

논문 2013-50-12-30

# Digital Radiography System에서 X선 광자 검출 방식에 따른 선량 및 화질 특성에 관한 연구

( A Study on Dose and Image Quality according to X-ray Photon  
Detection Method in Digital Radiography System )

홍 선 숙\*, 김 호 철\*\*

( Sun Suk Hong and Ho Chul Kim<sup>©</sup> )

## 요 약

본 연구의 목적은 Direct DR(Digital Radiography), Indirect DR, II(Image Intensifier) DR에서 X선 광자 검출 방식에 따른 선량측정 및 획득된 영상을 정량적이고 객관적인 측정을 통해 DR System을 비교 평가 하는 것이다. Rando phantom을 사용하여 입사표면선량을 측정하였으며, 측정된 입사표면선량 값을 통해 PCXMC 프로그램을 사용하여 유효선량과 방사선 조사로 인한 위험을 평가하였다. 21cm 아크릴 phantom을 사용하여 SNR(Signal to Noise Ratio), NPS(Noise Power Spectrum), CNR(Contrast to Noise Ratio)을 측정하였으며, 측정값은 통계학적 분석기법을 사용하여 유의성을 평가하였다. 입사표면선량, 주요장기선량, 유효선량 모두 direct DR이 가장 낮게 측정되었으며, direct DR 선량을 기준으로 II type DR은 약 1.3배, indirect DR은 약 2.4배 높은 선량 비율로 측정되었다. 방사선량에 따른 위험도 역시 동일한 비율로 측정되었다. SNR 측정 결과 direct DR 측정값을 기준으로 II DR은 약 7.25배, indirect DR이 약 1.48배 낮은 비율로 측정되었다. CNR 측정 결과 direct DR 측정값을 기준으로 II DR은 약 1.16배 높고, indirect DR이 약 0.87배 낮은 비율로 측정되었다. 따라서 a-selenium 검출소자를 사용하여 X선 광자를 검출하는 방식인 direct DR은 적은 선량으로 우수한 화질의 영상을 구현함으로써 선량에 민감한 소아나 생식선이 포함된 검사 등에 유용할 것으로 사료된다. 또한 많은 진단 정보를 위한 영상 평가가 요구되는 경우에는 indirect DR이 유용할 것으로 판단된다.

## Abstract

The purpose is a comparative evaluation in the DR System according to the dosimetry and image quality of the quantitative and objective via Direct digital radiography, Indirect digital radiography, Image intensifier (Charge Coupled Device type) digital radiography. The experimental method used rando phantom and measured the entrance surface dose. And through using the measured entrance surface dose and then using the PCXMC program were evaluated risk due to irradiation and the effective dose. SNR and NPS and CNR were measured and analyzed by using 21cm acryl phantom. Significance of measured value was evaluated by statistics method. Entrance surface dose, major organ dose, effective dose all of them were measured the lowest rated in direct DR when it is on the basis of direct DR dose, high-dose ratio were measured in II DR approximately 1.3 times, indirect DR approximately 2.4 times. Risk in accordance with radiation also was measured same as dose ratio. On the conclusion that SNR measurement result based on direct DR SNR measurements, low-SNR ratio were measured in II DR approximately 7.25 times, indirect DR approximately 1.48 times. On the conclusion that CNR measurement result based on direct DR CNR measurements, high-dose ratio were measured in II type DR approximately 1.16 tims and low-dose ratio were measured in indirect DR approximately 0.87 times. Therefore Direct DR system using a-selenium sensing element to detect x-ray photon is thought effectively at the examination such as infant to sensitive irradiation and the genital gland. Because quality image is built by low dose. Also when it is necessary that image test requiring many diagnosis information, indirect DR system is thought effectively.

**Keywords :** direct digital radiography, indirect digital radiography, Image intensifier digital radiography, image quality, dose, image receptor

\* 정회원, 서울아산병원 영상의학팀, 을지대학교 일반대학교 방사선과  
(Department of Radiologg Asan Medical Center)

(Department of Radiologic Technology, Eulji University, Graduate School)

\*\* 정회원, 을지대학교 보건과학대학 방사선학과(Department of Radiological Science, Eulji University)

© Corresponding Author (E-mail: tiger1005@gmail.com)

※ 이 논문은 2012학년도 을지대학교 교내학술연구지원사업(신진연구)의 지원을 받아 수행되었음  
(EJRG-12-005-102B81)

접수일자: 2013년8월1일, 수정완료일: 2013년11월21일

## I. 서 론

DR(Digital Radiography)의 발달은 의료 영상 정보 기록의 정밀성, 디스플레이의 유연성, 다른 통신 네트워크를 통한 영상의 전송 등을 가능하게 하게하여 영상 데이터의 효용성을 증가시켰다.<sup>[1]</sup> DR 영상은 빛에 민감한 작은 입자 즉 픽셀에 의해 형성되며 넓은 동적 범위(wide dynamic range)의 특징으로서 방사선 노출량을 감소하면서 우수한 화질의 영상을 제공하게 된다.<sup>[2]</sup> 피사체를 투과한 X선은 광자 검출기에 흡수되어 상호 반응 후 전기적 신호로 변환된 후 위치 정보와 함께 reading되어 최종적으로 영상처리알고리즘을 통해 영상이 구성 된다.<sup>[3]</sup> 이렇게 구성된 DR 영상은 물리적인 파라미터를 고려하여 장비의 성능 및 화질을 객관적이고 정량적인 방법으로 평가하고 있으며, MTF (Modulation Transfer Function), DQE(Detective Quantum Efficiency), NPS(Noise Power Spectrum) 등의 측정을 통해 시스템의 Nyquist 주파수 등이 정상적 진단 범위에 포함되는지 판단하고 그 위치와 모양을 통해 장비의 성능을 묘사할 수 있다.<sup>[4~5]</sup>

DR system은 X선 광자 검출하는 방식에 따라 direct DR, indirect DR, II(Image Intensifier)에 CCD(Charge Coupled Device) camera를 부착하여 검출하는 방식의 II DR로 구분된다. Direct DR 은 X선 광자를 amorphous selenium photoconductor에서 직접 전기적 신호로 변환하여 검출되는 방식이며, indirect DR은 X선 광자를 빛으로 변환 후 amorphous silicon photodiode에 가시광의 기록과 전하의 변환 과정을 거치는 방식이다. II DR은 X선 광자를 image intensifier의 입력 형광면에서 빛으로 변환, 증폭 후 CCD에 의해 전하의 변환 과정 후 capacitor에 의해 수집 검출되는 방식이다.<sup>[2, 6]</sup>

기존의 연구에 따르면 flat panel detector를 이용한 direct DR 영상과 indirect DR 영상이 II DR 영상 보다 높은 DQE, 넓은 동적 범위의 특징과 기하학적 왜곡 현상과 vignetting 현상을 없애고 방사선량 또한 감소할 수 있으나 해상력은 II DR 보다 상대적으로 낮은 값으로 평가되고 있다.<sup>[7]</sup>

본 연구는 X선 광자 검출 방식이 다른 direct DR system, indirect DR system, II DR system 각각 X선 조사에 따른 선량을 측정, 비교하고 각 획득 영상을 정

량적이고 객관적인 화질 분석을 통해 DR System의 특성을 비교 평가 하고자 한다.

따라서 본 연구의 목적은 검출 방식에 따른 각 장비의 특성을 고려하여 효율적으로 검사에 부합함으로써 최적화 된 진단 영상 정보를 제공하고 환자의 피폭 선량을 감소하는데 있다.

## II. 대상 및 방법

### 1. Measurement

Direct DR 장비로는 Socialvision sarfire II (Shimazu, Japan)와 a-selenium flat-panel detector (Shimazu, Japan), indirect DR 장비로는 Innovision -SH (Shimazu, Japan)와 a-silicon flat-panel detector (Samsung, Korea), II DR 장비로는 Socialvision 100 (Shimazu, Japan)와 CCD camera (Shimazu, Japan)를 사용 하였다.

선량 측정용 phantom으로는 인체 모형 Rando phantom (Model ART-200-5, Fluke Biomedical, WA, USA)을 사용하였고, 화질 측정을 위해 자체 제작된 복부 두께의 21cm 아크릴 phantom을 사용하였다. Rando phantom은 뼈, 폐, 기도 그리고 조직 등가 물질의 4가지 성분으로 이루어져 있는 인체와 동일 구조로 구성되어 있다.

촬영 조건으로는 70kV, 32mAs 복부촬영조건으로 설정하였으며 FFD는 110cm, field size는 direct DR과 indirect DR은 17 x 17 inch로 II DR은 16 x 16 inch로 장비에서 제공하는 최대 조사야를 설정하였다. Filtration은 고유 필터와 부가 필터를 합하여 1mm Al filter로 설정하였다. 양극 타겟 각도가 12도로 설정하였고, 각 각의 장비는 같은 제조 회사의 장비로써 방사선 검출 방식만 다르고 다른 조건은 동일한 구성으로 오차를 최소화 하였다.

### 2. Radiation Dose

Rando phantom의 복부 부위에 70kV선질 32mAs 조건으로 5회 반복 촬영하여 Xi unfors function meter (Unfors, Sweden)를 통해 각 X선 광자 검출 효율에 따른 평균 입사표면선량 (Entrance Surface Dose : ESD)을 획득하였고, 획득한 입사표면선량을 전산모사 프로그램인 PCXMC 2.0 (Stuk, Finland)를 적용하여

Stomach, Liver, Small bawell, Pancreas, Lung, Spleen 여섯 개의 주요 장기 선량(Organ dose)과 유효선량(Effective dose)을 측정, 비교 분석하였다. 입사표면선량, 장기선량, 유효선량 측정값은 일원분산분석을 이용하여 통계검정을 실시하였다.

### 3. Risk Assessment of PCXMC

BEIR VII 위원회에서는 지난 2006년 저농도 방사능 피폭의 생물학적 효과 보고서에 의해 성별과 나이에 따른 위험도 모델에 따라 방사선에 의해 발생할 수도 있는 환자 위험도 추정치를 발표하였으며, 위험 모델에 포함되어 있는 장기 이외의 고체암 중 암으로 인한 사망 위험을 위해 PCXMC는 BEIR 모델을 기준으로 암 사망 위험을 추정한다. 방사선량에 의한 위험 추정치는 다양한 방법으로 평가될 수 있지만, PCXMC는 3가지 방법의 위험 평가 추정 데이터인 REID (Risk of Exposure-Induced Death), LLE(Loss of Life Expectancy), LLE/REID(Loss of Life Expectancy per Radiation Induced Fatal Cancer)를 제공하고 있다. PCXMC 2.0 프로그램에서 제공하는 데이터를 통해 검출 방식에 따른 위험도를 비교하였다.<sup>[8-9]</sup>

REID : 방사선 노출로 인한 사망의 위험

LLE : 방사선 노출로 인한 예상 수명의 손실

LLE/REID : 방사선 노출로 인한 암이 유발되었을 때 예상 수명의 손실

$$REID_c(e, D) = \int [\mu_c(\frac{t}{e, D}) - \mu_c(t)] S(\frac{t}{e, D}) dt \quad (1)$$

$$LLE(e, D) = \int S(\frac{t}{e}) dt - \int S(\frac{t}{e, D}) dt \quad (2)$$

$\mu_c(\frac{t}{e, D})$ : 방사선 노출 나이 e의 노출 선량 D, 사망 원인 c로 인한 t 나이에서 사망률

$S(\frac{t}{e, D})$ : 방사선 노출 나이 e의 노출 선량 D, t 나이에서 대상자가 살아 있는 조건부 확률

$S(\frac{t}{e})$ : 방사선 노출이 되지 않은 대상자에 대해 t 나이까지 생존할 확률

### 4. Measurement of Signal to Noise Ratio

X-선 광자의 수는 일반적으로 signal을 의미한다. 각 pixel에 기록된 X-선 광자의 평균수가 N이라면 각 pixel 당 noise는 다음의 식과 같다.

$$\sigma = \sqrt{N} \quad (3)$$

( $\sigma$  : standard deviation or noise)

SNR(Signal to Noise Ratio)=

$$\frac{N}{\sigma} = \frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N} \quad (4)$$

N이 증가할수록 SNR은  $\sqrt{N}$ 으로 증가하여 화질이 개선된다.

21cm 아크릴 phantom으로 direct DR, indirect DR, II DR에서 설정 된 조건으로 촬영 후 12시, 3시, 6시, 9시, center의 5지점에서 특정 ROI(Region Of Interest)에 대하여 Image J program (version 1.43u, National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)으로 히스토그램 분석을 통해 각 각의 signal, noise, SNR의 평균으로 비교, 분석하였고, 일원분산분석 기법을 이용하여 통계 검정을 실시하였다.

### 5. Measurement of Contrast to Noise Ratio

CNR(Contrast to Noise Ratio)은 주변 잡음 (noise level)에 대한 관심 영역의 대조도를 나타내는 값으로 식은 다음과 같다.

$$CNR = \frac{N_t}{\sigma_t} \quad (5)$$

$N_t$ : standard deviation at a region of interest,

$\sigma_t$ : standard deviation at a specific point

CNR값이 높을수록 대조도가 높은 것으로 평가되고 있다.

21cm 아크릴 phantom으로 direct DR, indirect DR, II DR에서 설정 된 조건으로 촬영 후 12시, 3시, 6시, 9시, center의 5지점에서 특정 ROI에 대하여 Image J program으로 히스토그램 분석을 통해 각 각의 noise, CNR의 평균으로 비교, 분석하였고, 일원분산분석 기법을 이용하여 통계 검정을 실시하였다.

6. Measurement of Noise Power Spectrum

방사선을 조사할 때 발생하는 noise의 값을 측정하는 NPS(Noise Power Spectrum)는 X선 조사량에 따른 평균화 된 noise를 구하는 값을 일컫는다. NPS는 방사선 검출기의 노이즈 특성을 잘 표현하고, image artifact를 정의하는데 주로 사용되며, NPS가 낮을수록 noise가 적은 것으로 평가하고 있다.

21cm 아크릴 phantom으로 direct DR, indirect DR, I.I DR에서 설정 된 조건으로 촬영 후 image J program을 통해 각 각의 NPS 변화 값을 비교, 분석하였다.

III. 실험결과

1. Radiation Dose

입사표면선량은 direct DR이 0.82mGy로 가장 낮게 측정되었고, I.I DR은 1.06mGy, indirect DR은 1.97mGy의 값으로 측정되었다. 통계 분석 결과 P<0.001로 각 검출 방식에 따라 입사표면선량은 유의한 차이가 있는 것으로 평가되었다.

PCXMC 시뮬레이션에 따른 stomach, spleen, pancreas, liver, small intestine, lung의 6개 장기의 평

표 1. 직접 DR type, 간접 DR type, I.I DR의 평균 표 면입사선량, 유효선량, 주요 장기선량 측정 비교

Table 1. Direct DR type, indirect DR type, I.I DR type the system compares the measured value of average entrance surface dose and effective dose, the major organ doses.

		Direct DR	Indirect DR	I.I DR
ESD (mGy) P < 0.001		0.820	1.970	1.060
Effective dose (mSv) P < 0.001	ICRP 60	0.131	0.316	0.170
	ICRP 103	0.136	0.330	0.175
Organ dose (mGy) P = 0.028	stomach	0.304	0.730	0.392
	spleen	0.081	0.193	0.104
	pancreas	0.121	0.291	0.157
	liver	0.228	0.55	0.294
	small intestine	0.174	0.414	0.224
	lung	0.103	0.248	0.133

균 흡수선량은 direct DR이 1.68mGy로 가장 낮게 측정되었고, I.I DR은 2.17mGy, indirect DR은 4.04mGy의 값으로 측정되었다. 통계 분석 결과 (P=0.028) 각 검출 방식에 따라 평균 흡수선량은 유의한 차이가 있는 것으로 평가되었다.

또한 ICRP 103 기준의 유효선량 평가는 direct DR이 0.136mSv로 가장 낮게 측정되었고, I.I type DR은 0.175mSv, indirect DR은 0.33mSv의 값으로 측정되었다. 표 1에서 통계 분석 결과 P<0.001로 각 검출 방식에 따라 유효선량은 유의한 차이가 있다.

2. Risk Assessment of PCXMC

표 2에서 REID는 direct DR이 0.00456%로 가장 낮게 추정되었고, I.I DR은 0.00589%, indirect DR은 0.011%의 값으로 추정되었다. 여러 종류의 암에 대한 평균 REID는 direct DR이 0.000652%로 가장 낮게 추정되었고, I.I DR은 0.000841%, indirect DR은 0.001569%의 값으로 추정되었다. 또한 LLE는 direct DR이 7.9hour로 가장 낮게 추정되었고, I.I DR은 10.1hour, indirect DR은 18.9hour의 값으로 추정되었다. LLE/REID는 direct DR, I.I type DR, indirect DR 모두 19.7year으로 추정되었다.

표 2. 직접 DR type, 간접 DR type, I.I DR의 위험 평가 추정치 비교

Table 2. Direct DR type, indirect DR type, I.I DR type the system compares the measured value of estimate the risk assessment.

		Direct DR	Indirect DR	I.I DR
REID (%)		0.0046	0.0110	0.0059
LLE (hour)		7.9	18.9	10.1
LLE/REID (year)		19.7	19.7	19.7
REID for various cancers (%)	leukemia	0.0003	0.0007	0.0004
	colon	0.0011	0.0025	0.0014
	liver	0.0004	0.0009	0.0005
	lung	0.0010	0.0024	0.0013
	stomach	0.0007	0.0017	0.0009
	bladder	0.0006	0.0014	0.0007
	other	0.0006	0.0015	0.0008

### 3. Evaluation of Signal to Noise Ratio

표 3에서 noise에 대한 signal의 저항력을 나타내는 SNR 결과 indirect DR이 31.9±7.27로 가장 높게 측정되었으며, direct DR은 21.6±19.29, I.I DR은 4.4±15.74의 값으로 측정되었다. Signal과 noise 측정 결과 indirect DR이 가장 높게 평가되었다.

통계 분석 결과 P값이 모두 0.05 미만으로 분석되어 각 검출 방식에 따라 signal, noise, SNR 측정값은 유의한 차이가 있다.

표 3. 직접 DR type, 간접 DR type, I.I DR의 신호대 잡음비 비교

Table 3. Direct DR type, indirect DR type, I.I DR type the system compares the measured value of signal to noise.

	Direct DR	Indirect DR	I.I DR
Signal, P<0.001	2342.2±175.48	10983.7±1190.1	670.4±194.77
Noise, P=0.0099	108.6±9.1	343.6±163.8	151.6±12.37
SNR, P<0.001	21.6±19.29	31.9±7.27	4.4±15.74

### 4. Measurement of Contrast to Noise Ratio

표 4에서 contrast를 나타내는 CNR 결과 I.I DR이 0.96±0.10로 가장 높게 측정되었으며, direct DR은 0.83±0.04, indirect DR은 0.72±0.39의 값으로 측정되었다. 따라서 주변 잡음에 대한 관심영역의 대조도는 I.I DR이 가장 높은 것으로 평가되었다. 그러나 측정

표 4. 직접 DR type, 간접 DR type, I.I DR의 대조도 대 잡음비 비교

Table 4. Direct DR type, indirect DR type, I.I DR type the system compares the measured value of contrast to noise.

	Direct DR	Indirect DR	I.I DR
CNR1(12h)	0.856	0.362	0.851
CNR2(3h)	0.852	0.448	0.982
CNR3(6h)	0.766	0.873	0.930
CNR4(9h)	0.834	1.191	1.086
Mean of CNR, P=0.367	0.83±0.04	0.72±0.39	0.96±0.10

값에 대한 통계 분석 결과 P=0.367로 나타나 각 검출 방식에 따른 CNR은 유의한 차이가 없는 것으로 평가되었다.

### 5. Evaluation of Noise Power Spectrum

그림 1에서 NPS 측정 결과 I.I DR이 direct, indirect DR에 비하여 주파수에 따른 noise의 편차가 크게 측정되었다. 또한 약 0.2 lp/mm 부근에서 모두 noise가 급격히 증가하는 현상이 나타났다. Indirect DR이 공간주파수(spatial frequency) 변화에 따라 noise의 변동이 가장 낮은 것으로 측정되었다.

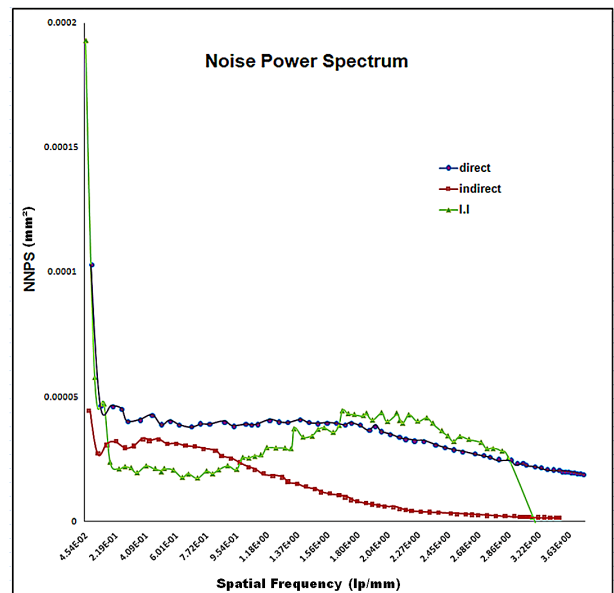


그림 1. 직접 DR type, 간접 DR type, I.I DR type의 잡음력 스펙트럼 비교

Fig. 1. Direct DR type, indirect DR type, I.I DR type the system compares the measured value of the noise power spectrum.

## IV. 고 찰

디지털 의료 영상은 방사선 광자 검출기를 통해 X선 광자와 물리적 반응 후 전기적 영상신호로 변환 후 컴퓨터로 전송하는 system이다. 이러한 X선 광자 검출 방식에 따라 direct DR system, indirect DR system, I.I DR system으로 구분 할 수 있다. 본 연구는 이러한 DR system의 영상 특성과 선량을 비교 평가하고 진단에서의 유용성에 대해 평가하고자 하였다.

동일한 조건으로 조사하여 선량을 비교한 결과 입사 표면선량, 유효선량, 복부 촬영 시 주요 장기의 평균흡수선량 모두 direct DR이 가장 낮게 측정되었으며, II DR은 약 1.3배 높은 선량, indirect DR은 약 2.4배 높은 선량으로 측정되었다. 이에 따라 방사선 조사에 따른 암 발생의 위험도 동일한 비율로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 입사 X선 에너지가 직접 전기적 전하로 변환되어 손실이 거의 없는 직접 방식에 비해, 간접 방식은 형광체 소자가 광자를 빛으로 전환하고 빛을 전하로 변환하여 검출하는 과정에서 직접 방식에 비해 더 많은 광자량을 필요로 하게 되고 그에 따라 선량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.<sup>[10]</sup>

SNR 측정 결과 indirect DR이 가장 높은 값으로 측정되었으며, direct DR에 비해 약 1.48배, II DR에 비해 약 7.25배 우수한 SNR 값을 나타냈고, NPS 측정 값은 indirect DR이 주파수 변화에 따른 noise의 변화가 가장 적고, 다른 검출 방식에 비해 낮은 NPS 값으로 측정되었다. 또한 NPS 측정 결과 저주파 영역에서 고주파 영역으로 공간 주파수가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소하는 특징을 보였다. Indirect DR은 X선 에너지를 빛으로 전환함으로써 높은 전기적 신호로의 변환효율을 갖는다. 따라서 상대적으로 직접 방식에 비해 높은 수준의 signal에 대한 noise의 특성이 우수한 결과를 실험을 통하여 확인할 수 있었다.<sup>[11]</sup>

CNR 측정 결과는 indirect DR이 II DR에 비해 약 1.02배, direct DR에 비해 약 1.15배 높은 값으로 측정되어 indirect DR에서 대조도가 가장 높은 것으로 평가되었다. 그러나 측정값에 대한 통계 분석 결과 95% 신뢰 수준에서 유의한 차이가 없는 것으로 분석되어 각 검출 방식에 따른 대조도의 차이는 크지 않은 것으로 평가되었다.

본 연구 결과 a-selenium 검출 방식의 direct DR은 적은 선량으로 높은 수준의 화질로 평가되었다. 따라서 선량에 민감한 소아의 검사나 생식선이 포함되는 검사의 경우 direct DR을 사용함으로써 피폭을 감소하면서 우수한 영상 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 환자의 검사부위, 또는 병변 부위에서 세심한 관독 정보 및 많은 영상 정보가 필요한 경우에는 높은 X선 광자 검출 효율로써 많은 신호 정보를 포함할 수 있는 indirect DR을 사용하는 것이 유용할 것으로 판단된다.

본 연구는 phantom을 통해서만 진행되었으며, 이에 따라 환자의 체위, 조영제 유무 등의 여러 변수들을 고려하지 못한 단점을 가지고 있으며, 동일한 회사의 양극 타겟 각도 및 초점 등 여러 제원이 같은 모델을 통해 실험했음에도 불구하고 direct DR과 II DR은 투시조영검사 전용 장비이고 indirect DR은 일반촬영 검사 전용 장비라는 차이를 가지고 있으므로 이에 대한 변수를 배제할 수 없다. 따라서 향후 DR system의 특성을 정확하고, 객관적으로 평가할 수 있는 대표적인 평가 방법인 MTF, DQE측정과 더불어 주관적 평가 등의 연구를 통해 다양한 응용 분야에 대한 검증을 함으로써 방사선 진단 영역의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

Amorphous selenium 물질의 광자 검출 방식을 사용하는 direct DR system은 적은 선량으로 우수한 화질을 영상을 구현함으로써 선량에 민감한 소아나 생식선이 포함된 검사 등에 유용할 것으로 판단되어지며, 영상을 통해 많은 진단 정보가 요구되는 영상 평가가 필요한 경우에는 amorphous silicon 물질의 광자 검출 방식을 사용하는 indirect DR system이 유용할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [1] M. Yaffe and J. Rowlands, "X-ray detectors for digital radiography". *Physics in Medicine and Biology*, 42, pp. 1, 1997.
- [2] M. Körner, C. H. Weber, S. Wirth, K.-J. Pfeifer, M. F. Reiser, and M. Treitl, "Advances in Digital Radiography: Physical Principles and System Overview1", *Radiographics*, vol.27, pp.675-686, 2007.
- [3] Tae-wook. Kang, "Performance evaluation of indirect digital radiography system Performance evaluation of indirect digital radiography system", Graduate school Korea university of bio-medical sciences, Seoul, Master's Thesis, 2011.
- [4] E. Alcón and R. Lopes, "Slot scintillation detector modeling for digital radiography", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 61, pp. 411-414, 2001.

- [5] D. Williams and P. Burns, "Diagnostics for digital capture using MTF", in IS AND TS PICS CONFERENCE, pp. 227-232, 2007
- [6] Jung-min Kim, "Compare the quality and characteristics of a digital fluoroscopy unit", Journal of Health Science & Medical Technology, vol. 28, pp.92-102, 2002.
- [7] A. G. Davis, A. R. Cowen, S. M. Kengyelics, J. Moore, and M. U. Sivananthan, "Do flat detector cardiac X-ray system convey advantages over image-intensifier-based system study comparing X-ray dose and image quality.", European Radiology, vol.17, pp.1787-1794, 2007.
- [8] D. Thomas, S. Darby, F. Fagnani, P. Hubert, M. Vaeth, and K. Weiss, "Definition and estimation of lifetime detriment from radiation exposures: principles and methods", Health physics, vol.63, pp.259-272, 1992.
- [9] M. Tapiovaara and T. Siiskonen, "A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations", Radiation and Nuclear Safety Authority, Report ISSN 978-952-478-397-2 STUK-A231, Finland, 2008.
- [10] K. Bacher, P. Smeets, L. Vereecken, A. De Hauwere, P. Duyck, R. De Man, et al., "Image quality and radiation dose on digital chest imaging: comparison of amorphous silicon and amorphous selenium flat-panel systems", American Journal of Roentgenology, vol.187, pp.630-637, 2006.
- [11] Young-suk Kim, "Usefulness of screen capture images in Fluoroscopy", Graduate school Cheju National University, Cheju, Master's Thesis, 2007.

---

저 자 소 개

---



홍 선 숙(정회원)  
2011년 고려대학교 의용과학대학  
원 의료영상공학과 졸업  
2013년~현재 을지대학교 일반대  
학원 방사선과 박사과정  
2001년~현재 서울아산병원 영상  
의학팀 방사선사

<주관심분야 : 의료영상, X-ray, 영상처리>



김 호 철(정회원)  
2002년 고려대학교 응용전자  
공학과 학사 졸업  
2004년 고려대학교  
의학과 석사 졸업  
2009년 고려대학교  
의학과 박사 졸업

2012년~현재 을지대학교 방사선학과 교수  
<주관심분야 : 의료영상처리, 방사선계측>