

# 변조전달함수를 이용한 컴퓨터 방사선영상의 감도 노출 분류에 따른 공간분해능 평가

성열훈\*  
청주대학교 방사선학과\*

## Evaluation of the Spatial Resolution for Exposure Class in Computed Radiography by Using the Modulation Transfer Function

Youl-Hun Seoung\*  
Dept. of Radiological Science, The Cheongju University\*

**요 약** 본 연구에서는 변조전달함수(Modulation transfer function, MTF)를 이용한 컴퓨터 방사선영상의 감도 노출 분류에 따른 공간분해능을 평가하여 컴퓨터 방사선영상 획득의 기초자료로 제시하고자 하였다. 본 실험에서는 100  $\mu$  mm 픽셀의 영상판을 이용하여 엣지법의 MTF를 측정하였다. 방사선 선질은 IEC 61267에서 권고하고 있는 RQA5를 이용하였다. X-선이 조사된 영상판은 감도 노출 분류를 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1200으로 각각 설정한 후 디지털 영상화하였다. 최종 획득된 영상들은 공인된 영상분석 프로그램인 image J와 Origin 8.0을 이용하여 MTF 50%와 10%를 구하여 평가하였다. 그 결과 감도 노출 분류 200에서 가장 우수한 MTF 50%(1.979  $\pm$  0.114 lp/mm)와 MTF 10%(3.932  $\pm$  0.041)의 공간주파수를 구하였다. 따라서 골절 등과 같이 높은 공간분해능을 요구하는 질병진단에 유용할 것으로 사료된다.

**주제어** : 변조전달함수, 감도노출분류, 공간분해능, 컴퓨터 방사선영상, 영상판

**Abstract** The purpose of the study was to present basic data to evaluation of the spatial resolution for exposure class(EC) in computed radiography(CR) by using the modulation transfer function(MTF). In this study, MTF was measured the edge method by using image plate(IP) of 100  $\mu$  mm pixels. A standard beam quality RQA5 based on an international electro-technical commission(IEC) standard was used to perform the X-ray imaging studies. Digital imaging began to set the sensitivity to EC 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1200 in X-ray irradiated to IP. The MTF 50% and 10% in the final images was analysis by using an authorized image analysis program the Origin 8.0 and the image J. As a results, the EC 200 was the best spatial resolution at MTF 50% (1.979  $\pm$  0.114 lp/mm) and MTF 10% (3.932  $\pm$  0.041). Therefore, the EC 200 could be useful for the diagnosis of diseases that require high spatial resolution such as fractures.

**Key Words** : Modulation transfer function, Exposure class, Spatial resolution, Computed radiography, Image plate

Received 19 June 2013, Revised 24 July 2013

Accepted 20 August 2013

Corresponding Author: Youl-Hun Seoung(Cheongju University)

Email: radimage@cju.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

## 1. 서론

1895년 X-선이 발견된 이후 X-선은 의료 및 산업용으로 널리 사용되었다. 특히 초기의 X-선 영상화기술은 사진기술과 컴퓨터기술의 발전으로 디지털방사선영상화기술을 구현하였으며 질병의 진단과 치료에서 핵심적인 역할을 하고 있다[1]. 그러나 방사선의 피폭은 늘 연구자들이 풀어야할 과제로 남아 있다. 이를 위해 기존의 film/screen(F/S)방식에서는 고감도의 증감지(screen)를 사용하여 적은 선량으로 영상화하였다. 하지만 감도가 너무 높은 증감지를 사용하면 영상의 입상성이 높아져 공간분해능이 저하되는 단점이 있다. 현재는 F/S방식의 단점을 보완하고 다양한 영상처리와 전송 및 저장이 용이한 디지털을 이용한 방사선영상을 임상에서 주로 사용하고 있다[2]. 특히 F/S방식의 필름대신 영상판(image plate, IP)을 검출체로 이용하는 컴퓨터 방사선영상(computed radiography, CR)은 기존의 방사선발생장치의 변형 없이도 사용할 수 있는 시스템으로 널리 사용되고 있다. 휘진성 형광체로 구성된 IP는 X-선 에너지를 흡수하여 잠상을 형성하고 영상판 판독기 내에서 600 ~ 675 nm의 레이저빔을 조사하면 잠상에서 약 390 nm의 빛이 발광된다. 이 빛은 다시 광전자증배관(photomultiplier tube, PMT)에서 수집되고 전기신호로 변환한 후 디지털신호로 전송된다[3].

전통적인 F/S방식에서 감도는 조사선량과 영상의 농도 수준의 관계를 의미하지만 CR 방식에서는 speed class (SC) 또는 exposure class (EC)라고 불리며 IP에서 기대되는 신호의 크기를 의미한다[4]. 또한 EC는 국제표준화기구(international standard organization, ISO)에서 빛에 대한 디지털 센서의 민감도를 숫자로 나타내는 값을 의미한다[5]. 즉, 민감도의 값이 커질수록 빛에 대한 반응속도가 빨라진다. 이러한 기대 값은 CR 방식에서 레이저빔의 세기를 조절함으로써 변화시킬 수 있다. 예를 들면 Agfa사의 IP에 조사되는 X-선의 세기가 높을 경우 민감도가 낮은 25 ~ 200 사이의 낮은 EC를 선택하면 빛이 작게 발광되어 PMT에 신호는 적게 수집된다. 반면 X-선의 세기가 낮을 경우 민감도가 높은 800 ~ 1200 사이의 높은 EC를 선택하여 빛이 크게 발광하면 PMT가 신호를 많이 수집하게 한다[6]. 이러한 EC는 영상품질에 영향을 줄 수 있다.

영상품질 항목 중 공간분해능을 평가할 수 있는 변조전달함수(modulation transfer function, MTF)는 F/S방식과 디지털방식에서 해상도를 측정할 수 있는 좋은 방법이다[7]. MTF는 검출기의 입력신호가 시스템을 거쳐 출력신호로 변환될 때 원래 정보를 충실히 표현하는 해상력과 선예도를 측정하는 주파수전달 함수이다. 따라서 MTF는 고주파성분의 값이 많을수록 우수한 선예도를 얻을 수 있다[8]. 또한 IP 대신 검출기(detector)에서 영상을 직접 획득하는 디지털방사선영상(digital radiography, DR)에서도 MTF를 이용하여 품질 평가하는 연구들이 진행되었다[9]. 하지만 디지털 방식의 컴퓨터 방사선영상 시스템에서 EC에 따른 MTF 평가는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 MTF를 이용한 컴퓨터 방사선영상의 EC에 따른 공간분해능을 평가하여 컴퓨터방사선영상 획득의 기초자료로 제시하고자 한다.

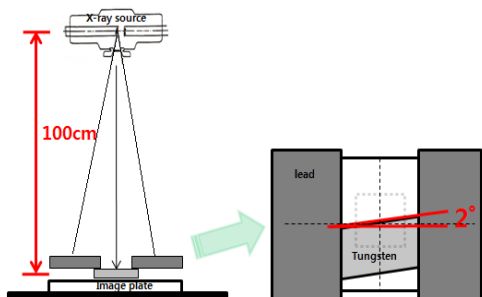
## 2. 대상 및 방법

### 2.1 대상 및 검사장비

본 실험에서는 X-선원으로 진단용 방사선발생장치(MCM-901R, MIS, Korea)를 사용하였고 타깃각도는 12°에 0.9 mmAl의 고유여과와 2.4 mmAl의 부가여과가 더해져 총 여과는 3.3 mmAl이다. CR 시스템의 영상판독기(CR85-X, Agfa, Germany)와 8" × 10" 영상판(image plate, IP)을 이용하여 100  $\mu$ m 픽셀(pixel)의 디지털방사선영상을 획득하였다. MTF 측정을 위한 실험기구는 100 × 75 × 1.0 mm 크기의 순도 90% 이상의 텅스텐을 이용하였다. 인체 해부학적 방사선영상을 얻기 위해 Whole Body Phantom (PBU-50, kyotokaku, Japan)을 사용하였다. 얻어진 영상자료는 디지털 표준의료영상(digital imaging and communications in medicine, DICOM) 파일로 획득하였으며, 저장과 전송은 의료영상 저장전송시스템(picture archiving and communication system, PACS)을 이용하였다. 최종 획득된 영상들은 미국 국립보건원(national institutes of health, NIH)에서 공인된 영상분석 프로그램인 image J와 Origin version 8.0 software (OriginLab Corp, Northampton, MA, USA)을 이용하였다.

## 2.2 영상획득 방법

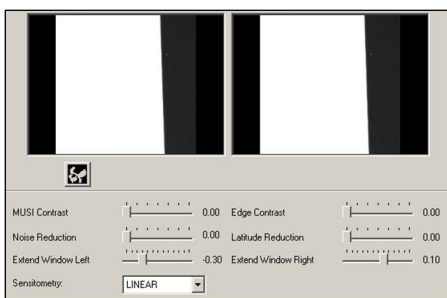
방사선 선질은 IEC 61267에서 권고하고 있는 RQA5를 이용하기 위하여 관전압 70 kVp, 관전류량 1 mAs로 설정하였다. [Fig. 1]과 같이 X-선원과 IP간의 거리는 임상에서 표준으로 사용하고 있는 100 cm로 하였으며 산란선에 의한 영향을 최소화하기 위해 텅스텐판 양측에 납차폐체를 설치하였다. 그리고 텅스텐의 엷지는 픽셀의 배열에 대해서 약 2° 정도 경사지게 배열하여 edge spread function (ESF)작성 시 앨리어싱(alising)을 최소화하고자 하였다[10]. 이때 X-선이 조사된 IP판은 EC를 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1200으로 각각 설정한 후 디지털 영상화하였으며 재현성과 반복성을 확보하기 위해 3 회 반복하여 측정하였다.



[Fig. 1] Illustration of experimental set-up for edge method of MTF

## 2.3 영상 후 처리

Agfa CR 시스템은 영상후처리 multi-scale image contrast amplification(MUSICA) 알고리즘을 통해 원데이터(raw data)를 자동적으로 영상처리하고 있다.



[Fig. 2] Illustration of experimental set-up for edge method of MTF

본 실험에서는 디지털화된 영상의 원데이터와 근사화하기 위해서 MUSICA parameter의 MUSI 대비값, 가장자리 대비값, 관용도 감소값 그리고 잡음 감소값을 모두 제로화하였다. 또한 영상의 감광도 변환은 선형(linear) 특성을 적용하였다[11][Fig. 2].

## 2.4 변조전달함수(Modulation Transfer Function, MTF) 측정

X-선이 조사된 IP의 EC를 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1200에 대하여 MTF를 측정하였다. MTF 측정법 중 IEC에서 표준으로 사용하는 엷지법을 이용하여 측정하였다[12]. 텅스텐 엷지 부분의 영상에 관심영역(region of interest, ROI) 설정하고 이용하여 공식 (1)과 같이 ESF을 측정하였다.

$$esf(x) = \int_{-\infty}^x line(x') dx' \quad \text{공식 (1)}$$

측정된 ESF은 공식 (2)과 같이 미분하고 합성하여 line spread function(LSF)을 만들었다. 이때 LSF의 폭이 넓어질수록 고주파성분의 전달 특성은 떨어진다.

$$lsf(x) = \frac{d}{dx} [esf(x)] \quad \text{공식 (2)}$$

산출된 LSF을 공식 (3)과 같이 고속 푸리에 변환(fast fourier transform, FFT)하여 MTF를 얻은 후 피팅(fitting)하였다.

$$MTF(u) = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} lsf(x) e^{-2\pi i u x} dx \right| \quad \text{공식 (3)}$$

최종 측정된 MTF곡선에서 선예도를 나타내는 MTF 50%와 해상력을 나타내는 MTF 10%의 값을 측정하여 각각 EC들의 공간분해능을 평가하였다. 이 중 MTF 10%의 값은 인간의 가시능력의 한계와 거의 같다.

## 2.5 인체 팬텀을 이용한 영상 평가

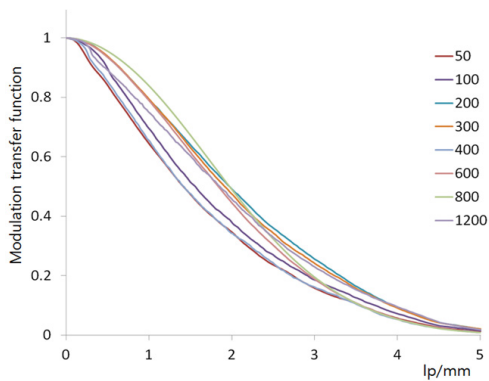
MTF에서 측정된 공간분해능 중 가장 우수한 EC와

가장 저조한 EC를 선택하여 육안적 평가와 히스토그램 평가를 실시하였다. 인체부위의 요추 정면상은 동일한 조사조건인 86 kVp, 10 mAs로 영상을 획득하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 MTF 평가

[Fig. 3]은 EC별 MTF를 측정하여 산출된 최종 그래프이다. MTF곡선은 공간주파수의 함수로써 입력 함수에 대한 출력함수의 비율로 기록되므로 Y축의 정규화된 MTF 값이 1일 때 입력 신호와 출력신호가 동일함을 의미한다. 본 실험 결과에서 EC 값에 따라 MTF곡선이 변화가 있음을 알 수 있었고 공간분해능에 영향을 주고 있음을 확인하였다.



[Fig. 3] MTF graphs according to the change in the exposure class

<Table 3>은 EC별 MTF 50%와 10%를 측정된 기록표이다.

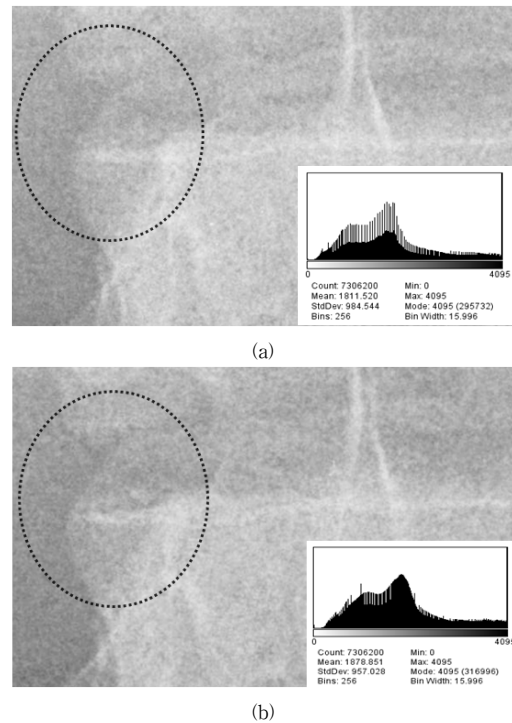
선예도를 나타내는 MTF 50%는 EC 200에서  $1.979 \pm 0.114$  lp/mm의 공간분해능으로 측정되어 가장 우수한 것으로 나타났으며 EC 50에서  $1.517 \pm 0.674$  lp/mm의 공간분해능으로 측정되어 가장 저조하였다. 해상력을 나타내는 MTF 10%에서도 EC 200에서  $3.932 \pm 0.041$  lp/mm의 공간분해능으로 측정되어 가장 우수한 것으로 나타났으며 EC 50에서  $3.223 \pm 1.050$  lp/mm의 공간분해능으로 측정되어 가장 저조하였다.

<Table 3> Comparison of the modulation transfer function in the exposure class

Exposure Class	Response (lp/mm)	
	MTF 50%	MTF 10%
50	$1.517 \pm 0.674$	$3.223 \pm 1.050$
100	$1.615 \pm 0.520$	$3.568 \pm 0.583$
200	$1.979 \pm 0.114$	$3.932 \pm 0.041$
300	$1.914 \pm 0.052$	$3.813 \pm 0.147$
400	$1.816 \pm 0.000$	$3.652 \pm 0.052$
600	$1.836 \pm 0.117$	$3.548 \pm 0.205$
800	$1.890 \pm 0.294$	$3.490 \pm 0.378$
1200	$1.855 \pm 0.699$	$3.659 \pm 0.815$

#### 3.2 영상평가

MTF에서 도출된 공간분해능 중 가장 우수한 EC 200과 가장 저조한 EC 50을 선정하여 육안적 평가와 히스토그램 평가를 평가한 결과는 [Fig. 4]와 같다.



[Fig. 4] The lumbar of whole body phantom images are taken with (a) exposure class 50 and (b) exposure class 200

[Fig. 4]에서 원형 점선 안에 있는 요추의 가장자리 선 예도는 EC 50을 적용한 [Fig. 4(a)]보다 EC 200을 적용한

[Fig. 4(b)]에서 더 우수한 것을 육안적으로 확인할 수 있었다. 또한 히스토그램의 평균 농도 값은 [Fig. 4(a)]에서 1811.520, [Fig. 4(b)]에서 1878.851로 나타나 EC 200에서 높은 농도분포를 보여주고 있다.

#### 4. 고찰

방사선영상에서 감도란 방사선에 대해 감광재료가 감응하는 정도로 민감도(sensitivity)라고 한다. 전통적인 F/S 방식의 방사선영상에서는 형광물질 또는 할로겐화은 층의 두께, 형광물질의 크기, 형광물질의 발광효율 등에 의하여 감도는 영향을 받는다[13]. 반면 디지털 방식의 컴퓨터 방사선영상에서는 광자극형광(photostimulated luminescence, PSL)성질이 있는 IP에서 나오는 빛의 강도에 따라서 감도가 달라진다. 이러한 감도는 레이저빔의 세기에 영향을 받으며 최적의 디지털 처리를 위해 speed class 또는 exposure class라는 명칭으로 조절할 수 있다[4]. F/S 방식의 감도 향상은 X-선의 검사에서 진단정보를 향상시키면서 환자의 피폭선량을 감소시키는 역할을 하고 있으며 MTF, Wiener spectrum, 상대감도와 절대 감도 등에 대한 물리적 특성 평가 연구보고가 있다[13]. 그러나 컴퓨터 방사선영상에서의 감도 특성에 대한 물리적 평가연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 영상평가 항목 중 F/S 방식에서 사용된 MTF 측정법을 사용하여 감도 노출 분류에 따라 공간분해능을 평가하고자 하였다. 박지균[14] 외의 연구에서 F/S 방식에서는 2.0 lp/mm의 공간분해능에서 30.9%의 MTF를 얻은 결과와 비교하면 본 실험 결과는 EC 200일 때 1.98 lp/mm의 공간분해능에서 50%의 MTF 값을 얻어 F/S 방식보다 CR 방식의 방사선영상에서 우수함을 알 수 있었다. CR 시스템의 종류와 IP 크기에 따른 정량적 영상특성을 평가한 선행연구에 의하면 픽셀크기가 100  $\mu\text{m}$  인 경우 MTF 10%의 응답 공간주파수는 3.93 lp/mm로 본 실험 결과와 유사한 형태를 보여주고 있었지만 150  $\mu\text{m}$  인 경우 2.8 lp/mm을 나타내 픽셀의 크기가 MTF에 영향을 주고 있었다. 그러나 Fuji사의 CR 시스템에서는 픽셀크기가 100  $\mu\text{m}$  인 경우 MTF 10%의 응답 공간주파수가 3.4 lp/mm로 보고하고 있어 Agfa사의 CR 시스템보다 낮게 측정되었지만 EC에 대한 언급

이 없는 한계점이 있었다[15]. 또한 DR 유방 X-선 시스템에서 MTF를 평가한 연구에서는 공간주파수가 1, 2, 3 lp/mm일 때 픽셀크기가 100  $\mu\text{m}$  인 간접방식의 DR 유방 X-선 시스템의 경우 85%, 71%, 54%로 측정되어 CR 시스템보다 높은 공간분해능을 보여주고 있지만 유방 X-선의 장비의 특성을 고려해볼 때 일반 X-선 장비보다 소초점을 사용하기 때문에 두 시스템을 단순비교에는 문제점이 있다[16].

본 연구에서는 평가가 미흡한 EC에 대한 품질 평가를 MTF로 수행함으로써 정량적인 값을 얻을 수 있었으며 EC에 변화에 의해서 MTF 측정값이 변함을 알 수 있었다. 특히, 육안적인 평가를 시행하여 실제 영상의 변화를 확인할 수 있었으며 히스토그램의 평균 농도 값이 증가하여 영상품질에 영향을 주었다. 이는 정밀하게 영상을 판독하여 정확한 진단을 내려야 하는 영상의학적 관점에서 작은 변화도 매우 중요한 의미를 갖는다. 이러한 변화는 EC를 크게 할 경우 더 많은 빛의 양을 확보하여 보다 밝은 사진을 얻을 수 있는 장점이 있지만 빛에 반응하는 입자들의 크기가 커지면서 영상을 이루는 입자들의 밀도도 높아져 영상품질이 거칠어지고 노이즈가 동반되는 단점도 있기 때문에 EC가 커져도 MTF값이 증가하지 못하는 이유로 판단된다.

향후 EC에 평가에 있어 MTF 이외에 잡음전력스펙트럼(noise power spectrum, NPS), 양자검출효율(detective quantum efficiency, DQE) 등과 같은 추가적인 영상평가 인자들에 대한 연구가 진행되어야 하며 영상의학 전문의로부터 임상적인 평가를 받아 CR 시스템에서 검사부위별 최적의 영상 감도 노출 분류를 진행해야 할 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 MTF를 이용하여 CR 시스템에서 EC에 따른 공간분해능을 평가하여 EC 200에서 가장 우수한 MTF 50%와 10%의 응답 공간주파수를 구하였다. 따라서 골절 등과 같이 높은 공간분해능을 요구하는 질병 진단에 유용할 것으로 사료된다. 또한 실제 팬텀영상에서 확인한 것처럼 같은 X-선 조사조건임에도 불구하고 EC를 조절함으로써 영상품질을 개선시킬 수 있었으므로

방사선량 저감화 방법으로 제안한다. 이러한 결과는 향후 EC와 관련된 연구에 기초자료로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] S. Metz, P. Damoser, R. Hollweck, R. Roggel, C. Engelke, K. Woertler, B. Renger, E. J. Rummeny, and T. M. Link, Chest radiography with a digital flat-panel detector: experimental receiver operating characteristic analysis. *Radiology*, Vol. 234, No. 3, pp. 776-84, 2005.
- [2] M. Ganten, B. Radeleff, A. Kampschulte, M. D. Daniels, G. W. Kauffmann, and J. Hansmann, Comparing image quality of flat-panel chest radiography with storage phosphor radiography and film-screen radiography. *Am J Roentgenol*, Vol. 181, No. 1, pp. 171-6, 2003.
- [3] R. R. Carlton, A. M. Alder, Principles of radiographic imaging: An Art and a Science. Cengage Learning, 2010.
- [4] N. V. Gevaert, ADC System Technical Documentation. Agfa, 2000.
- [5] ISO 12232: Photography-Digital still cameras-Determination of exposure index, ISO speed ratings, standard output sensitivity, and recommended exposure index, 2006.
- [6] J. A. Seibert, et al. Acceptance testing and quality control of photostimulable storage phosphor imaging systems, AAPM Report No. 93, 2006.
- [7] J. Y. Park, J. K. Park, S. S. Kang, C. W. Moon, H. W. Lee, and S. H. Nam, Comparison Study of the Modulation Transfer Function of a Prototype a-Se based Flat Panel Detector with Conventional Speed Class 400 Film/screen System. *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 40, No. 3, pp. 163-171, 2003.
- [8] C. B. Kim, The MTF Measurement of the Conventional X-ray System by using the Computed Radiography. *Journal of Korean Society of Radiological Science*, Vol. 28, No. 2, pp. 111-115, 2005.
- [9] K. J. Lee, M. G. Kim, J. W. Lee, and H. C. Kim, Research for The Environmental Optimization of Dose and Image quality in Digital Radiography. *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 50, No. 2, pp. 203-209, 2013.
- [10] H. Fujita, D. Y. Tsai, T. Itoh, et al, A Simple Method for Determining the Modulation Transfer Function in Digital Radiography. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. 11, No. 1, pp. 34-39, 1992.
- [11] B. Y. Lim, H. S. Park, J. H. Kim, K. H. Park, and H. J. Kim, Evaluation of Unexposed Images after Erasure of Image Plate from CR System. *Korean J Med Phys*, Vol. 20, No. 4, pp. 199-207, 2009.
- [12] J. M. Kim, Edge Profile Correction for Modulation Transfer Function on Digital X-ray Imaging System, *Journal of Korean Society of Radiological Science*, Vol. 30, No. 3, pp. 251-257, 2005.
- [13] J. Huh, I. J. Lee, The relative and absolute speed of radiographic screen-film systems. *Journal of radiological science and technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 67-80, 1993.
- [14] J. K. Park, B. J. Jung, J. Y. Choi, S. S. Kang, Image Quality Evaluation of Digital X-ray Image and Film Image using Contrast Method. *Journal of Korean Society of Radiological Science*, Vol. 34, No. 1, pp. 9-15, 2011.
- [15] J. Y. Jung, H. S. Park, H. M. Cho, C. L. Lee, S. R. Nam, Y. J. Lee, and H. J. Kim, Imaging Characteristics of Computed Radiography Systems, *Korean J Med Phys*, Vol. 19, No. 1, pp. 63-72, 2008.
- [16] H. S. Park, Y. N. Oh, H. J. Jo, S. T. Kim, Y. N. Choi, and H. J. Kim, Comparison Study of Image Quality of Direct and Indirect Conversion Digital Mammography System, *Korean J Med Phys*, Vol. 21, No. 3, pp. 239-245, 2010.

성 열 훈(Seoung, Youl Hun)



- 2002년 2월 : 가톨릭대학교 정보통신공학(공학사)
- 2005년 8월 : 가톨릭대학교 컴퓨터공학(공학석사)
- 2010년 8월 : 가톨릭대학교 의물리공학(이학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 방사선학과 조교수

· 관심분야 : 디지털방사선영상학, 디지털 3차원 의료영상, 디지털의료영상전송저장시스템.

· E-Mail : radimage@cju.ac.kr