

컴퓨터 방사선영상에서 고 관전압 기법을 이용한 안구 입사표면선량 감소에 관한 연구

성 열 훈* · 임 재 동**

*청주대학교 방사선학과 · **대원대학 방사선과

A Study on Reducing of Entrance Surface Dose with the Eye in the Computed Radiography by Using High Kilo Voltage Peak Technique

Youl-Hun Seoung* · Jea-Dong Rhim**

*Department of Radiology, The Ceongju University

**Department of Radiological Science, The Daewon University College

Abstract

The purpose of this study was to minimize of entrance surface dose (ESD) at the eye using high kVp technique in the computed radiography. We used REX-650R (Listem, Korea) general X-ray unit, and external detector with ESD dosimeter of Piranha 657 (RTI Electronics, Sweden). We used head of the whole body phantom. The total 64 images of X-ray anterior-posterior of skull were acquired using the film/screen (F/S) method and the digital of computed radiography method. The three radiology professor of more 10 years of clinical career evaluated a X-rays images in the same space by 5-point scale. The external detector was performed measurement of ESD of three times by same condition on the eye of the head phantom. The good image quality in the F/S method (90 kVp, 2.5 mAs) showed at the minimized ESD of 0.310 ± 0.001 mGy. the good image quality in the computed radiography method (90 kVp, 2.0 mAs) showed at the minimized ESD of 0.180 ± 0.002 mGy ($P = 0.002$). Finally the radiation dose could reduced about 50% in the computed radiography method more than the F/S method. In addition the eye entrance surface dose using high kVp technique with the computed radiography was reduced 92% more than conventional technique (F/S method).

Keywords : Computed Radiography, High kVp Technique, Eye Entrance Surface Dose

1. 서 론

최근 증가하고 있는 교통사고에 의한 두개부 상해와 각종 뇌질환과 관련하여 X선 검사도 증가하고 있다 [1,2]. 특히 두개부에는 방사선 민감도가 높은 안구, 이하선 그리고 갑상선 등이 있어 방사선 노출에 따른 신체적 장애의 발생 위험을 주의해야 한다[3,4]. 2009년 식품의약품안전청에서 발행한 의료기기 안전성 서한에

의하면 X선을 이용한 컴퓨터단층촬영 (computed tomography, CT) 뇌관류 (brain perfusion) 영상 검사는 과도한 방사선 피폭위험을 줄 수 있다고 주의를 주고 있다[5]. 따라서 CT검사 시 낮은 방사선량으로 우수한 영상의 질을 확보하기 위한 선행연구 들이 두개부, 흉부, 복부 등 구체적인 인체 부위와 관련하여 많이 이루어지고 있다[6-8]. 그러나 두개부 일반 X선 검사에 대한 선량 감소에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

† 교신저자: 임재동, 충청북도 제천시 대학로 274 대원대학 방사선과

M · P: 010-5279-1876, E-mail: radrhim@mail.daewon.ac.kr

2011년 3월 2일 접수; 2011년 5월 31일 수정본 접수; 2011년 6월 2일 게재확정

일반 X선 영상은 1895년 뢰트겐이 X선을 발견한 이후 100년 이상 film/screen (F/S) 방식을 이용해 왔다.

그 후 컴퓨터의 응용 기술이 발전하여 1980년대 중반에 저장형광판 (image plate, IP)을 이용한 컴퓨터 방사선영상 (computed radiography, CR)이 등장하면서 아날로그의 X선 영상은 디지털 X선 영상으로 변환되기 시작하였다[9]. 이러한 디지털 방사선 기술은 지속적으로 발전하여 X선을 직접 디지털 신호로 변환할 수 있는 평판형 검출기를 이용한 디지털 방사선영상 (digital radiography, DR)이 등장하였다[10]. 이러한 디지털 시스템은 F/S 방식보다 영상의 균일성 (uniformity) 및 재현성 (repeatability) 그리고 직선성 (linearity)이 우수한 장점을 가지고 있다[11]. 뿐만 아니라 환자선량과 영상의 질 관리 측면에서도 진단적 오류가 없이 선량을 감소시킬 수 있다는 연구 결과도 있다[12-15].

또한 선량을 감소시키기 위한 방법으로는 F/S 방식에서 널리 사용된 고 관전압 방식 (high kilovoltage technique)을 이용하는 것이다. 이는 피폭선량과 직접적인 영향을 미치는 관전류량 (mAs)을 최소화하고 관전압을 극대화시키는 방법이지만 산란선을 발생시킬 수 있는 단점이 있어 이용에 제한을 받는다[16].

1996년 2월 국제원자력기구 (international atomic energy agency, IAEA)의 safety series No.115에 의하여 진단 방사선검사에서의 지침이 되는 수치가 권고되고 있다[17]. 그러나 이러한 수치는 F/S 방식을 근거한 자료이며 광의적인 촬영부위에 대한선량 지침이어서 안구와 같은 작은 장기에 대한 입사표면선량 (entrance surface dose, ESD)은 고려되지 못한 단점이 있다.

국내 의료시설에서 방사선장치의 이용실태에 대한 선행연구에 따르면[18] 2005년 현재 일반 X선 촬영장치가 42.0%, 투시 X선 촬영장치가 29.4%, 치과용 X선 장치가 13.2%, CT장치가 8.1% 그리고 유방촬영장치가 7.2%로 조사되어 일반 X선 촬영장치가 가장 많이 보급되고 있었다. 그 중 F/S 방식이 46.8%, CR 방식이 26.6%, DR 방식이 17.7% 그리고 무응답이 8.9%로 조사되어 F/S 방식과 digital 방식이 서로 공존하고 있는 상황이지만 digital 방식의 방사선영상이 앞으로 더 널리 사용될 추세이다. 그리고 전 세계적으로 방사선이 의료용으로 상용되기 위해서는 영상의 질을 유지한다는 조건에서 환자피폭선량에 대한 안전 표준을 정하도록 권고하고 있다[19]. 그러나 가장 범용적으로 사용되고 있고 방사선 조사부위가 인체에서 방사선 민감성이 높은 장기가 있는 곳임에도 불구하고 이에 대한 선량 감소 노력은 미흡한 실정이다. 선행된 연구에 의하면 우리나라 대한병원협회에 등록된 종합병원 278개에서 사용하고 있는 두개부의 평균조건은 72.4 ± 5.3 kVp,

27.5 ± 18.1 mAs로 조사되었고 이때 입사표면선량은 2.23 mGy이었다[18].

따라서 본 연구에서는 증가하고 있는 두개부 일반 X선 검사에서 방사선 민감성이 높고 가장 쉽게 노출되는 안구부위를 중심으로 일반적으로 현재 가장 널리 사용되고 있는 IP를 이용한 컴퓨터 방사선영상에서 고 관전압 방식을 이용하여 최소한의 입사표면선량으로 영상의 질을 유지할 수 있는 검사조건의 최적화를 목적으로 하였다.

2. 실험장비 및 방법

2.1 실험장비

실험에 이용한 방사선 발생장치로 REX-650R (Listem, Korea)은 인버터 (inverter) 3상 방식으로 초점의 크기가 0.6 mm이고 양극의 target 재질은 텅스텐 (W)이며 0.9 mmAl의 고유여과 (inherent filtration) 및 1.5 mmAl의 부가여과 (additional filtration)를 가지고 있다.

또한 본 실험에 사용된 표면흡수선량계 (RTI Electronics, Sweden)는 오차 허용범위가 $\pm 5\%$ 이내에서 최소 0.5 nGy에서부터 최대 1500 Gy까지 선량 측정이 가능한 Piranha 657의 external detector를 이용하였다. 실험용 모델 (phantom)은 Whole Body Phantom의 두개부 PBU-50 (Kyotokaku, Japan)을 이용했다. F/S 방식에서 필름 자동 현상기 KONICA MINOLTA (Konica, Japan)을 이용하였으며 digital 방식의 컴퓨터 방사선영상은 Kodak 975 system (Kodak, Japan)을 사용하였다. 디지털로 획득된 방사선영상의 저장과 전송은 의료영상저장전송시스템 (Infinit, Korea)을 이용하였다. 마지막으로 획득된 digital 영상의 평가를 위해 미국 국립보건원 (national institutes of health, NIH)에서 제공하는 디지털 영상분석 프로그램인 Image J를 사용하였다[17].

2.2 실험방법

2.2.1 방사선영상 획득방법

영상획득을 위한 방사선의 입사 중심선은 두개부 모델의 orbitomeatal-line (OML)과 필름 또는 IP에 수직이 되도록 하였으며 입사거리는 100cm로 설정하였고 정면 anterior-posterior (AP)방향으로 코뿌리점(nasion)을 향하여 입사하였다. 이 때, 관전압은 50 kVp에서 90 kVp까지 10 kVp씩 변화를 주었으며 관전류는 변화된 관전압을 바탕으로 두개부 해부학적 영상정보를 볼 수 있는 1~50 mAs 범위 안에서 설정하였다. 그런 다음

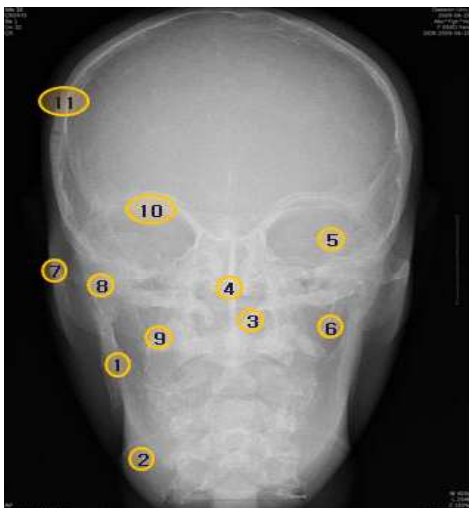
F/S 방식에서 필름을 이용하여 50 kVp에서 6 장, 60 kVp에서 8 장, 70 kVp에서 7 장, 80 kVp에서 7 장 그리고 90 kVp에서 4 장을 획득하여 총 32 장의 영상을 얻었으며 digital 방식에서는 IP를 이용하여 영상 전처리 과정 없이 31 장의 영상을 획득하였는데 이 때 50 kVp에서 7 장, 60 kVp에서 8 장, 70 kVp에서 6 장, 80 kVp에서 5 장 그리고 90 kVp에서 5 장을 얻었다. 획득된 digital 영상은 표준 digital imaging and communication in medicine (DICOM) 형식으로 변환하여 의료영상전송 저장장치 (Picture Archiving and Communication System, PACS)로 저장 하였다.

2.2.2 영상품질 측정방법

영상품질 측정방법은 F/S방식과 digital방식을 동시에 평가 할 수 있는 육안평가 (임상평가)를 통해 최적의 조건과 영상들을 선별하였고, 특히 digital방식에서만 나타나는 잡음 (noise)을 측정하여 선별된 컴퓨터 X 선 영상의 질에 대해 유의성을 평가하였다.

① 육안평가 (임상평가)

F/S방식과 digital방식에서 얻어진 각각의 영상들은 [그림 1]처럼 두개부의 주요 해부학적 지표 11부위 (ramus, mandible body, nasal concha, nasal septum, pyramidal ridge, styloid process, zygomatic arch, zygomatic bone, atlas lateral mass, orbit wall, cranial wall)를 선정하여 아래 기준에 대해 0~5점을 부여하였다.



[그림 1] Anatomical land marks of skull anterior-posterior with X-ray

- ① ramus, ② mandible body, ③ nasal concha, ④ nasal septum, ⑤ pyramidal ridge, ⑥ styloid process, ⑦ zygomatic arch, ⑧ zygomatic bone, ⑨ atlas lateral mass, ⑩ orbit wall, ⑪ cranial wall)

0점: 식별 불가

1점: 식별은 가능하나 매우 불분명함

2점: 확실히 식별은 되나 진단적 가치는 없음

3점: 화질은 좋지 않지만 진단이 가능함

4점: 약간의 화질 저하가 있지만 진단이 가능함

5점: 화질 저하 없이 매우 선명한 영상

평가자는 임상경력 10년 이상의 방사선과 교수 3명이 동일한 공간에서 5점 척도 방식으로 교차 평가하였다. 이 때 평가한 3명의 교수 합의하에 55점 만점을 기준으로 40점 이상인 영상을 진단적 가치가 있는 영상으로 정의하였다.

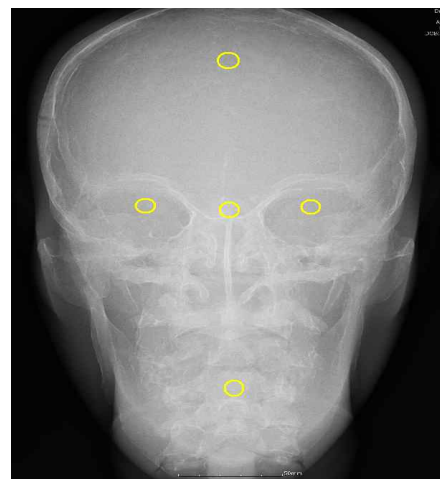
평가방법은 영상에서 관심영역 (region of interest, ROI)을 그려 구한 영상의 잡음으로 평가하였다. 잡음 측정을 실행하기 위해서, 획득된 영상 f(i, j)의 ROI 내 표준편차 (δ)가 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i,j \in ROI} [f(i, j) - \bar{f}]^2}{N - 1}} \quad \text{식 (1)}$$

이때 i와 j는 2차원 영상의 지표이고, N은 ROI 안에 있는 픽셀의 총 수, f는 평균 픽셀 강도로서, 식 (2)와 같은 공식을 이용해 계산할 수 있다[20].

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i,j \in ROI} f(i, j) \quad \text{식 (2)}$$

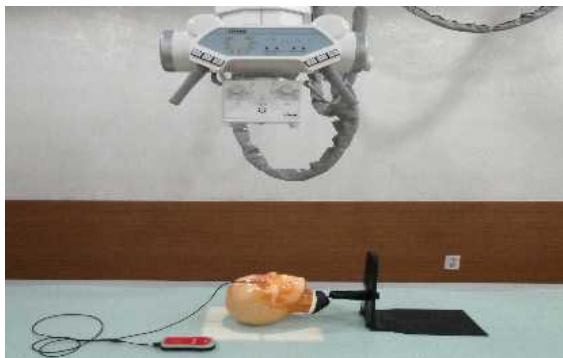
[그림 2]처럼 영상의 평가 부위는 좌, 우, 상, 하 그리고 정중앙을 ROI로 선정한 후 디지털 영상분석 프로그램인 Image J에 의해 자동 계산된 δ를 평균한 값으로 영상의 잡음을 구하였다. 이때 ROI의 크기는 균일성 (homogeneity)을 해치지 않는 범위 내에서 약 0.3 cm² 정도로 정하였다.



[그림 2] Locations in the region of interest for the head phantom

2.2.3 선량 측정방법

각각의 kVp에서 선정된 영상 중 mAs가 가장 낮은 값에서 선량을 측정하였다. [그림 3]처럼 두개부 안구 위치의 입사표면선량을 측정하기 위해서 모델의 안구 위에 external detector를 올려놓고 측정하였다. 이때의 입사거리는 테이블과 안구의 높이 (20 cm)만큼을 뺀 80 cm 이었으며, 조사야는 안구 흉체 크기와 비슷한 1 X1 cm² 로 조절하였다. 재현성과 반복성을 위해서 같은 조건에서 3 회 반복 측정하였다.



[그림 3] Measurement for entrance surface dose on the eye ball of the head phantom

2.2.4 통계적 분석

결과데이터는 SPSS software (SPSS 15.0 for Windows, SPSS, Chicago, IL USA)로 통계학적 분석을 실행하였다. 분석기법으로는 영상평가에 대한 평가자들의 상호 평가 일치도를 비교하기 위해 ANOVA 검증을 실시하였다. 그리고 F/S 방식과 digital 방식에 의하여 최종 선정된 검사조건의 입사표면선량을 비교하기 위해 paired t-test를 하였다. 또한 컴퓨터 방사선영상들의 질에 대한 유의성 평가를 위해 ANOVA 검증을 실시하였다. 이 때, 유의 확률 (P-value)이 0.05 이하이면 차이가 유의 하다고 판단하였다.

3. 결 과

3.1 영상품질 평가

3.1.1 육안평가(임상평가)

F/S 방식에 의하여 얻어진 32 장의 영상에 대한 평가자들의 평가는 통계학적으로 P 값이 0.111로 유의한 차이가 없었으며 선정된 영상의 검사조건은 50 kVp에서는 32.0 mAs, 60 kVp에서는 16.0 mAs, 70 kVp에서는 10.0 mAs, 80 kVp에서는 5.0 mAs 그리고 90 kVp에서는 2.5 mAs으로 나타났다 <표 1>.

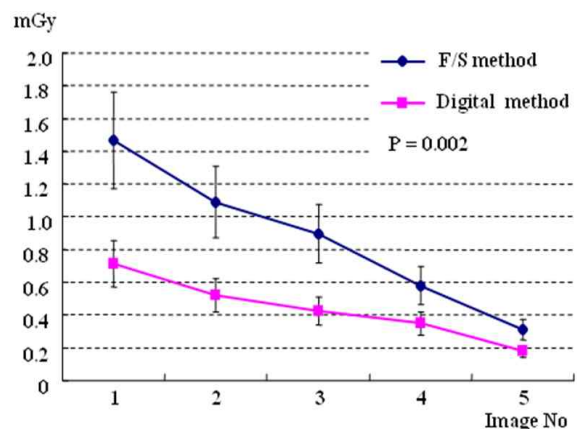
<표 1> Final results for kVp and mAs selected by evaluators in the F/S method

Image No	kVp	mAs	Evaluator 1	Evaluator 2	Evaluator 3	Mean ± SD
1	50	32	46	42	43	43.7 ± 2.1
2	60	16	42	44	43	43.0 ± 1.0
3	70	10	40	44	41	41.7 ± 2.1
4	80	5	41	46	43	43.3 ± 2.5
5	90	2.5	42	46	40	42.7 ± 3.1
P-value			0.111			

Digital 방식에 의하여 얻어진 32 장의 영상에 대한 평가자들의 평가는 통계학적으로 P 값이 0.514로 유의한 차이가 없었으며 선정된 영상의 검사조건은 50 kVp에서는 16.0 mAs, 60 kVp에서는 8.0 mAs, 70 kVp에서는 5.0 mAs, 80 kVp에서는 3.2 mAs 그리고 90 kVp에서는 2.0 mAs으로 나타나 F/S 방식에 비해 mAs가 50% 줄어든 것을 알 수 있었다 <표 2>.

<표 2> Final results for kVp and mAs selected by evaluators in the digital method

Image No	kVp	mAs	Evaluator 1	Evaluator 2	Evaluator 3	Mean ± SD
1	50	16	45	46	47	46.0 ± 1.0
2	60	8	46	43	48	45.7 ± 2.5
3	70	5	46	47	46	46.3 ± 0.6
4	80	3.2	44	44	43	43.7 ± 0.6
5	90	1.6	45	46	47	46.0 ± 1.0
P-value			0.514			



[그림 4] Comparison standard deviation in the region of interest with computed radiography by ANOVA

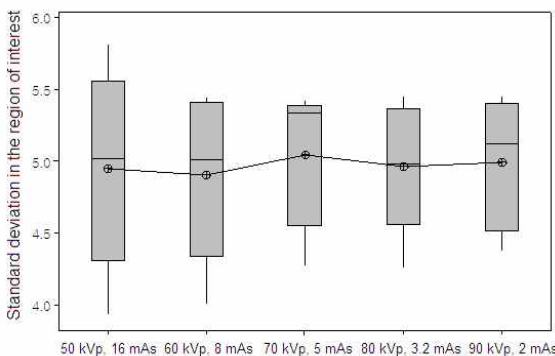
3.1.2 잡음(noise)평가

선별된 컴퓨터 방사선영상들의 잡음평가를 한 결과, 50 kVp, 16.0 mAs에서 4.95 ± 0.70 , 60 kVp, 8.0 mAs에서 4.90 ± 0.58 , 70 kVp, 5.0 mAs에서 5.05 ± 0.49 , 80 kVp, 3.2 mAs에서 4.97 ± 0.46 , 그리고 90 kVp, 2.0 mAs에서 4.99 ± 0.46 으로 나타났으며 유의 확률 (P-value)이 0.995로 유의한 차이가 없어 동등한 영상의 질을 얻었다 [그림 4].

3.2 입사표면선량 평가

F/S 방식에서 선정된 검사조건에 대한 입사표면선량은 50 kVp, 32.0 mAs에서 1.468 ± 0.005 mGy, 60 kVp, 16.0 mAs에서 1.088 ± 0.002 mGy, 70 kVp, 10.0 mAs에서 0.897 ± 0.002 mGy, 80 kVp, 5.0 mAs에서 0.580 ± 0.002 mGy, 그리고 90 kVp, 2.5 mAs에서 0.310 ± 0.001 mGy으로 나타나 90 kVp 고 관전압일수록 입사표면선량이 감소하였다.

Digital 방식에서 선정된 검사조건에 대한 입사표면선량은 50 kVp, 16.0 mAs에서 0.713 ± 0.001 mGy, 60 kVp, 8.0 mAs에서 0.522 ± 0.001 mGy, 70 kVp, 5.0 mAs에서 0.424 ± 0.002 mGy, 80 kVp, 3.2 mAs에서 0.350 ± 0.002 mGy, 그리고 90 kVp, 2.0 mAs에서 0.180 ± 0.002 mGy으로 나타나 마찬가지로 고 관전압일수록 입사표면선량이 감소하였으며 F/S 방식에 비해서 입사표면선량이 50% 줄어든 것을 알 수 있었다 (P=0.002) [그림 5].



[그림 5] Comparison F/S method with digital method for entrance surface dose on the eye ball of the head phantom by selected images

4. 결론 및 토의

본 연구에서 측정된 F/S 방식에서의 최소 입사표면선량 (0.310 ± 0.001 mGy)과 digital 방식에서의 최소

입사표면선량 (0.180 ± 0.002 mGy)과 비교했을 때 86.1%에서 91.9%까지 입사표면선량을 감소시킬 수 있었다. 그러나 선행연구 결과의 입사표면선량은 입사거리가 100 cm이었고 본 연구 결과는 안구위치를 고려한 80 cm로 입사거리에 의한 차이점은 고려해야 한다. 또한 F/S 방식과 digital 방식을 비교하여 보면 같은 영상의 질을 가지고도 약 50%의 선량 차이가 나타나는데 이는 Metz 등에 의한 선행 연구와도 일치하는 결과이다[12]. 그리고 선행연구에서 조사된 검사조건은 설문조사에 의한 평균조건으로 허용범위를 고려해도 F/S 방식과 digital 방식의 구분 없이 사용하고 있음을 알 수 있다. 이는 환경변화에 따른 검사기술의 다양성과 전문성이 미흡하기 때문이라고 생각하며 이러한 변화에 맞는 구체적인 안전표준을 정해야 할 것이다. 따라서 본 연구의 결론은 두개부 디지털 방사선영상에서 고관전압 기법을 이용하면 영상의 질은 유지하면서 안구 입사표면선량은 기존의 검사법에 비해 최대 92%까지 감소시킬 수 있으며 이때의 검사조건은 90 kVp, 2.0 mAs이었다. 특히 소아와 같은 어린 환자들의 두개부 검사 시에는 디지털 방사선영상에서 고관전압 기법을 이용한다면 환자선량을 최소화할 수 있으리라 사료된다.

5. 참고 문헌

- [1] Pinsky, H.M. Dyda, S. Pinsky, R.W. Misch, K.A. and Sarment, D.P. "Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT." *Dentomaxillofac Radiol*, 35 (2006) : 410-416
- [2] Korea National Statistical Office. "The Annual Report on the Cause of Death Statistics." Korea, (2008)
- [3] White, S.C. "Assessment of radiation risk from dental radiography." *Dentomaxillofac Radiol*, 21 (1992) : 118-126
- [4] Kim, S.Y. Han, J.W. Park, I.W. "Comparison of cone beam CT and conventional CT in absorbed and effective dose." *Koan J Oral maxillofac Radiol*, 38 (2008) : 7-15
- [5] Food & Drug Administration. "Dear Health-care Professional Letter." Seoul, Korea (2009)
- [6] Kalra, M.K. Rizzo, S. Maher, M.M. et al. "Chest CT Performed with Z-Axis Modulation: Scanning Protocol and Radiation Dose." *Radiology*, 237 (2005) : 303-308
- [7] Namasivayam, S. Kalra, M.K. Pottala, K.M. Waldrop, S.M. and Hudgins, P.A. "Optimization of Z-Axis

Automatic Exposure Control for Multidetector Row CT Evaluation of Neck and Comparison with fixed tube current technique for image quality and radiation dose." *AJNR Am J Neuroradiol* 27 (2006) : 2221-2225

[8] Seoung, Y.H. Kim, Y.O. and Choe, B.Y. "Reducing of craniofacial radiation dose using automatic exposure control technique in the 64 multi-detector computed tomography." *Korean J Med Phys* 21(2) (2010) : 137-144

[9] Sonoda, M. Takano, M. Miyahara, J. and Kato, H. "Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence." *Radiology*, 148 (1983) : 833-838

[10] Dobbins, J.T. 3rd, Ergun, D.L. Rutz, L. Hinshaw, D.A. Blume, H. and Clark, D.C. "DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices. *Med Phys*. 22(10) (1995) : 1581-1593

[11] Floyd, C.E. Jr, Warp, R.J. Dobbins, J.T. 3rd, Chotas, H.G. Baydush, A.H. Vargas-Voracek, R. and Ravin, C.E. "Imaging characteristics of an amorphous silicon flat-panel detector for digital chest radiography." *Radiology*, 218(3) (2001) : 683-688

[12] Metz, S. Damoser, P. Hollweck, R. Roggel, R. Engelke, C. Woertler, K. Renger, B. Rummeny, E.J. and Link, T.M. "Chest radiography with a digital flat-panel detector: experimental receiver operating characteristic analysis." *Radiology*, 234(3) (2005) : 776-784

[13] Pascoal, A. Lawinski, C.P. Mackenzie, A. Tabakov, S. and Lewis, C.A. "Chest radiography: a comparison of image quality and effective dose using four digital systems." *Radiat Prot Dosimetry*, 114 (2005) : 273-277

[14] Strotzer, M. Gmeinwieser, J. Völk, M. Fründ, R. Seitz, J. Manke, C. Albrich, H. and Feuerbach, S. "Clinical application of a flat-panel X-ray detector based on amorphous silicon technology: image quality and potential for radiation dose reduction in skeletal radiography." *AJR. Am J Roentgenol* 171(1) (1998) : 23-27

[15] Strotzer, M. Völk, M. Wild, T. von Landenberg, P. and Feuerbach, S. "Simulated bone erosions in a hand phantom: detection with conventional screen-film technology versus cesium iodide-amorphous silicon flat-panel detector." *Radiology*

215(2) (2000) : 512-515

[16] Kang, H.S. Kim, C.K. and Huh, J. "A Study on High Kilovoltage Technique in taking Chest Radiogram." 2(1) (1979) : 37-43

[17] Rasband, W.S. ImageJ, U.S. "National Institutes of Health." Bethesda, Maryland, USA, 1997-2006.

[18] Kim, Y.H. Choi, J.H. Kim, S.S. Lee, C.H. Cho, P.K. Lee, Y.B. and Kim, C.M. "A study on the utilization of diagnostic equipments and patient dose for diagnostic radiological procedures in Korea." *Korean J Med Phys* 16(1) (2005) : 10-15

[19] IAEA "International basic safety standards for protection against ionizing radiation and the safety of radiation source." IAEA Safety Series No. 115, Vienna, (1996) : 279-280

[20] Seeram, E. "Computed Tomography : Physical Principles, Clinical Applications, and Quality Control. Saunders Book Company." British Columbia, (2009) : 202-203

저 자 소개

성 열 훈



가톨릭대학교 공학사, 공학석사, 의물리공학 박사취득, 관심분야는 의학물리 및 방사선 안전관리이고 현재 청주대학교 방사선학과 교수로 재직 중이다.

주소: 충북 청주시 상당구 대성로 588번지 청주대학교 방사선학과

임 재 동



연세대학교 보건학석사, 명지대학교 산업공학과에서 공학박사 취득, 관심분야는 방사선/시스템 안전이고 현재 대원대학 방사선학과 교수로 재직 중이다.

주소: 충북 제천시 대학로 274번지 대원대학 방사선과