

# Evaluation of Image Quality & Absorbed Dose using MCNPX Simulation in the Digital Radiography System

Hyeon An,<sup>1</sup> Dongyeon Lee,<sup>2</sup> Sungjin Ko,<sup>3</sup> Changsoo Kim<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Inje University Pusan Paik Hospital

<sup>2</sup>Department of Radiation Oncology, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences

<sup>3</sup>Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: June 25, 2016. Revised: August 15, 2016. Accepted: August 31, 2016.

## ABSTRACT

The study is enforce to study image quality evaluation of condition provide the IEC and combination of clinical conditions each quality of radiation that image quality to assess the conditions provided to IEC in the clinical environment to conduct image quality assessment of the digital radiography system in the detector have environmental limits. First, image quality evaluation was evaluated by measuring the MTF, NPS using four quality of radiation and Using MCNPX simulation lastly DQE make a image quality evaluation after calculating the particle fluence to analyze spectrum quality of radiation. Second, Using MCNPX simulation of four quality of radiation was evaluated absorbed dose rate about electronic 1 per unit air, water, muscle, bone by using Radiation flux density and energy, mass-energy absorption coefficient of matter. Results of evaluation of image quality, MTF of four quality of radiation was satisfied diagnosis frequency domain 1.0 ~ 3.0 lp/mm of general X-ray that indicated 1.13 ~ 2.91 lp/mm spatial frequency. The NPS has added filter, spatial frequency 0.5 lp/mm at standard NPS showed a tendency to decrease after increase. Unused added filter, spatial frequency 0.5 lp/mm at standard NPS showed a certain NPS result value after decrease. DQE in 70 kVp / unuesd added filter(21 mm Al) / SID 150 cm that patial frequency 1.5 lp/mm at standard showed a tendency to decrease after certain value showed. Patial frequency in the rest quality of radiation was showed a tendency to decrease after increase. Results of evaluation of absorbed dose, air < water < muscle < bone in the order showed a tendency to increase. Based on the results of this study provide to basic data that present for the image quality evaluation method of a digital radiation imaging system in various the clinical condition.

Keyword: Digital Radiography System, MTF, NPS, DQE, Particle fluence, Absorbed dose

## I. INTRODUCTION

X선은 1895년 Wilhelm Conard Roentgen에 의해 처음 발견된 이후, X선은 현대 의학에서 일반 X선 영상, 전산화 단층촬영(Computed Tomography, CT), 투시 X선 촬영, 방사선 치료, 핵의학 분야까지 널리 사용되고 있다.<sup>[1]</sup> 디지털 방사선영상시스템(Digital Radiography System)의 개발은 임상응용에서 검출기의 성능을 확인하기 위한 정량적인 측정은 필수적이다.<sup>[2]</sup> 1990년대 후반부터 여러 가지 디지털 평판형 검출기(Digital Flat Pa-

nel Detector)가 개발되면서 그 특성들을 측정하고 비교하는 작업들이 진행되었으며,<sup>[3-4]</sup> 디지털 방사선영상시스템에서 영상품질 평가는 변조전달함수(Modulation Transfer Function, MTF), 잡음력 스펙트럼(Noise Power Spectrum, NPS), 양자검출효율(Detective Quantum Efficiency, DQE)로 평가한다.<sup>[5]</sup> MTF란 영상시스템의 해상력의 척도로 공간주파수의 함수로 표현된 피사체 대조도와 영상시스템에 의해 획득된 영상 대조도의 비로 나타내어진다.<sup>[6-7]</sup> MTF는 영상 시스템의 정량적인 해상 특성을 평가하는 지표로써 주파수전달함수로 표현된다.

디지털 방사선 촬영장치의 주파수 응답 특성을 살펴보면 여러 가지 주파수의 정현파(X선 강도분포)를 디지털 방사선 촬영장치에 적용하면, 주기는 같지만 진폭이 저하되는 것과 같은 정현파 영상이 얻어진다. 정현파형의 입력과 출력정현파의 진폭비를 구해 공간주파수의 함수를 나타낸 것이 MTF이다. NPS는 영상 시스템에서 발생하는 신호의 불확실성과 부정확도를 공간주파수상의 분포로 나타낸 것이다.<sup>[8]</sup> DQE는 최종 영상 중에서 실제의 X선 데이터가 얼마나 포함되어 있는가, 또는 신호와 노이즈 양쪽의 변환율은 얼마인가를 측정하는 것이다.<sup>[9]</sup> 높은 DQE를 가지는 디지털 방사선영상시스템은 낮은 선량으로 향상된 품질의 의료영상을 획득할 수 있다는 것이며, 환자의 X선 피폭선량을 줄일 수 있음을 의미한다.<sup>[10]</sup> DQE 측정을 위한 영상 촬영 전에 이와 같은 가동조건들의 표준화가 반드시 이루어져야 객관적인 성능평가가 가능하다. 디지털 방사선영상시스템의 Detector 특성에 대한 객관적 평가항목인 MTF, NPS, DQE 평가를 위해 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission, IEC)에서는 IEC 62220-1, 61267 영상평가 표준을 권고 하고 있다.<sup>[11-12]</sup>

디지털 방사선영상시스템의 영상품질평가를 위해 IEC에서 제시하고 있는 방법은 실제 임상에서 적용하기에는 차이가 있다. 이에 본 연구에서는 실제 임상조건에서 적용 가능한 영상품질 평가방법을 제시하고자 영상품질평가에서 공학적인 평가인자인 DQE를 통해 알아보하고자 한다. 첫째, IEC 조건과 임상조건을 통해 획득한 영상들의 MTF, NPS 평가를 하였다. 둘째, DQE를 구하기 위한 Ideal SNR<sup>2</sup> Energy-Weighted (1/mm<sup>2</sup> · μGy) 값을 제시하기 위하여 MCNPX 프로그램을 이용하여 스펙트럼을 분석하여 구하였다. 셋째, MCNPX 프로그램을 이용하여 스펙트럼을 분석을 통해 측정된 입자 플루언스를 이용해 공기, 물, 근육, 뼈에 대한 흡수선량률을 간접적으로 평가하였다. 이를 바탕으로 디지털 방사선영상시스템에서 임상환경에 적절한 검출기에 대한 정량적인 평가기준을 정립하는 기초자료로 제공함에 있다.

## II. MATERIAL AND METHODS

본 연구는 IEC62220-1에서 제시하고 있는 영상품질 평가방법을 바탕으로 실제 임상에서 간편하게 적용할 수 있는 조건을 비교 분석하였으며, 이 때 간접적으로 물, 공기, 근육, 뼈에 대한 흡수선량을 평가하였다. 전체적인 실험의 흐름을 Fig. 1.으로 나타내었다.

### 1. 연구재료

X선 발생장치는 DXG325R(Listem. Korea), X선관 E 7876X(Toshiba. Japan), FDX4343R(Toshiba. Japan) 디텍터를 사용하였다[Fig. 1][Table 1]. 영상획득을 위한 선질 조건은 Table. 2에 명시되어 있으며 획득한 영상의 정량적인 영상 품질평가를 위하여 Matlab R2007a(The MathWorks, Natick, MA, USA)를 사용하였다. 광자 스펙트럼 측정과 선량평가를 위해 MCNPX(Los Alamos National Laboratory, USA), 선량 측정용 선량계는 Unfors Xi R/F Detector(TEMA Sinergie, Sweden)를 사용하였다.

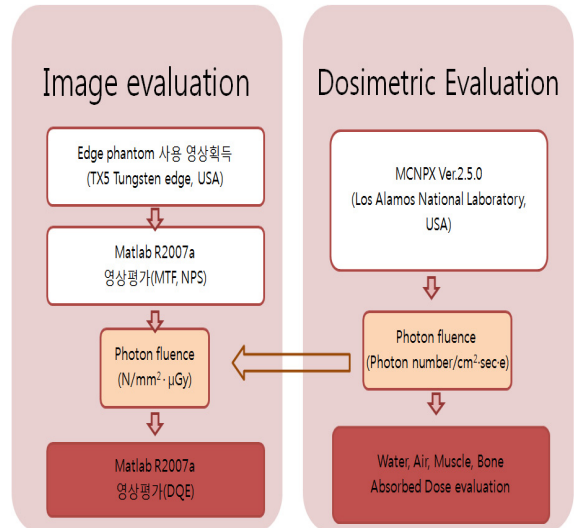


Fig. 1. Flow chart of processing in the Experiment.

### 2. 연구방법

#### 2.1 MTF 측정 및 분석

실험에서 MTF 도출을 위해 네 가지 선질들로 edge phantom을 사용하여 IEC 62220-1 표준의 실험 방법을 사용하였다[Fig. 2-Fig.3].

검출기위에 edge phantom을 pixel matrix와 3° 기울기로 위치시켜 영상을 획득하였다. 획득한 X선 영상으로부터 ROI(Region of interesting)부분에 대하여 ESF(edge spread function)을 구하고, LSF (line spread function)의 FFT(fast fourier Transform)을 통해 MTF를 측정하였다.[13]

Table 1. Technical specifications for the digital system used in the study

Digital radiography system	component
Detector Technology	DDR FPD, indirect Conversion
Detector material	CsI:Tl
Detector Active Area	430(H)×439(V)mm, (16.9 x 17.3)inch
Pixel Matrix	3008(H)×3072(V) Pixel
Pixel Pitch	143 μm
Limiting Resolution	3.5 lp/mm
Quantization	14 bit
Energy Range	40 - 150 kVp

Table 2. Radiographic Technique Used for the Evaluation of Performance

Beam Quality	kVp	Added Filtration (21 mm Al)	SID (cm)
IEC(RQA5)		used added filter (21 mm Al)	150
IEC(RQA5), Relevant Clinical Application combined	70	used added filter (21 mm Al)	100
		unused added filter (21 mm Al)	150
Relevant Clinical Application		unused added filter (21 mm Al)	100

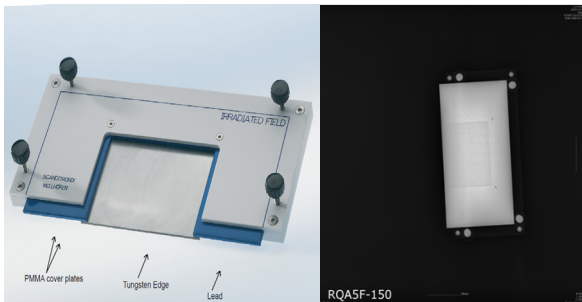


Fig. 2. TX5 Tungsten Edge Test Device & image

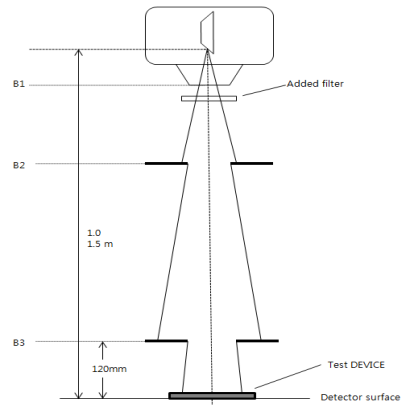


Fig. 3. Geometry of experiment Experiment in the IEC 62220-1

### 2.2 NPS 측정 및 분석

NPS 측정 영상을 획득하기 위해 검출기 위에 edge phantom을 제거한 상태로 X선을 조사하여 white 영상을 MTF 측정방법과 동일한 방법으로 획득하였다. NPS는 Wiener Spectrum이라고도 하며 Noise Image에 대한 Fourier Transform으로 정의되며 NPS는 아래 (1)식으로 정의할 수 있다.

$$W_{out}(u_n, v_k) = \frac{\Delta_x \Delta_y}{M \cdot 256 \cdot 256} \sum_{m=1}^M \left| \sum_{i=1}^{256} \sum_{j=1}^{256} (I(x_i, y_j) - S(x_i, y_j)) \exp(-2\pi i(u_n x_i + v_k y_j)) \right|^2 \quad (1)$$

$x \ y$  : is the product of pixel spacing in respectively the horizontal and vertical direction

$M$  : is the number of ROIs

$I(x_i, y_j)$  : is the LINEARIZED DATA

$S(x_i, y_j)$  : is the optionally fitted two-dimensional polynomial

방사선을 조사할 때 화면에서 발생하는 잡음의 값을 측정하는 것으로 보통 X선의 조사선량에 따른 NPS를 구하고 그 결과를 서로 비교하였다.

### 2.3 DQE 측정 및 분석

DQE는 photon fluence, 영상시스템의 영상처리 능력 지표를 나타내는 MTF, 영상 시스템의 잡음 포함 정도를 나타내는 NPS를 모두 고려함으로써, 영상시스템의 정량적인 평가를 실시하였다.[14]

DQE는 신호의 입력(signal input)  $SNR^2$ 에 대한  $SNR$

<sup>2</sup> 출력(output)의 비로 나타낼 수 있으며 아래 식(2,3)으로 정의할 수 있다.

$$DQE(f) = \frac{SNR^2_{out}}{SNR^2_{in}} = \frac{G^2 \times MTF^2(f)}{SNR^2_{in} \times NPS(f)}$$

$$= \frac{G^2 \times MTF^2(f)}{SNR^2_{in} / X \times NPS(f)} \quad (2)$$

$$= \frac{MTF^2(f)}{q \times X \times NNPS(f)}$$

$$NNPS(f) = \frac{NPS(f)}{(G \times X)^2} \quad (3)$$

G: gain factor(digital unit per  $\mu\text{Gy}$ )  
 X: air kerma( $\mu\text{Gy}$ )  
 q: ideal  $SNR^2_{in}$ (incident x-ray quanta per unit area per  $\mu\text{Gy}$ )  
 NNPS: normalized NPS

#### 2.4 선량평가(광자 스펙트럼과 흡수선량을)

영상평가방법과 동일하게 MCNPX 프로그램을 이용하여 X선관, 고유필터, 부가필터를 모사하였다. 광자 플루언스율을 측정할 지점은 검출기가 위치한 지점으로 SID 100, 150 cm에 반지름 5 cm인 가상의 원형검출기를 위치시켜 측정하였으며, F5번 tally를 사용하여 전자 당 생성된 광자의 입자 플루언스율( $\text{N}/\text{cm}^2 \cdot \text{e}$ )을 1 eV 간격으로 에너지 스펙트럼을 측정하였다[Fig. 4]. 실험 결과의 신뢰성 확보를 위해 결과 값의 상대오차를 3% 이내로 하였다. 이를 바탕으로 방사선속 밀도와 에너지, 물질의 질량에너지흡수계수를 이용하여 전자 1 개당 흡수선량률을 평가하였으며, 식은 다음과 같다(4). 물, 공기, 근육, 뼈에 대한 질량에너지흡수계수는 Table 3에 나타내었다.[15]

$$\dot{D} = \frac{\frac{\Phi_{photons}}{\text{sec}} \times E_{MeV} / \text{photon} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times \mu_m \text{ cm}^{-1}}{\rho_m \text{ kg/cm}^3 \times 1 \frac{\text{J/kg}}{\text{Gy}}} \quad (4)$$

$\dot{D}$  : 흡수선량률 (Gy 또는 Sv)

$\mu_m / \rho_m$  : 물질의 질량에너지감쇠계수

$\Phi$  : 선속밀도, E : 에너지

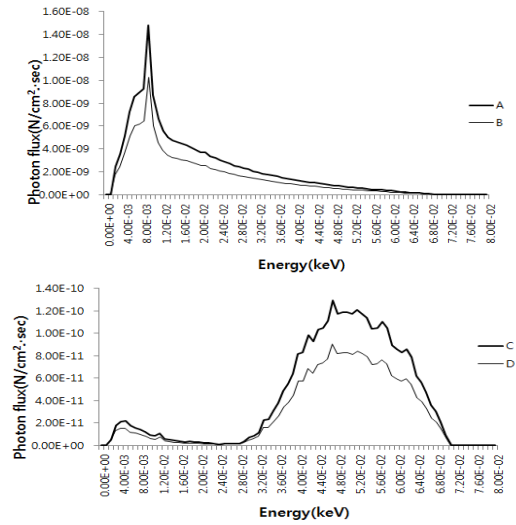


Fig. 4. Photon energy spectra results for Added filter and SID

- A. 70 kVp / unused added filter / SID 150 cm
- B. 70 kVp / unused added filter / SID 100 cm
- C. 70 kVp / used added filter / SID 150 cm
- D. 70 kVp / used added filter / SID 100 cm

Table 3. Values of the Mass Energy - Absorption Coefficients

Photon Energy(MeV)	Mass Energy Absorption ( $\mu_{en}/\rho$ ) $\text{cm}^2/\text{g}$			
	Water	Air	Bone	Muscle
0.010	4.89	4.89	19.0	4.96
0.015	1.32	1.32	5.89	1.36
0.020	0.523	0.523	2.51	0.544
0.030	0.147	0.147	0.743	0.154
0.040	0.0647	0.0647	0.0305	0.0677
0.050	0.0394	0.0384	0.158	0.0409
0.060	0.0304	0.0292	0.0979	0.0312
0.080	0.0253	0.0236	0.0520	0.0255
0.10	0.0252	0.0231	0.0386	0.0252
0.15	0.0278	0.0251	0.0304	0.0276

### III. RESULT

#### 1. MTF

네 가지 선질에 따른 해상력 평가는 MTF 측정값 10%(0.1)에서, 선예도 평가는 MTF 측정값 50%(0.5)에서

공간주파수 값을 나타내었다[Fig. 5].

MTF는 70 kVp / used added filter(21 mm Al) / SID 150 cm에서 MTF 가 10%, 50%일 때, 공간주파수는 각각 2.70, 1.70 lp/mm를 나타내었다. 70 kVp / used added filter(21 mm Al) / SID 100 cm에서 MTF 가 10%, 50% 일 때, 공간주파수는 각각 2.73, 1.78 lp/mm를 나타내었다. 70 kVp / unused added filter(21 mm Al) / SID 150 cm에서 MTF 가 10%, 50%일 때, 공간주파수는 각각 2.91, 1.23 lp/mm를 나타내었다. 70 kVp / unused added filter(21 mm Al) / SID 100 cm에서 MTF 가 10%, 50% 일 때, 공간주파수는 각각 2.75, 1.13 lp/mm를 나타내었다. MTF 측정값은 공간주파수가 증가할수록 감소하는 경향성을 나타내었다.

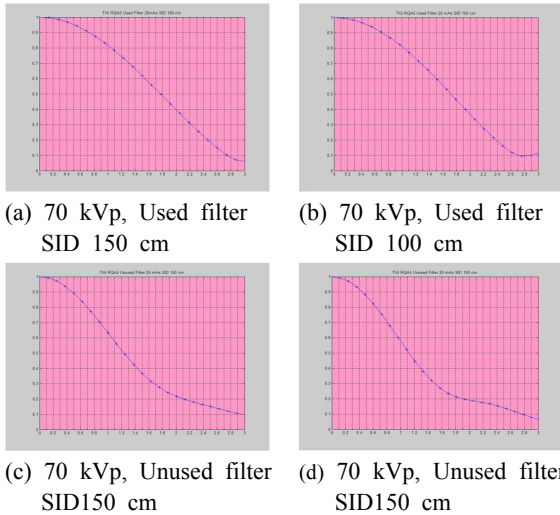


Fig. 5 MTF in the Clinical Radiographic Positioning / RQA5

2. NPS

NPS 결과는 공간주파수 1.0 lp/mm에서 네 가지 선질 조합의 결과 값을 나타내었다[Fig. 6].

NPS는 70 kVp / used added filter(21 mm Al) / SID 100 cm 선질 조합에서는 1.15E-06 mm<sup>2</sup>, 70 kVp / used added filter(21 mm Al) / SID 150 cm 선질 조합에서는 3.82E-06 mm<sup>2</sup>, 70 kVp / unused added filter(21 mm Al) / SID 100 cm 선질 조합에서는 4.00E-09 mm<sup>2</sup>, 70 kVp / unused added filter(21 mm Al) / SID 150 cm 선질 조합에서는 3.84E-09 mm<sup>2</sup>를 나타내었다.

부가필터를 사용하면, 공간 주파수가 0.5 mm/lp 기

준으로 NPS가 증가하다가 이후, 감소하는 경향성을 나타내었다. 부가필터 미사용하면, 공간주파수가 0.5 mm/lp 기준으로 NPS가 감소하다가 이후, 일정한 NPS 결과 값을 나타내었다.

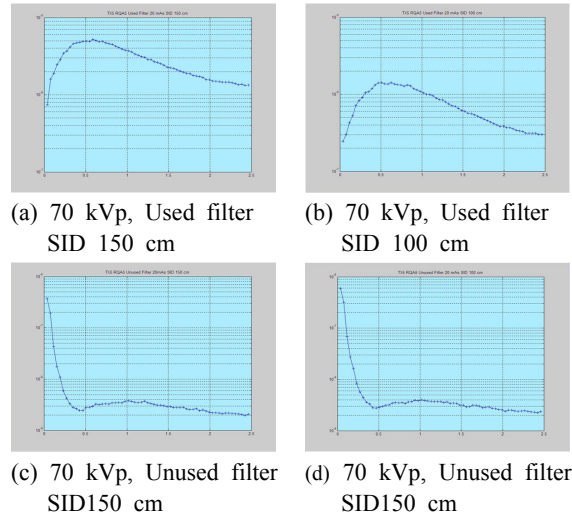


Fig. 6 NPS in the Clinical Radiographic Positioning / RQA5

3. DQE

네 가지 선질 조합들의 DQE 결과는 Table 4에 제시된 SNR<sup>2</sup>을 사용하여 나타내었으며 공간주파수 1.0 lp/mm에서 비교하였다([Fig. 7].

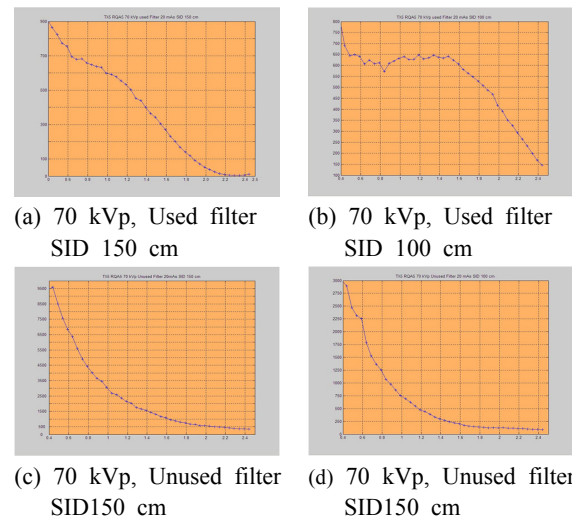


Fig. 7 DQE in the Clinical Radiographic Positioning / RQA5

70 kVp / used added filter(21 mm Al) / SID 150 cm 선질에서 6.00E+02, 70 kVp / used added filter(21 mm Al) / SID 100 cm 선질에서 6.35E+02, 70 kVp / unused added

filter(21 mm Al) / SID 150 cm 선질에서 3.00E+03, 70 kVp 7.48E+02를 나타내었다. 공간주파수가 증가함에 따라  
 / unused added filter(21mm Al) / SID 100 cm 선질에서 검출효율은 감소함을 나타내었다

Table 4. MCNPX used Air-kerma, Photon flux, SNR<sup>2</sup> results using Added filter & SID in the RQA5 / Clinical Radiographic Positioning

BEAM QUALITY	mAs	Added Filter (21 mm)	SID (cm)	Air-kerma (μGy)	Flux (N/mm <sup>2</sup> •sec)	Ideal SNR <sup>2</sup> Energy-Weighted (1/ mm <sup>2</sup> •μGy)
70 kVp	20 mAs	Used	100	17173.5	1.14E+05	12543
			150	7865.6	4.95E+04	14759
		Unused	100	158.94	1.23E+07	34101
			150	360.94	5.44E+06	34226

4. 선량평가(광자 스펙트럼과 흡수선량을)

실험에 사용된 네 가지 선질 변화에 따른 스펙트럼 분석과 흡수선량은 Table 5에 나타내었다. 이를 세부적으로 살펴보면, 스펙트럼분석에서 부가필터사용에서 평균에너지가 약 29.8 kV 높게 나타났으며 그래프모양이 전체적으로 우측으로 이동하는 결과를 나타내었다 [Fig. 4]. SID 변화에 따른 평균에너지는 영향이 없었으나, 입자 플루언스는 SID가 가까울수록 높게 나타났다. 측정된 입자 플루언스를 이용하여 앞서 설명한 식(4)으로 물, 공기, 근육, 뼈에 대한 흡수선량을 평가하였다. 먼저, 평균에너지에 따른 각 물질에

대한 질량에너지흡수계수와 흡수선량을 Table 5에 나타내었다. 이를 실험결과는, 조건에 관계없이 뼈, 근육, 물, 공기 순으로 선량이 높게 계산되었다. 또한 부가필터를 사용하였을 경우 평균 흡수선량률 8.48E-24 Gy/e•sec, 부가필터를 사용하지 않았을 경우 평균 흡수선량률 3.75E-21 Gy/e•sec로 부가필터를 사용하지 않았을 경우 선량이 높게 나타났다. 그리고 SID의 차이에 따른 선량은 부가필터의 유무에 상관없이 SID가 100 cm에서 높은 선량을 나타냈으며, 그 값은 부가필터 사용 시 평균 6.66E-24 Gy/e•sec, 부가필터 미사용 시 평균 2.95E-21 Gy/e•sec 정도 흡수선량률의 차이가 있었다.

Table 5. MCNPX used Photon fluence, Average E, Mass-Energy-Absorption Coefficient, Absorbed Dose rate results using Added filter & SID in the 70 kVp / Clinical Radiographic Positioning

BEAM QUALITY	SID (cm)	Average E (keV)	Fluence (N/cm <sup>2</sup> •sec•e)	Mass	Mass-Energy-Absorption Coefficient(μ <sub>en</sub> /ρ) <sub>cm<sup>2</sup>/g</sub>	Absorbed Dose rate (Gy/e•sec)
70 kVp Added Filter (used)	100	48.4	2.27E-09	Water	0.0434	7.638E-24
				Air	0.0425	7.471E-24
				Muscle	0.0452	7.944E-24
				Bone	0.1376	2.419E-23
	150	48.4	9.90E-10	Water	0.0434	3.329E-24
				Air	0.0425	3.257E-24
				Muscle	0.0452	3.463E-24
				Bone	0.1376	1.054E-23
70 kVp Added Filter (unused)	100	18.6	1.23E-07	Water	0.7462	2.729E-21
				Air	0.7327	2.680E-21
				Muscle	0.7725	2.825E-21
				Bone	3.4564	1.264E-20
	150	18.7	5.44E-08	Water	0.7302	1.187E-21
				Air	0.7172	1.166E-21
				Muscle	0.7562	1.229E-21
				Bone	3.3888	5.511E-21

#### IV. DISCUSSION

본 연구는 디지털 방사선영상시스템의 영상품질평가를 위해 IEC 표준에서 제시하고 있는 방법과 실제 임상 검사 조건을 조합한 네 가지 선질을 사용하여 영상품질 평가 및 선질들의 스펙트럼을 분석하여 입자플루언스와 흡수선량을 평가한 연구였다.

디지털 방사선영상시스템의 영상품질 평가방법은 본 저자가 연구를 진행했던 논문을 기초로 하였으며<sup>[16]</sup> 기존 연구와의 차이점은 자체 제작된 edge phantom을 사용하지 않고 IEC에서 권고하고 있는 방법으로 제작된 TX5 Tungsten edge phantom을 사용하였다.

MTF 평가에서 일반적으로 의료 영상 시스템에서 일반 X선 촬영의 진단 주파수영역은 1.0 ~ 3.0 lp/mm의 공간주파수를 나타낸다고 하였으며<sup>[17]</sup>, 본 논문에서도 네 가지 선질 조합에 따른 MTF 측정값이 1.13 ~ 2.91 lp/mm 공간주파수를 나타내어 일반 X선 촬영의 진단 주파수영역을 만족하였다.

강의 연구에서 선량이 증가한다는 것은 광자량을 늘려 준다는 것이고, 이는 영상신호가 검출될 확률이 높아져 영상신호에 대한 잡음의 영향이 감소한다고 하였다<sup>[18]</sup>. 본 연구에서도 부가필터 미사용 시, 선량이 증가함에 따라 X선 양자의 개수가 증가함을 알 수 있었다.

스펙트럼의 분석에서 부가필터는 X선 스펙트럼의 평균에너지를 증가시키고, 흡수선량이 감소됨을 간접적으로 알 수 있었다. 부가필터는 스펙트럼의 에너지를 고에너지 쪽으로 이동시키고, 선질을 경화시키며, 투과력을 증가시킨다는 기존의 논문과 비슷한 결과를 나타내었다<sup>[19]</sup>. 그리고 X선관 초점 각도, X선관 고유필터의 두께, X선 스펙트럼의 측정지점인 SID의 차이 때문에 MCNPX 시뮬레이션 스펙트럼의 결과는 다른 연구에서 나타난 스펙트럼 결과와는 정확하게 일치하지는 않는다고<sup>[20]</sup> 하였으며 이번 연구에서도 비슷한 결과를 나타내었다.

이번 연구에서 다른 연구와의 차이점은 DQE측정에 필요한 입자 플루언스값을 IEC 62220-1에서 제시하는 RQA5조건(70 kVp)의 Ideal SNR<sup>2</sup> Energy-Weighted (1/mm<sup>2</sup>·μGy)값을 사용하지 않고, MCNPX 시뮬레이션을 통해 실험에 사용된 선질들의 Ideal SNR<sup>2</sup> Energy-Weighted (1/mm<sup>2</sup>·μGy)값을 산정하여 그에 따른 DQE를

측정한 것이 다른 연구와의 차이점이다.

흡수선량률 결과는 선질 조건에 관계없이 뼈, 근육, 물, 공기 순으로 선량이 높게 계산되었다.

조의 연구에 따르면 DQE 결과는 디지털 방사선영상검출기의 특성에 따른 영상의 특징 등을 표현하며, 또 그 표현된 것을 바탕으로 장비의 사용자 입장에서 영상의 비교 분석이 가능하고 장비의 초기 상태에서부터 장비의 노후화에 따른 변화까지도 평가할 수 있다고 하였다<sup>[21]</sup>. 본 연구에서도 RQA5(70 kVp)와 임상조건을 조합한 네 가지 선질 조합들의 DQE 측정결과를 토대로 사용자 입장에서 검출기에 대한 평가방법을 제시하고자 한 기초적인 연구였다.

#### V. CONCLUSION

본 논문은 RQA5(70 kVp)와 임상조건을 조합한 네 가지 선질 조합을 사용하여 디지털 방사선영상시스템의 검출기에 대한 IEC에서 제시하는 방법과 임상조건을 조합한 방법으로 영상품질평가를 연구한 논문 결과를 바탕으로 현재 사용 중인 검출기 평가방법뿐만 아니라 검사실 환경에 맞는 검출기의 정량적인 평가방법을 제시할 수 있는 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### Reference

- [1] K. Doi, "Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development in medical imaging science and technology," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 51, No. 13, pp. 5-27, 2006.
- [2] D. L.Y. Lee, L. K. Cheung, B. G. Rodricks, G. F. Powell, "Improved imaging Performance of 14 × 17-inch Direct Radiography TM System using Se/TFT detector," *Physics of Medical Imaging, Proceedings of SPIE*, Vol. 3336, pp. 14-23, 1998.
- [3] J. P. Moy, "Signal-to-noise ratio and spatial resolution In x-ray electronic imagers: Is the MTF a relevant parameter?," *Medical Physics*, Vol. 71, No. 1, pp. 86-93, 2000.
- [4] C. E. Floyd, R. J. Warp, J. T. Dobbins, H. G. Chotas, A. H. Baydush, V. V. Rene, C. E. Ravin, "Imaging Characteristics of an Amorphous Silicon Flat-Panel Detector for Digital Chest Radiography," *Medical Physics*

- ics, Vol. 218, No. 3, pp. 683-688, 2001.
- [5] ICRU Report 70, "Radiation Dosimetry, Image Quality in Chest Radiography," International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, 2003.
- [6] J. T. Bushberg, "The Essential Physics Of Medical Imaging, Third Edition," Lippincott Williams & Wilkins, pp. 70-95, 2012.
- [7] H. W. Cho, K. S. Chon, "Change of MTF for Sampling Interval in Digital Detector," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 8, No. 5, pp. 224-230, 2014.
- [8] E. Samei, N. T. Ranger, J. T. Dobbins III, Y. Chen, "Intercomparison of methods for image quality characterization," II. Noise power spectrum, Medical physics, Vol. 33, No. 5, pp. 1466-1475, 2006.
- [9] J. T. Dobbins III, D. L. Ergun, L. Rutz, D. A. Hinhaw, H. Blume, D. C. Clark, "DQE (f) of four generations of computed radiography acquisition devices," Medical Physics, Vol. 22, No. 10, pp. 1581-1593, 1995.
- [10] E. Samei, M. J. Flynn, "An experimental comparison of detector performance for direct and indirect digital radiography systems," Medical Physics, Vol. 30, No. 4, pp. 608-622, 2003.
- [11] IEC 62220-1, "Medical electrical equipment – Characteristics of digital X-ray imaging devices Part 1: determination of the detective quantum efficiency," 2003
- [12] IEC 61267, "Medical diagnostic X-ray equipment Radiation conditions for use in the determination of Characteristics," 2005
- [13] E. Samei, N. T. Ranger, J. T. Dobbins III, Y. Chen, "Intercomparison of methods for image quality characterization I. Modulation transfer function," Medical physics, Vol. 33, No. 5, pp. 1454-1465, 2006.
- [14] E. Samei, M. J. Flynn, "An experimental comparison of detector performance for direct and indirect digital radiography systems," Medical physics, Vol. 30, No. 4, pp. 608-622, 2003.
- [15] H. Cember, T. E. Johnson, "Introduction to Health Physics", Fourth Edition 4th Edition, McGraw-Hill Professional Publishing, 182, 2011.
- [16] H. An, C. S. Kim, J. H. Kim, "Evaluation of Imaging Quality for Radiographic Positioning using IEC Radiation Quality in the Digital Radiography System," The Korea Contents Association, Vol. 15, No. 7, pp. 289-299, 2015.
- [17] J. Y. Jung, H. S. Park, H. M. Cho, C. L. Lee, S. R. Nam, Y. J. Lee, H. J. Kim, "Imaging Characteristics of Computed Radiography Systems," Korean journal of medical physics, Vol. 19 No. 1 pp. 63-72, 2008.
- [18] K. T. Wook, "Performance evaluation of indirect digital radiography system," Department of Medical physics, Graduate School, Korea University, 2010.
- [19] M. Sandborg, C. A. Carlsson, G. A. Carlsson, "Shaping x-ray spectra with filters in x-ray diagnostic," Medical & Biological engineering & Computing, Vol. 32, No. 4, pp. 384-390, 1994.
- [20] J. M. Boone, J. A. Seibert, "An accurate method for computer-generating tungsten anode x-ray spectra from 30 to 140 kV," Medical Physics, Vol. 24, No. 11, pp. 1661-1670, 1997.
- [21] K. S. Cho, "Development of the criteria for the performance evaluation of digital x-ray imager", Korea Advanced Institute of Science and Technology, Report, 2005.



# 디지털방사선영상시스템에서 MCNPX 시뮬레이션을 이용한 영상 품질 및 선량평가

안 현,<sup>1</sup> 이동연,<sup>2</sup> 고성진,<sup>3</sup> 김창수<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 부산백병원 영상의학과

<sup>2</sup>동남권원자력의학원 방사선 중앙학과

<sup>3</sup>부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

## 요 약

본 연구는 IEC에서 제시하는 영상품질을 평가하는 조건으로는 임상적인 환경에서 디지털 방사선영상시스템(Digital Radiography System)에서의 검출기에 대한 영상품질평가를 시행하기에는 환경적인 제한점이 있기에 IEC에서 제시하는 조건과 임상검사조건을 조합한 각각의 선질에 대하여 영상품질평가를 시행한 연구입니다. 첫째, 네 가지 선질을 사용하여 MTF, NPS 영상품질평가를 하였으며, MCNPX 시뮬레이션을 이용하여 선질들에 대한 스펙트럼을 분석하여 입자 플루언스를 산정한 후 최종적으로 DQE 영상품질평가를 하였다. 둘째, 네 가지 선질들의 MCNPX 시뮬레이션을 이용하여 방사선속 밀도와 에너지, 물질의 질량에너지 흡수계수를 이용하여 전자 1 개당 공기, 물, 근육, 뼈에 대한 흡수선량률을 평가하였다. 영상품질을 평가한 결과, 네 가지 선질들의 MTF는 1.13 ~ 2.91 lp/mm 공간주파수를 나타내어 일반 X선 촬영의 진단 주파수 영역인 1.0 ~ 3.0 lp/mm를 만족하였다. NPS는 부가필터를 사용하면, 공간 주파수가 0.5 lp/mm 기준으로 NPS가 증가하다가 이후, 감소하는 경향성을 나타내었다. 부가필터 미사용하면, 공간주파수가 0.5 lp/mm 기준으로 NPS가 감소하다가 이후, 일정한 NPS 결과 값을 나타내었다. DQE는 70 kVp / unuesd added filter(21 mm Al) / SID 150 cm에서 공간주파수 1.5 lp/mm 기준으로 일정한 값을 나타내다가 이후, 감소하는 경향성을 나타내었다. 나머지 선질들은 공간주파수가 증가함에 따라 감소하는 경향성을 나타내었다. 흡수선량 평가 결과는 공기 < 물 < 근육 < 뼈 순서로 흡수선량이 증가함을 나타내었다. 본 연구결과를 바탕으로 다양한 임상환경에서 디지털 방사선영상시스템의 영상품질평가 방법을 제시할 수 있는 기초자료로 제공하고자 한다.

중심단어: 디지털 방사선 영상시스템, 방사선질, 변조전달함수, 잡음력 스펙트럼, 양자검출효율, 입자 플루언스, 흡수선량