit Design for Efficient and Accurate MTF Measurement at Megavoltage X-ray Energies, *Medical Physics*, 34, 1535-1545, 2007
7. Dobbins III J T, Samei E, Ranger N T and Chen Y: Intercomparison of methods for image quality characterization, II. Noise power spectrum, *Medical Physics*, 33, 1466-1475, 2006
8. Dobbins J T, Ergun D L, Rutz L, Hinshaw D A, Blume H and Clark D C: DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices, *Medical Physics*, 22, 1581-1593, 1995
9. IEC (International Electrotechnical Commission) 2003 Medical electrical equipment - Characteristics of digital x-ray imaging devices: IEC 61267 (Geneva: IEC)
10. Fujita H, Tsai DY, Itoh T, Doi K, Morishita J, Ueda K, et al: A Simple Method for Determining the Modulation Transfer Function in Digital Radiography, *IEEE Trans Medical Imaging*, 11, 34, 1992

•Abstract

Evaluation of the Performance Characteristic for Mammography by Using Edge device

Ki-Won Kim¹⁾·Kwan-Woo Choi²⁾·Hoi-Woun Jeong³⁾·Seo-Goo Jang⁴⁾·Eul-Kyu Lee⁵⁾
Soon-Yong Son⁶⁾·Jin-Hyun Son⁷⁾·Jung-Whan Min⁷⁾

¹⁾Department of Radiology, Kyung Hee University Hospital at Gang-dong

²⁾Department of Radiology, Asan Medical Center

³⁾Department of Radiological Technology, The Baekseok Culture University

⁴⁾Department of Medical Science, The Soonchunhyang University

⁵⁾Department of Radiology, Inje Paik University Hospital Jeo-dong

⁶⁾Department of Radiological Technology, The Wonkwang Health Science University

⁷⁾Department of Radiological Technology, The Shingu University

The purpose of this study was to evaluation of the performance characteristic for mammography by using edge device that mammography equipment improves essential in the correct diagnosis for the maintenance. We measured the modulation transfer function (MTF), the noise power spectrum (NPS), and the detective quantum efficiency (DQE) using the 61267 RQA-M2 based on commission standard international electro-technical commission (IEC). As a results, spatial resolution of elenia demensions tomo and lorad selenia mammography were maintained at 10 mm^{-1} and NPS and DQE including the low nyquist frequency indicated to 6.0 mm^{-1} . Therefore, regulary QA of mammography system should be necessary. This study can be contribute to evaluate QA for performance characteristic of mammography of DDR system.

Key Words : Modulation transfer function (MTF), Noise power spectrum (NPS), Detective quantum efficiency (DQE)