

Optimization of Abdominal X-ray Images using Generative Adversarial Network to Realize Minimized Radiation Dose

Sangwoo Kim*, Jae-Dong Rhim

Department of Radiological science, Daewon University College

Received: January 20, 2023. Revised: February 24, 2023. Accepted: April 30, 2023.

ABSTRACT

This study aimed to propose minimized radiation doses with an optimized abdomen x-ray image, which realizes a Deep Blind Image Super-Resolution Generative adversarial network (BSRGAN) technique. Entrance surface doses (ESD) measured were collected by changing exposure conditions. In the identical exposures, abdominal images were acquired and were processed with the BSRGAN. The images reconstructed by the BSRGAN were compared to a reference image with 80 kVp and 320 mA, which was evaluated by mean squared error (MSE), peak signal-to-noise ratio (PSNR), and structural similarity index measure (SSIM). In addition, signal profile analysis was employed to validate the effect of the images reconstructed by the BSRGAN. The exposure conditions with the lowest MSE (about 0.285) were shown in 90 kVp, 125 mA and 100 kVp, 100 mA, which decreased the ESD in about 52 to 53% reduction), exhibiting PSNR = 37.694 and SSIM = 0.999. The signal intensity variations in the optimized conditions rather decreased than that of the reference image. This means that the optimized exposure conditions would obtain reasonable image quality with a substantial decrease of the radiation dose, indicating it could sufficiently reflect the concept of As Low As Reasonably Achievable (ALARA) as the principle of radiation protection.

Keywords: Exposure Dose, Generative Adversarial Network, Abdomen Imaging, Deep Learning, ALARA

I. INTRODUCTION

디지털 엑스선 시스템 (Digital x-ray System, DxS) 은 필름/증감지 시스템과 비교할 때, 엑스선 촬영 조건에 따른 빔 스펙트럼과 산란선 효과는 유사하나 영상 후 처리 적용으로 인한 엑스선 영상의 신호 대 잡음비 및 대조도가 증가한다^[1]. 특히, 그 DxS는 매우 낮은 조사선량으로 얻은 영상 일지라도 노이즈 감소를 위한 영상 처리 과정을 통해 개선된 영상을 얻을 수 있어 인체 피폭선량 감소에 대한 장점이 있다^[2,3]. 이는 방사선과 관련된 모든 피폭은 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지해야 한다는 방어원칙인 ALARA(as low as reasonably achievable)에 기여된다^[4]. 하지만 DxS의 사용자가

높은 조사선량 설정으로 인한 노출에도 영상 농도 및 밝기를 조절할 수 있음에 따라 우수한 품질의 영상을 획득할 수 있어 인체에 대한 조사선량의 객관적인 설정이 어려운 실정이다^[3,5]. 이 현상은 DxS에서 낮은 조사선량 사용 시 영상의 노이즈에 대한 두려움으로 인한 적절한 조사선량보다 높은 조사선량으로 영상을 획득하려고 하는 선량크리프(Dose Creep, DCP) 현상의 주요한 원인이 된다^[1,5]. 임상 환경에서 엑스선 촬영 조건은 검사 부위, 목적, 그리고 환자의 두께와 같은 다양한 변수들을 고려하면서 설정되어야 한다. 반면, 이러한 변수들에 대해 조사선량의 표준화 지표를 명확히 제시하기 어려운 점과 동시에 많은 환자를 신속하게 처리해야 하는 환경이 대부분의 진단 가치가 높은 영상으로 획득할 수 있는 높은 조사선량 노출로 이어져 그 DCP

* Corresponding Author: Sangwoo Kim

E-mail: radmri@daewon.ac.kr

Tel: +82-43-649-3304

현상이 증가한다^[3]. 이와 같은 이유로, DxS의 사용에 따른 인체 피폭선량 최소화를 위해 엑스선 촬영 조건들과 엑스선 영상 품질 간의 변화를 조사할 필요가 있다.

인체 피폭선량은 합당한 영상 대조도가 생성된다는 조건하에 높은 관전압(kVp)과 낮은 관전류(mA)의 설정으로 감소시킬 수 있다^[6]. kVp 증가는 높은 투과도로 인한 피폭선량은 감소하지만, 컴프턴 효과의 증가로 진단 영상의 포그 현상으로 인한 영상 화질의 감소가 발생한다. 특히, 복부를 구성하는 장기들은 낮은 원자번호로 인한 컴프턴 효과가 더욱 증가한다^[7]. 게다가, 낮은 mA의 사용은 작은 엑스선 양의 노출로 피폭선량이 감소하지만, 디지털 영상 재구성과정에서 양자반점 발생으로 인한 노이즈가 발생할 수 있다^[8]. 적절한 관전류량은 검사 부위와 환자의 두께 등과 같은 다양한 변수들로 최적화된 설정은 매우 어렵기 때문에, 현재 임상 환경에서는 자동노출제어장치(auto exposure control, AEC)가 활용되고 있다^[5,9]. 이 AEC는 이온 전리조를 이용하여 영상의 농도에 필요한 적절한 방사선량을 자동으로 조사될 수 있도록 해주는 장치로, 복부 일반 엑스선 검사에서 AEC 사용은 입사표면 선량은 약 12%의 감소가 증명되었다^[10,11]. 하지만, 이 AEC의 사용은 피사체의 중심 검사 위치의 변화에 따라 입사표면 선량의 변화가 발생하였고, 몸무게와 체질량 지수가 증가함에 따라서도 입사표면 공기커마 값의 급격한 증가가 관찰되었다^[10,12-14]. 게다가, 척추체 유합술과 같은 방사선 흡수가 높은 물질이 체내 삽입된 상태에서는 더욱 높은 피폭선량의 증가가 나타날 수도 있다^[15,16]. 황준호 등의 연구진들은 인터벤션 장치에서 AEC와 수동노출 사용 시 조사선량은 약 2배 정도 감소하는 결과를 증명했지만, 수동노출의 경우 피사체 두께에 다른 선량의 감소와 영상 화질의 명확한 관계는 보장할 수 없다고 언급했다^[9]. 이는 촬영 조건의 수동 조절을 기반한 합당한 영상 품질이 보장만 된다면 인체 피폭선량을 상당히 줄일 수 있을 것으로 예측된다. 따라서, 고관전압과 저관전류의 설정으로 방사선 조사선량의 최소화와 이에 따른 영상 노이즈의 보정이 가능한 추가적 연구가 필요하다.

최근 딥러닝 기법들은 의료영상처리 분야에서 영상 분할과 관독뿐만 아니라 영상 화질개선 기법도 주목받고 있다^[17]. 특히, 컴퓨터 단층촬영이나 핵의학 검사에서 저선량 영상의 화질을 개선함으로써 피사체의 피폭선량을 감소시키는 연구들이 활발히 진행되고 있다^[18,19]. 딥러닝기반 연구들은 대량의 데이터 셋을 확보해야 하는 문제점이 있지만, 생성적 적대 신경망(Generative adversarial Network, GAN)을 활용하여 하나의 영상만으로 고해상도 영상 처리가 가능한 Deep Blind Image Super-Resolution GAN (BSRGAN)기법이 증명되었다. 이 BSRGAN은 콘볼루션 커널을 활용한 무작위성 영상 흐림과 다양한 보간 방법을 이용한 다운 샘플링, 그리고 여러 가지의 노이즈 레벨을 가진 가우시안 필터들을 적용한 노이즈 캔슬링을 동시에 처리하는 다소 복잡한 방법이지만, 노이즈 감소와 동시에 고해상도 영상을 하나의 영상으로만 추출한다는 관점에서 아주 실용적인 영상처리기법이다^[20]. 본 연구는 복부 촬영 시 인체 피폭선량을 최소화하기 위해 높은 관전압과 낮은 관전류 설정으로 발생하는 영상 화질 문제를 BSRGAN 기법을 활용하여 해결하고자 하였으며, 각 촬영 조건을 단계적으로 변화시켜 선량 감소 범위와 그 영상 품질을 평가한 후 가장 합리적인 복부 촬영 파라미터를 제시하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

인체 등가물질 X-ray 팬텀(PBU-50, KYOTO KAGAKU, Japan)은 촬영 조건변화에 따른 복부 영상을 측정하기 위해 사용되었다. 촬영 장비는 LISTEM (REX-525R, LISTEM, Korea)이며, 복부영상은 Kodak DirectView 시스템(CR 975, USA)의 14 × 17 inch 영상판 (image plate, IP)을 이용하여 획득하였다. 2021년도 건강보험심사평가원의 국내 의료장비 상세현황에 따라^[21], 컴퓨터영상처리장치(Computed Radiography, CR)가 디지털방사선촬영장치(Digital Radiography, DR, 3,514 대)보다 대략 2배 (7,822 대)가 많이 보급되어 있어 본 연구의 보편성과 확장성을 위해 CR 장치를 사용하였다. 촬영 조건은 관전류를 50 ~ 400 mA의 범위 내에서 50, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400 mA로 설정하였고, 각 관전류 마다 시간은 0.1초로 고정한 후 관전압은 50 ~ 120 kVp에서 10 kVp씩 증가시키면서 복부영상을 획득하였다. 각 촬

Table 1. Quantitative measurement of entrance surface doses by each exposure condition.

kVp \ mA	50	100	125	160	200	250	320	400
50	0.009 mR	0.016 mR	0.020 mR	0.024 mR	0.029 mR	0.038 mR	0.046 mR	0.057 mR
60	0.014 mR	0.021 mR	0.027 mR	0.033 mR	0.041 mR	0.055 mR	0.065 mR	0.082 mR
70	0.017 mR	0.028 mR	0.034 mR	0.043 mR	0.053 mR	0.070 mR	0.085 mR	0.106 mR
80	0.022 mR	0.038 mR	0.047 mR	0.058 mR	0.071 mR	0.091 mR	0.112 mR	-
90	0.025 mR	0.043 mR	0.053 mR	0.067 mR	0.086 mR	0.106 mR	-	-
100	0.032 mR	0.054 mR	0.067 mR	0.083 mR	0.109 mR	-	-	-
110	0.035 mR	0.061 mR	0.077 mR	0.097 mR	-	-	-	-
120	0.025 mR	0.073 mR	0.087 mR	0.111 mR	-	-	-	-

영 조건의 영상들은 DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine)파일 형식으로 저장하였다. 표면선량 측정은 라드 체크플러스(RAD-CHECK Plus 06-526, FLUKE, USA)를 사용하였고, 그 방법으로는 초점-필름간 거리(source image distance, SID)는 100 cm으로 설정하고 조사야 크기는 15 × 15 cm²로 조정하였다. 표면선량 측정을 위한 촬영 조건은 위의 복부영상 획득에 사용된 촬영 조건들을 동일하게 사용하였고, 복부 영상의 기준 조건인 80 kVp와 320 mA보다 높게 측정된 표면선량 수치들은 실험 대상에서 제외하였다. 본 실험은 표면선량 및 복부 영상의 재현성을 검증하기 위해 동일한 방식으로 3회 반복해서 진행하였다.

촬영조건 변화에 따라 획득한 복부 영상들은 BSRGAN 기법을 통해 재구성하였다^[20]. 그 재구성 알고리즘은 BSRGAN 기법 중 다수의 품질 요소를 통한 JPEG 압축방법, 카메라 센서 노이즈, 미가공 영상 노이즈 모델을 제외한 유사한 네트워크 모델로 수정하였으며, 이는 구글 코랩의 GPU 런타임 모드를 통한 파이토치 라이브러리로 작성한 후 DICOM 파일의 입력을 통한 복부 영상을 재구성하였다. 그 재구성이 완료된 복부 영상들은 80 kVp와 320 mA의 복부 영상을 기준으로 그 차이를 비교 분석하였다. 영상분석 방법으로는 평균제곱오차(mean squared error, MSE, Eq. 1), 최대 신호 대 잡음비(peak signal-to-noise ratio, PSNR, Eq. 2), 그리고 이미지 유사성 측정(structural similarity index measure, SSIM, Eq. 3)을 활용하였고, 그 정량적 수치들은 MATLAB (MathWorks, MA, USA)을 사용하여 계산하였다.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{ref} - X_{img})^2 \quad (1)$$

n : 영상 화소의 총 개수

X_{ref} : 80 kVp, 320 mA로 촬영한 복부영상

X_{img} : 각 촬영조건에 따라 획득한 복부영상

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

MAX : 복부영상 내 화소들의 신호 크기가 가장 큰 수치

MSE : 평균제곱오차

$$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (3)$$

μ_x : 복부 영상의 x축 화소들의 평균 값

μ_y : 복부 영상의 y축 화소들의 평균 값

σ_x : 복부 영상의 x축 분산 값

σ_y : 복부 영상의 y축 분산 값

σ_{xy} : x축과 y축의 공분산 수치

c₁ : (k₁L)², k₁ = 0.01

c₂ : (k₂L)², k₂ = 0.03

L : 복부영상의 화소들에 대한 동적 범위(2¹⁶)

III. RESULT

본 연구는 진단용 방사선 발생장치의 조사선량 최소화를 위한 최적화된 복부 영상을 획득하고자 하였다. 먼저 관전압과 관전류의 변화에 따른 각각의 표면선량은 일반적으로 관전압의 증가와 관전류가 감소할수록 그 수치는 Table 1과 같이 감소하였다. 복부 영상촬영 시 가장 최적화된 촬영 조건 범위를 찾기 위해, 먼저 BSRGAN 기법을 활용한 복부 영상들은 80 kVp, 320 mA의 복부 영상과 비교하여 MSE가 작은 순서부터 촬영 조건들을 그룹화하여 정렬하였다.

기준 복부 영상 (80 kVp, 320 mA)과 재구성된 영상의 차이는 90 kVp, 125 mA와 100 kVp, 100 mA의 촬영 조건에서 가장 작은 오류가 각각 관찰되었으며 (MSE = 0.285), 이는 Fig. 1에 표시하였다. 또한, 이 두 가지의 촬영 조건에서 PSNR은 약 37.694와

SSIM은 약 0.999로 확인되었다. 게다가, 그 해당 촬영 조건들에서 표면선량은 0.053 ~ 0.054 mR으로 측정되었으며, Fig. 2와 같이 기준 촬영 조건인 80 kVp, 320 mA (표면선량 = 0.112 mR)보다 약 52 ~ 53%의 표면선량이 감소한 결과가 나타났다. 기준 조건과 비교하여 다른 촬영 조건들의 영상학적 차이에 대한 모든 수치들은 Table 2에 요약되어 있다.

추가적으로 BSRGAN 기법을 활용한 재구성한 고해상도 복부 영상은 그 효율성을 검증하기 위해 절편신호 프로파일 분석으로 실행하였고, 그 위치는 총 2부분 (간, 콩팥)에서 신호의 크기를 확인하였다. 최적의 방사선 촬영조건 (90 kVp, 120 mA와 100 kVp, 100 mA)들의 신호 크기는 80 kVp, 320 mA의 기준 복부 영상과 동일한 신호 크기가 나타났으며, 흥미롭게도 신호 크기의 변동은 Fig. 3과 같이 오히려 작게 관찰되었다.

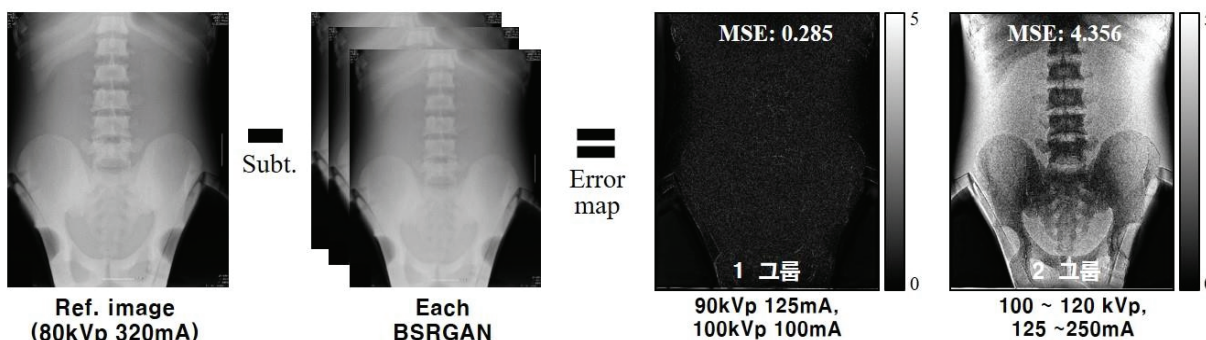


Fig. 1. Imaging analysis reconstructed by BSRGAN.

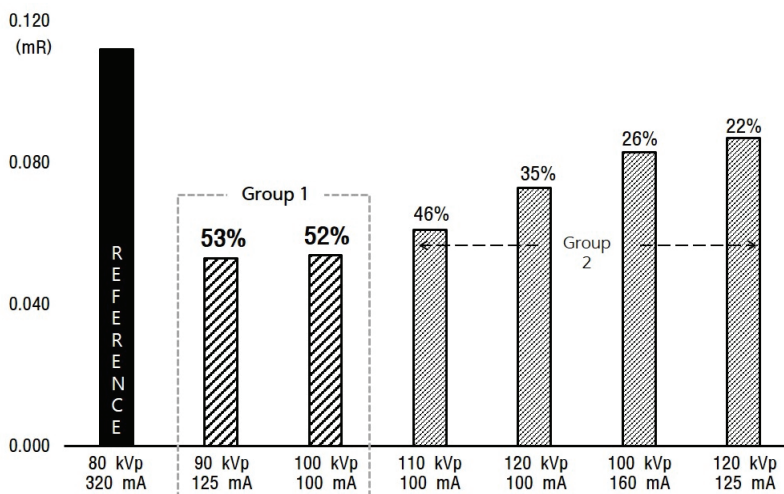


Fig. 2. Exposure reduction according to each radiation dose.

Table 2. Quantitative imaging analysis with the BSRGAN reconstruction of abdominal images

Exposure condition	MSE	PSNR	SSIM
90 kVp, 125 mA	0.285	37.694	0.999
100 kVp, 100 mA			
100 kVp, 125 mA	4.356	25.857	0.998
100 kVp, 160 mA			
110 kVp, 125 mA			
120 kVp, 100 mA			
Others	6.078 ~ 226.004	8.706 ~ 24.410	0.925 ~ 0.997

IV. DISCUSSION

본 연구는 BSRGAN 기법을 활용하여 방사선량을 최소화함에 따라 합당한 복부 영상과 최적화된 촬영 조건을 제시하고자 하였다. 가장 낮은 표면선량을 보인 조사조건들은 90 kVp, 125 mA와 100 kVp, 100 mA (약 52 ~ 53%)이었다. 이 최적화된 조사조건들의 BSRGAN 재구성 영상들은 기준 복부 영상 (80 kVp, 320 mA)과 상당히 유사할 뿐만 아니라 절편의 신호 크기도 비슷하게 관찰되었고, 오히려 신호 크기의 변동은 기준 복부 영상에 비해 감소하였다. 이러한 결과들은 방사선 조사선량의 감소에 따른 기준 복부 영상과 동일한 영상을 획득할 수 있다는 것을 의미하며, 이는 방사선방어 원칙인 ALARA 개념을 충분히 반영하고 인체의 피폭선량을 상당히 감소시킬 수 있을 것이다.

DCP 현상은 디지털 엑스선 시스템이 필름/스크

린 시스템에 비해 조사선량을 감소시킬 수 있는 장점에도 불구하고 촬영 조건설정에 따른 영상 노이즈 발생에 두려움으로 검사조건을 점진적으로 증가시키는 현상을 의미한다^[1]. 관전압 조절은 컴프턴 효과에 의한 영상학적 노이즈 발생과 밀접한 영향이 있기에 관전류량을 증가시키는 문제로 이어져, 인체 피폭선량이 급격히 증가한다^[3,5]. 본 실험의 연구 결과인 기준 촬영 조건 대비 복부 영상 획득에 최적화된 90 kVp, 125 mA와 100 kVp, 100 mA의 촬영 조건은 관전압을 약 12 ~ 25% 증가와 관전류를 약 70% 감소시켜 약 53%의 표면선량이 감소되었다. 이는 상당히 주목할 만한 결과로서, BSRGAN 기법을 동반한 엑스선 복부 영상 획득은 DCP 현상을 최소화하여 인체 피폭선량을 상당히 감소시킬 수 있다는 것을 시사한다. 다양한 선행연구들에서 흉부 및 복부 영상에서 관전압의 증가와 낮은 관전류의 사용은 방사선 피폭선량을 감소시키는 가장 적절한 촬영 조건으로서 증명되었다^[6,7,21]. 이러한 결과들은 본 실험의 90 kVp, 125 mA와 100 kVp, 100 mA의 촬영 조건이 기준 복부 촬영인 80 kVp, 320 mA으로 영상을 획득하는 것보다 피폭선량의 줄일 수 있다는 것을 충분히 설명할 수 있다. 하지만, 높은 관전압 사용은 컴프턴 효과의 증가로 인한 노이즈 상승을 초래할 수 있으며^[3], 이는 본 실험의 결과인 Fig. 1과 Table 2에서 관찰된 최적화된 촬영 조건들을 제외한 다른 조건들에서 관전압이 증가함에 따라 MSE가 증가하는 현상으로 소명할 수 있다. 또한, 관전압의 증가와 관전류량의 동시 감소는 본래 촬영 조건들과 동일한 방사선

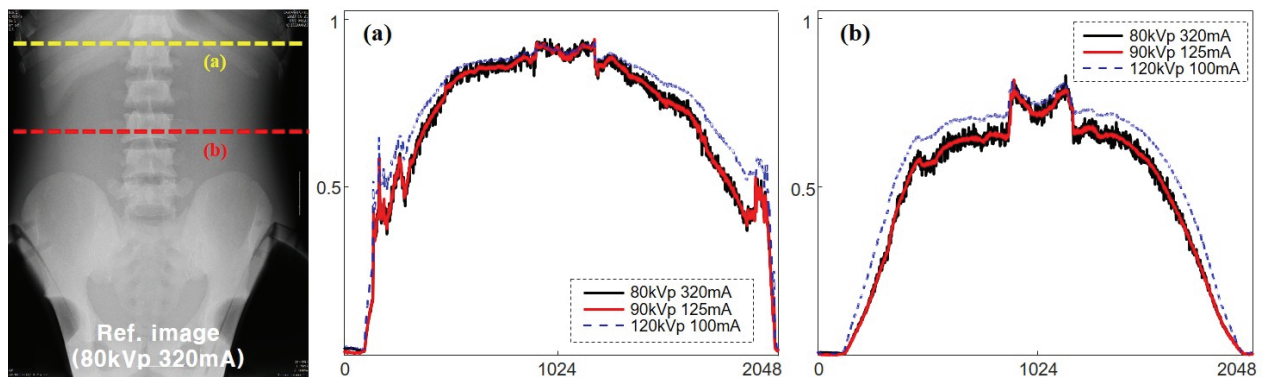


Fig. 3. Signal analysis with intensity profiles. The signal intensity is measured in two regions where it is the liver (a) and kidney (b).

노출량을 유지하면서 전체적인 산란선 발생량은 감소한다는 사실이 증명되었고^[7], 이 현상은 본 연구에서 90 kVp, 125 mA와 100 kVp, 100 mA의 최적화된 촬영 조건이 80 kVp와 320 mA의 복부 영상과 상당히 유사한 결과를 보인다는 것도 충분히 해석할 수 있다. 게다가, 낮은 관전류의 사용은 디지털 영상에서 양자화 오류 발생으로 인한 영상 품질의 저하를 초래할 수도 있다^[8]. 흥미롭게도, BSRGAN 기법을 활용한 재구성된 복부 영상신호 크기의 변동은 Fig. 3과 같이 기준 복부 영상보다 낮게 관찰되었으며, 이는 낮은 관전류 사용에 의한 양자화 노이즈도 감소시킬 수 있는 것으로 예상될 수 있다. 결론적으로, BSRGAN 기법을 활용한 높은 관전압과 낮은 관전류의 사용은 콤프턴 효과와 양자화 오류에 의한 노이즈 발생을 동시에 감소시켜 우수한 영상 화질을 형성할 수 있으므로 DCP 현상의 최소화를 통한 피폭선량 감소가 가능하다는 가설을 충분히 뒷받침할 수 있으며, 이 우수한 엑스선 촬영 지표 설정은 고관전압 사용으로 인한 인체 피폭선량의 최소화도 실현 가능할 수 있을 것이다.

ALARA는 방사선 피폭을 합리적으로 달성 가능한 가장 낮은 수준으로 유지해야 한다는 방사선 방어 원칙이다^[4]. 본 실험의 결과는 고관전압과 저관전류로 입사표면 선량의 약 53% 감소와 영상 품질의 향상이 증명되었고, 이는 ALARA 개념을 충분히 반영할 뿐만 아니라 AEC의 단점을 충분히 보완할 수 있는 대안으로 사용될 수 있을 것을 시사한다. AEC는 영상의 농도 구성에 필요한 적정량 방사선량을 자동으로 제어하여 DCP 현상에 의한 피폭선량 증가를 감소시킬 수 있는 장점이 있다^[11,13]. 하지만, 이 시스템의 사용은 몸무게와 체질량지수가 증가함에 따라 조사선량이 급격히 증가하는 현상이 초래되었다^[10,14,22]. 또한, 허리뼈 측면 검사 시 피사체 중심이 영상판에서 멀어질수록 선량과 영상 품질에 대한 변화가 관찰되었다^[12]. 이러한 현상들은 이온 전리도가 체질량지수 증가와 중심 변화에 따른 장시간 방사선에 노출되면서 동작 전압의 변화, 누설전류 증가 및 전자포획에 따른 전하 수집효율 감소 등의 원인으로 추측될 수 있다^[23].

비록 인터벤션 장치에서 몸의 두께에 따른 AEC 사용과 수동노출 조절에 의한 연구 결과이지만, 수동노출 조건설정이 마르거나 보통 체형 팬텀인 경우 AEC와 같은 관전류량일 때 약 2배의 면적선량 감소와 SNR의 증가가 관찰되었다^[9]. 이는 본 연구에서 수동촬영 조건으로 설정된 90 kVp, 125 mA와 100 kVp, 100 mA의 사용이 일반적인 체형들에서 AEC보다 피폭선량의 감소를 가져올 수 있으며, 우수한 영상 품질 또한 획득될 수 있을 것으로 예측할 수 있다. 하지만, 이전 연구에서 비만용 팬텀의 수동노출 조절은 면적선량 (약 10%)이 감소되었지만, SNR (약 32%)이 AEC에 비해 감소하였다^[9]. 이 현상은 관전압을 80 kVp으로 고정하여 발생한 것으로, 본 연구에서는 kVp가 증가함에 따라 체질량지수가 높은 피사체에 대해서도 SNR 및 CNR이 향상될 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구 결과인 Fig. 4처럼 BSRGAN 기법이 적용된 복부 영상은 신호 크기 변동이 오히려 감소가 되었기에 체질량지수가 높은 대상에서 kVp 증가에 따른 노이즈 발생도 충분히 보정되어 영상 화질 향상이 가능할 것으로 생각된다. 즉, BSRGAN 기법을 활용한 조사선량의 수동 조절은 인체 피폭선량 감소를 위한 AEC의 대안으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 반면에, 높은 체질량지수를 가진 피사체에서 방사선 조사선량과 화질 사이의 연관성에 대한 추가적 연구들이 필요하다.

향후 추가적인 연구들은 조사선량의 수동 조절을 통한 더욱 최적화된 피폭선량 기준을 알아보기 위해 심부 피폭선량 측정을 기준으로 연구되어야 한다. 이러한 결과들은 인체 장기들의 피폭선량을 평준화할 수 있다. 또한, 복부 영상뿐만 아니라 머리카락과 같은 조사선량이 많은 해부학적 부위에 최적화된 촬영 조건을 제시하여야 한다. 추가적으로, BSRGAN 기법을 진단방사선 영역에 적용하는 것은 AEC와 비교하여 그 효율성이 충분히 입증되어야 한다. 게다가, 본 연구는 CR에 국한된 방식으로 DR 영상을 통한 그 유용성도 검증되어야 한다. 마지막으로 향후 체내 연구를 통한 BSRGAN 기법을 적용한 인체 피폭선량 감소의 최적화된 촬영 파라미터 검증이 필요하다.

V. CONCLUSION

본 연구는 방사선 조사선량을 최적화하기 위한 BSRGAN 기법을 활용한 복부 영상획득을 통해 가장 합리적인 촬영 조건들을 제시하고자 하였다. 90 kVp, 120 mA와 100 kVp, 100 mA는 가장 낮은 입사표면 선량이 관찰되었으며, 그 조건들로 재구성한 복부 영상은 기준 복부 영상과 상당히 유사할 뿐만 아니라 오히려 신호 크기의 적은 변동이 관찰되었다. 이는 BSRGAN 기법을 적용한 방사선 조사선량 최소화는 가장 작은 인체 피폭선량으로 합리적인 영상을 획득함으로써, ALARA 방어원칙을 수호 및 보장할 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 논문은 2022학년도 대원대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구이다.

Reference

- [1] Chr. M. Hayre, W. A. S. Cox, *General Radiography: Principles and Practices*, CRC Press, United States, pp. 59-69, 2020.
- [2] H. K. Lee, Y. R. Go, Y. K. Park, D. K. Han, "Comparison of Dose and Quality of Copper and Nickel Additional Filter Plate in Diagnostic X-ray Generator", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 6, pp. 459-466, 2017. <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.6.459>
- [3] J. I. Lee, "A study on the dose indicator for digital radiography", Yonsei University, Master of Graduate School of Public Health, 2009.
- [4] J. J. Bevelacqua, "Practical and effective ALARA", *Health physics*, Vol. 98, No. 2, pp. 39-47, 2010. <https://doi.org/10.1097/hp.0b013e3181d18d63>
- [5] S. H. Lim, Y. H. Seoung, "Correlation analysis of control factors in automatic exposure control of digital radiography system based on fine contrast images", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 44, No. 1, pp. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.17946/JRST.2021.44.1.1>
- [6] E. B. Kang, "A Comparison of Density and Patient Doses According to kVp and mAs Changes in General Radiography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 7, pp. 987-994, 2019. <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.7.987>
- [7] Richard R. Carlton, Arlene M. Adler, V. Balac, *Principles of radiographic imaging: an art and a science*, 6th Ed., Cengage, United States, pp. 99-138, 2019.
- [8] Y. I. Kim, *Analog & Digital PACS Medical imaging informatics*, Daihaks Publishing Co., Korea, pp. 38-39, 2020.
- [9] J. H. Hwang, K. M. Jung, J. A. Choi, H. S. Kim, K. B. Lee, "A Study on Dose Reduction Method according to Slice Thickness Change using Automatic Exposure Controller and Manual Exposure in Intervention", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 41, No. 2, pp. 115-122, 2018. <http://doi.org/10.17946/JRST.2018.41.2.115>
- [10] J. N. Shim, Y. G. Lee, Y. G. Lee, "Estimation of absorbed dose for anterior and posterior organs with body mass index in standing whole spine examination", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 53, No. 12, pp. 147-151, 2016. <https://doi.org/10.5573/ieie.2016.53.12.147>
- [11] J. A. Choi, J. H. Hwang, K. B. Lee, "Evaluation of Usefulness of Automatic Exposure Control (AEC) by Comparison Analysis of Entrance Surface Dose (ESD) and Entropy in Clinical Application of Digital Radiography (DR)", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 19, No. 8, pp. 276-283, 2019. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2019.19.08.276>
- [12] W. C. Jeong, Y. C. Joo, "Effects of Dose and Image Quality according to Center Location in Lumbar Spine Lateral Radiography Using AEC Mode", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 44, No. 2, pp. 85-90, 2021. <https://doi.org/10.17946/JRST.2021.44.2.85>
- [13] J. S. Jung, B. W. Choi, S. H. Kim, Y. M. Kim, J. N. Shim, H. S. Ahn, D. E. Jin, J. S. Lim, S. H. Kang, "Effect of automatic exposure control marker with chest radiography in radiation reduction", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 37, No. 3, pp. 177-185, 2014.

- [14] N. H. Koo, H. S. Yoon, K. W. K. W. Choi, J. E. Lee, J. J. Kim, "The Effect of Body Mass Index on Entrance Surface Air Kerma in Abdominal X-ray Radiography Using Automatic Exposure Control", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 5, pp. 659-667, 2018.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.5.659>
- [15] J. H. Hwang, K. M. Jung, H. S. Kim, B. S. Kang, K. B. Lee, "Dose Reduction According to the Exposure Condition in Intervention Procedure : Focus on the Change of Dose Area and Image Quality", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 40, No. 3, pp. 393-400, 2017.
<https://doi.org/10.17946/JRST.2017.40.3.06>
- [16] C. Spink, M. Avanesov, T. Schmidt, M. Grass, G. Schoen, G. Adam, A. Koops, H. Ittrich, P. Bannas, "Noise reduction angiographic imaging technology reduces radiation dose during bronchial artery embolization", *European Journal of Radiology*, Vol. 97, No. 1, pp. 115-118, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.10.029>
- [17] J. Y. Hong, S. H. Park, Y. J. Jung, "Artificial intelligence based medical imaging: An overview", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 43, No. 3, pp. 195-208, 2020.
<https://doi.org/10.17946/JRST.2020.43.3.195>
- [18] K. T. Chen, E. Gong, F. B. de Carvalho Macruz, J. Xu, A. Boumis, M. Khalighi, K. L. Poston, S. J. Sha, M. D. Greicius, E. Mormino, J. M. Pauly, S. Srinivas, G. Zaharchuk, "Ultra-low-dose 18F-florbetaben amyloid PET imaging using deep learning with multi-contrast MRI inputs", *Radiology*, Vol. 290, No. 3, pp. 649-656, 2019.
- [19] Q. Ding, G. Chen, X. Zhang, Q. Huang, H. Ji, H. Gao, "Low-dose CT with deep learning regularization via proximal forward-backward splitting", *Physics in Medicine & Biology*, Vol. 65, No. 12, pp. 125009, 2020.
<https://doi.org/10.1088/1361-6560/ab831a>
- [20] K. Zhang, J. Liang, L. Van Gool, R. Timoft, "Designing a practical degradation model for deep blind image super-resolution", *Proceedings of IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pp. 4791-4800, 2021.
<https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.00475>
- [21] <https://www.data.go.kr/data/15051055/fileData.do>
- [22] B. Park, D. W. Sung, "A comparative study of image quality and radiation dose with changes in tube voltage and current for a digital chest radiography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 62, No. 2, pp. 131-137, 2010.
- [23] S. J. Jin, I. C. Im, J. H. Cho, "Analysis of Image Quality According to BMI of Digital Chest Radiography: Focusing on Bureau of Radiological Health Evaluation", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 40, No. 1, pp. 1-6, 2017.
<https://doi.org/10.17946/JRST.2017.40.1.01>
- [24] D. K. Kim, K. T. Kim, J. E. Park, J. Y. Hong, J. S. Kim, K. M. Oh, S. H. Nam, "Evaluation of High Absorption Photoconductor for Application to Auto Exposure Control Sensor by Screen Printing Method", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 9, No. 2, pp. 67-72, 2015.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2015.9.2.67>

방사선 조사선량의 최소화를 위한 생성적 적대 신경망을 활용한 복부 엑스선 영상 최적화 연구

김상우*, 임재동

대원대학교 방사선과

요약

본 연구는 높은 관전압과 낮은 관전류로 인한 복부 영상 노이즈 발생을 BSRGAN (Deep Bline Image Super-Resolution Generative Adversarial) 기법으로 보정하고, 최소화된 방사선량을 가진 촬영 조건을 제시하는 것을 목표로 하였다. 먼저 각 촬영 조건에 따른 입사표면 선량(entrance surface doses, ESD)을 측정하였고, 해당 촬영 조건들의 복부 영상을 획득한 후 그 획득한 모든 복부 영상들은 BSRGAN 기법을 통해 재구성하였다. 영상 분석방법으로는 복부의 기준 촬영 조건인 80 kVp, 320 mA의 영상과 비교 분석하였고, 그 방법으로는 평균제곱오차(mean squared error, MSE), 최대 신호 대 잡음비(peak signal-to-noise ratio, PSNR), 그리고 구조적 유사도 지수 측정(structural similarity index measure, SSIM)을 사용하였다. 또한, BSRGAN 기법으로 재구성된 복부 영상효과를 검증하기 위해 절편 신호강도 분석은 실행되었다. MSE가 가장 낮은 조사조건은 90 kVp, 125 mA와 100 kVp, 100 mA (약 0.285)이었고, PSNR은 37.694와 SSIM은 0.999로 나타났다. 그 촬영 조건들은 ESD를 약 52 ~ 53%를 감소시켰다. 게다가, 최적화된 조건들의 신호 강도의 변화는 기준 복부 영상보다 오히려 감소하였다. 이 결과는 방사선량을 크게 줄임과 동시에 기준 복부 영상과 유사한 영상을 획득할 수 있음을 의미하며, 이는 방사선방호의 원리인 ALARA 개념을 충분히 반영할 수 있음을 시사한다.

중심단어: 방사선량, 생성적 적대 신경망, 복부영상, 딥러닝, 방사선방호

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자) (교신저자)	김상우	대원대학교 방사선과	조교수
(공동저자)	임재동	대원대학교 방사선과	교수