

Study on Usefulness of Entrance Surface Dose (ESD), Entropy Analysis Method to Evaluate Ionization Chamber Performance and Implementation of Optimal Chamber Combination Model when using Automatic Exposure Control (AEC) Device in Digital Radiography (DR)

Jun-Ho Hwang,^{1,2} Ji-An Choi,¹ Kyung-Bae Lee^{1,*}

¹Department of Radiology, Kyunghee University Hospital

²Department of Biomedical Engineering Graduate School, Chungbuk National University

Received: April 02, 2020. Revised: July 02, 2020. Accepted: August 31, 2020.

ABSTRACT

This study aimed to propose a methodology for quantitatively analyzing problems resulting from the performance and combination of the ionization chamber when using an automatic exposure control (AEC) and to optimize the performance of the digital radiography (DR). In the experimental method, the X-ray quality of the parameters used for the examination of the abdomen and pelvis was evaluated by percentage average error (PAE) and half value layer (HVL). Then, the stability of the radiation output and the image quality were analyzed by calculating the entrance surface dose (ESD) and entropy when the three ionization chambers were combined. As a result, all of the X-ray quality of the digital radiography used in the experiment showed a percentage average error and a half value layer in the normal range. The entrance surface dose increased in proportion to the combination of chambers, and entropy increased in proportion to the combination of ionization chambers except when three chambers were combined. In conclusion, analysis using entrance surface dose and entropy was found to be a useful method for evaluating the performance and combination problems of the ionization chamber, and the optimal performance of the digital radiography can be maintained when two or less ionization chambers are combined.

Keywords: Digital radiography (DR), Automatic exposure control (AEC), Ionization chamber, Entrance surface dose (ESD), Entropy

I . INTRODUCTION

X선 영상 형성은 방사선 발생장치의 조사부와 검출부의 상호작용을 통해 이뤄진다. 기본적으로 조사부가 관전압, 관전류, 조사시간을 이용하여 X선 질과 선량을 결정하고, 조사부에서 형성된 X선을 검출부가 탐지하는 방식을 들 수 있다.^[1] 최근에는 X선 조사부와 검출부의 파라미터를 폭넓게 적용 가능한 디지털 방사선 시스템(DR; Digital Radiography)을 통해, 기본적인 영상 형성 메커니즘

에 새로운 방식을 덧붙여 영상을 형성하려는 다각적인 접근을 보여주고 있다.^[1-4]

대표적으로 자동노출제어장치(AEC; Automatic Exposure Control)의 도입을 들 수 있다.^[1,5] 자동노출제어장치는 보통 세 개의 이온 챔버(Ionization Chamber)를 통해 영상 형성에 필요한 방사선량을 자동으로 조절하는 장치를 말한다. 자동노출제어장치의 사용은 X선 조사부의 관전류량을 적정수준으로 조절하며, X선 검출부에서는 감도(Sensitivity)가 설정돼 검출기가 X선을 인식하는 능력을 높여준

다.^[5,6] 따라서 자동노출제어장치는 기존의 방식들과 비교했을 때 방사선량과 영상 품질을 최적으로 조절 가능하다는 특징을 가진다.^[6]

이러한 특징 때문에, 미국의학물리협회(AAPM; The American Association of Physicists in Medicine)는 자동노출제어장치가 방사선량과 영상 품질에 미치는 영향을 평가하는 방법론을 제시하고 있다. 대표적으로 노출 지수(EI; Exposure Index)를 이용하는 방법이다.^[6] 노출 지수란 넓은 동적 범위에 적절한 방사선량이 조사됐는지를 객관적으로 파악하는 지표를 말한다. 자동노출제어장치 사용 시 검출기의 감도가 설정되는 경우, 노출 지수는 X선 조사부와 검출부의 유기적인 작동 여부를 파악하는 유용한 방법이 될 수 있다. 이에 국내에서는 국제적인 권고안에 따라 노출 지수를 통해 디지털 방사선 시스템의 성능을 평가하는 다양한 연구를 진행하고 있다.^[7,8]

다만 노출 지수는 회사마다 다른 산출방식을 적용하고 있다는 점, 다양한 변수를 통제하기 힘들다는 점 때문에 자동노출제어장치의 성능 자체를 평가하는 경우에는 한계를 보인다.^[5,6] 자동노출제어장치는 이온 챔버를 통해 다양한 변수를 고려하고 챔버를 조합해서 방사선 출력과 영상 품질을 조절하기 때문이다. 그래서 이온 챔버의 성능이 저하되거나 부적절한 챔버를 조합한 경우에는 방사선 출력과 영상 품질의 저하가 발생하게 된다.^[9] 여기에 노출 지수를 적용하려면 회사마다 다른 산출방식을 하나로 통일함과 동시에 각각의 변수를 일일이 통제해야 한다는 문제가 생긴다. 즉, 노출 지수는 이온 챔버의 성능과 조합에서 비롯된 문제를 대변하지 않는다.

이에 대한 대안으로, 다양한 연구들이 시스템 문제에서 비롯된 성능 저하를 변조전달함수(MTF; Modulation Transfer Function), 검출양자효율(DQE; Detective Quantum Efficiency) 등으로 평가하고 있다.^[10,11] 문제는 상기된 방법들은 시스템적 성능 저하에 의한 정보량 자체를 대변하지 않는다는 것이다. X선 영상의 정보량은 일종의 확률 사건으로 확률밀도함수(PDF; Probability Density Function)를 따라 결정된다.^[12] 그런데 앞선 방식은 확률밀도함수를 반

영하지 않아서 시스템적 성능 저하에 의한 정보량의 변화를 파악하는 부분에서는 객관성이 떨어지게 된다. 이에 최근에는 정보량의 변화를 객관적으로 분석할 수 있는 다양한 방법론이 제시되고 있다.^[13-16]

그 중 하나가 엔트로피(Entropy) 분석법이다. 선행 연구들은 불규칙적 데이터 변동에 의한 정보량의 변화 및 확률 사건을 수치화할 수 있다는 점에서 엔트로피의 유용성을 보고하고 있다.^[12,16] 이온 챔버는 X선 출력에 직접 관여하는 장비여서 시스템의 성능에 따른 통계적인 잡음을 분석해야 하는데, 엔트로피는 그 자체가 시스템적 성능에 따른 무질서를 의미해서 불규칙적 데이터 변동에 의한 정보량의 변화 및 확률 사건을 객관적으로 수치화한다.^[12,15] 이는 엔트로피가 영상 품질에 미치는 시스템적 문제를 정량적으로 나타낼 수 있음을 의미한다.^[15,16] 따라서 본 연구는 자동노출제어장치를 사용해서 얻은 X선 영상의 입사표면선량(ESD; Entrance Surface Dose)과 엔트로피를 통해 방사선 출력과 영상 품질을 분석하여 디지털 방사선 시스템의 성능을 최적화하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 사용기기와 실험대상

실험은 2020년 3월 10일부터 31일까지 20차례에 걸쳐 진행하였다. Fig. 1은 실험에 사용한 디지털 방사선 시스템인 Ysio Max이다.



Fig. 1. When experimenting, the siemens digital radiography called Ysio Max was used.

Fig. 2는 실험에 사용한 인체등가물질의 팬텀 (Rando, Alderson research laboratories, USA)이다.



Fig. 2. Rando phantom was used in experiment.

실험에 사용한 검사조건은 복부는 80 kVp, 28 mAs, 골반부는 76 kVp, 23 mAs 이다. 기타 변수들은 Field size $43 \times 43 \text{ cm}^2$, Source Image to Distance (SID) 100 cm, 격자 비 13:1, 총 여과 당량은 5.1 mmAl 으로 고정하였다. 이때 이온 챔버는 복부와 골반부 공통적으로 좌상단, 중앙, 우상단 각각 하나, 좌상단과 중앙, 우상단과 중앙, 좌상단과 우상단의 조합, 좌상단과 중앙과 우상단으로 조합하였다. 검출기의 사양은 간접 검출 형태의 트릭셀 제품으로 검출기 감도는 400, 픽셀 크기는 $144 \mu\text{m}$, bit processing은 16 bits 이다. Fig. 3은 반도체 선량계(MagicMax Universal, IBA Dosimetry, Germany)로 실험기기의 성능 평가에 이용하였다.



Fig. 3. The MagicMax Universal dosimeter was used in examination.

2. 실험방법

2.1 디지털 방사선 시스템의 선질

조사부의 불규칙적인 변동을 최소화하기 위해, 진단용 방사선 발생장치의 검사 기준에 따라 선질과 관련된 파라미터들의 정도 관리를 선행하였다. X선을 30회 조사하여 복부와 골반부에 사용한 관전압의 재현성을 백분율 평균오차(PAE; Percentage Average Error)로 평가하였고, 추가적으로 반가층(HVL; Half Value Layer)을 측정하였다. 이때 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙에 따라, 관전압은 $\pm 10\%$, 반가층은 최소 2.3 mmAl 이상이어야 한다.^[17]

2.2 자동노출제어장치의 방사선 출력

정확한 방사선 출력을 확인하기 위해서, 이온 챔버 조합에 따른 입사표면선량을 측정하였다. Fig. 4는 입사표면선량의 측정을 위한 팬텀과 선량계의 배열이다. 복부는 팬텀의 24번, 골반부는 팬텀의 30번 정중앙에 선량계를 위치시킨 후, 각각의 챔버 조합에 X선을 30회씩 조사하여 입사표면선량을 평균과 표준편차로 수치화하였다.



Fig. 4. Phantom and dosimeter were arranged in the center of the detector.

2.3 영상 품질 분석

Fig. 5는 영상 품질을 평가하기 위해 사용한 복부와 골반부의 영상이다. 전문 영상분석 프로그램(ImageJ Version 1.52a, Wayne Rasband National

Institutes of Health, USA)를 사용하여 화소 값 히스토그램(Pixel value histogram)을 얻어냈다. 그 후 각각의 픽셀에 할당되는 엔트로피를 산출했다. 엔트로피 산출을 위해 사용한 식은 Eq. (1)과 Eq. (2)와 같다. 정보량을 $I(E)$, 정보의 사전 발생확률을 $P(E)$ 라고 하면, 정보량은 Eq. (1)로 나타낼 수 있다.

$$I(E) = \log_2\left(\frac{1}{P(E)}\right) = -\log_2 P(E) \quad (1)$$

픽셀의 정보량을 ai , 그 정보량이 발생할 사건 및 확률을 $P(ai)$ 라고 할 때, 영상의 엔트로피 E 는 Eq. (2)로 표현된다.

$$E = \sum_{i=0}^{2^n-1} p(ai)I(ai) = -\sum_{i=0}^{2^n-1} p(ai)\log_2 p(ai) \quad (2)$$

Eq. (2)를 이용해서 영상의 엔트로피를 평균과 표준편차로 계산하였다.

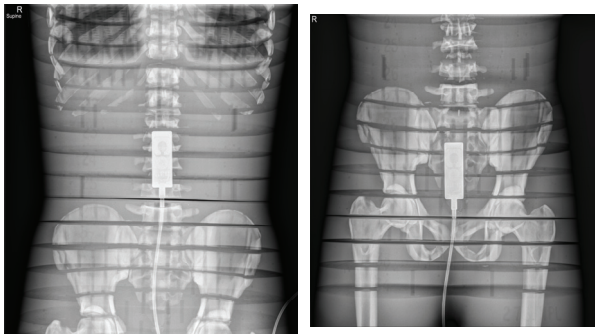


Fig. 5. X-ray image used for entropy analysis of abdomen and pelvis.

이때 영상 품질의 신뢰도는 SPSS version 23 (IBM Co., USA) 이용하여 ANOVA 검정을 통해 분석하였다. 결과값은 95%의 신뢰구간에서 $p < 0.05$ 인 경우 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

III. RESULT

1. 디지털 방사선 시스템의 선질

MagicMax Universal로 관전압과 반가층을 측정 한 결과는 Table 3과 같다. 관전압의 백분율 평균오차는 복부와 골반부 모두 $\pm 2\%$ 내의 오차범위를 보였

고 반가층은 3.1 mmAl 이상의 결과를 나타냈다.

Table 1. X-ray beam quality related digital radiography was analyzed according to PAE and HVL.

Part	Set value (kVp)	Average value (kVp)	PAE* (%)	HVL (mmAl)
Abdomen	80	81	- 1.25	3.3
Pelvis	76	77.5	- 1.97	3.1

*PAE = {(Set value - Average value) / Set value} × 100%

2. 자동노출제어장치의 방사선 출력

이온 챔버에 따른 입사표면선량은 Table 4와 같다. 이온 챔버가 많이 조합될수록 입사표면선량도 증가하였고, 하나의 챔버를 사용했을 때에는 중앙, 좌상단, 우상단 순으로 입사표면선량이 낮았다. 두 개의 이온 챔버는 우상단이 조합됐을 때 입사표면선량이 낮았으며, 세 개의 이온 챔버를 사용했을 때에는 가장 높은 입사표면선량을 보였다.

3. 영상 품질 분석

이온 챔버에 따른 엔트로피는 Table 4와 같다.

Table 2. The entrance surface dose and entropy were calculated.

Part	Ionization chamber	Entrance Surface Dose (mGy)	Entropy*
Abdomen	Right	1.223±0.011	6.011±0.005
	Left	1.253±0.013	6.159±0.003
	Center	1.258±0.011	6.184±0.004
	Left, Right	1.260±0.009	6.401±0.007
	Right, Center	1.266±0.008	6.423±0.004
	Left, Center	1.295±0.008	6.497±0.008
	Left, Center, Right	1.317±0.011	5.977±0.003
Pelvis	ANOVA	F=32.44 p<0.01	
	Right	1.156±0.011	5.719±0.003
	Left	1.186±0.011	5.741±0.002
	Center	1.194±0.011	5.813±0.003
	Left, Right	1.199±0.014	5.831±0.004
	Right, Center	1.216±0.012	5.843±0.005
	Left, Center	1.240±0.013	5.910±0.007
ANOVA	F=26.14 p<0.01		
*Statistical analysis using ANOVA			

대체적으로 이온 챔버가 많이 조합됐을 때 엔트로피가 증가하는 경향을 보였고, 하나의 챔버를 사용했을 때에는 중앙, 좌상단, 우상단 순으로 엔트로피가 낮았다. 두 개의 이온 챔버는 우상단이 조합됐을 때 엔트로피가 낮았으며, 세 개의 이온 챔버를 사용했을 때에는 모든 챔버 조합 중 가장 낮은 엔트로피를 보였다. 이때 영상 품질은 통계적으로 유의함을 보였다.

IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

본 연구는 시스템적 성능 저하와 정보량의 상관관계 파악을 목적으로 하여서, 사전에 불규칙적인 데이터의 변동을 최소화하여 영상 정보의 손실을 최소화하는 작업이 필요했다.^[17] 가장 먼저 고려한 사항은 영상의 압축이다. 현재 대부분의 병원은 Picture Archiving and Communication System (PACS)를 통해 Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) 국제표준규약의 의료 영상을 저장, 전송하고 있다.^[14] 의료 영상은 데이터의 용량이 크기 때문에, 저장과 전송 과정에서 많은 시스템의 부하가 발생한다.^[14,18-20] 이를 방지하기 위해, 의료 환경에서는 원본 영상(Raw data)을 압축하여 시스템의 부하를 줄이는 방법을 허용하고 있다. 문제는 영상이 압축되면서 발생하는 잡음이다. 영상 압축을 위한 인코딩 시 시스템 자체의 불안정성에 기인하여 불가피한 다운 스케일이 나타나는데, 이러한 다운 스케일은 영상의 품질을 저하시키는 잡음으로 작용한다.^[18,19] 이를 해결하기 위해서는 후처리 작업(Post processing)을 통한 필터를 적용하여 잡음을 제거하는 방법론이 제안된다.^[20-22] 다만 본 실험은 영상에 정보량이 부여되는 확률 사건을 파악하여 시스템의 성능을 최적화하는 것에 초점을 두었기 때문에 잡음을 제거하는 필터를 적용하는 것은 무리가 있었다. 동시에 잡음에 의한 영향은 최대한 배제할 필요가 있어서, DICOM 표준을 따르는 no compression 파일을 사용하여 압축 시 발생하는 잡음의 영향을 최소화하였다.

자동노출제어장치 사용 시 방사선 출력의 정상 작동 여부는 입사표면선량을 통해 평가했다. 복부와 골반부의 입사표면선량은 챔버를 좌상단, 중앙,

우상단 각각 하나, 좌상단과 중앙, 우상단과 중앙, 좌상단과 우상단의 조합, 좌상단과 중앙과 우상단으로 조합시켜 MagicMax Universal을 통해 측정하였고, MagicMax Universal에서 자체적으로 제공하는 automatic calibration 기능을 이용하여 선량 측정의 신뢰성을 확보하였다.^[23] 9가지의 챔버 조합 모두 일정 수준의 입사표면선량을 나타냄과 동시에 진단참조준위(DRL; Diagnostic Reference Level)에 부합되는 결과를 보이면서, 자동노출제어장치 사용 시 이온 챔버가 방사선 출력을 안정적으로 재현해 낼 수 있었다.^[17,24-26] 이때 큰 선량 차이를 보이지는 않았지만 챔버의 조합에 따라 입사표면선량이 조금씩 차이를 보였다. 이는 통계적인 잡음, 이온 챔버의 성능 저하에 의한 불규칙적인 데이터의 변동이 복합적으로 반영된 결과이다.^[17] 또한 중앙부의 이온 챔버를 사용했을 때에는 다른 경우보다 입사표면선량이 높게 나타났다. 이는 중앙부에는 다른 부위와 비교했을 때 상대적으로 밀도가 높은 뼈가 포함되어있고 MagicMax의 외부 검출기(External detector)에 의한 두께 증가가 반영돼, 자동노출제어장치가 영상을 형성하기 위해 더 많은 X선을 발생시켰기 때문에 나타난 결과이다.^[24-27]

실험부위는 복부와 골반부로 선정하였다. 자동노출제어장치는 두께와 밀도에 따라 관전류량을 조정하여 인체 조직을 영상화한다. 이 경우에는 두께와 밀도가 영상 품질에 미치는 악영향을 최소화하기 위한 정확한 파라미터의 조합이 요구된다. 이는 복부와 골반부가 파라미터 설정에 따라 방사선 출력과 영상 품질이 크게 저하할 수 있다는 점을 의미한다.^[28] 따라서 파라미터 설정에 따라 방사선 출력과 영상 품질 변화의 관찰이 유리한 복부와 골반부를 실험 부위로 선정하였고, 또한 실험의 신뢰성을 유지하기 위해 식품의약품안전처에서 제공하는 검사 조건을 적용하여 실험을 진행하였다.^[29]

이를 토대로 이온 챔버의 성능과 조합에 따른 영상 품질을 분석하였다. 우선 본 실험에서는 기존의 품질 분석 방법인 신호 대 잡음비(SNR; Signal to Noise Ratio), 대조도 대 잡음비(CNR; Contrast to Noise Ratio)가 아닌 엔트로피를 분석에 이용하였다. P픽셀에 할당되는 정보량은 무작위적인 텍스처 특성,

즉, 그레이 레벨의 변동을 동반한 공간적 패턴의 변화를 보인다.^[13-15] 시스템의 구성과 성능을 객관적으로 평가하기 위해서는 텍스처의 특성을 분석하는 방법이 필요하다. 기존의 방법은 픽셀의 강도와 연관된 영상 품질을 정량적으로 나타낼 수는 점에서 큰 강점을 보인다.^[27] 그렇지만 평가자에 따라 관심 영역(ROI; Region of Interest)과 픽셀 값을 어떻게 지정하느냐에 따라 결과가 달라지기 때문에 기존의 방법은 텍스처 특성을 반영하지 못한다.^[15,27] 반면에 엔트로피는 기존의 분석 방법의 장점을 유지하면서 무작위적인 그레이 레벨의 변동을 객관적인 수치로 표현가능하다는 특성을 지닌다. 이에 본 실험에서는 엔트로피를 이온 챔버의 성능과 조합에 따라 달라지는 텍스처 특성을 분석하는데 이용하였다.

복부와 골반부의 엔트로피는 이온 챔버를 좌상단, 중앙, 우상단 각각 하나, 좌상단과 중앙, 우상단과 중앙, 좌상단과 우상단의 조합, 좌상단과 중앙과 우상단으로 조합시켜 분석하였다. 우상단의 챔버를 사용했을 때, 다른 챔버보다 엔트로피가 저하하는 경향을 보였다. 이는 우상단의 이온 챔버가 다른 챔버들에 비해 성능이 저하돼 통계적인 데이터의 변동이 더욱 심하게 반영됐기 때문이다.^[6,15,26] 이온 챔버들의 성능과는 별개로, 엔트로피는 대체적으로 입사표면선량에 비례하여 함께 증가하였다. 이는 선량의 증가에 비례하여 시스템의 무질서도 또한 함께 증가하는 디지털 방사선 시스템의 전형적인 특성이 반영된 결과이다.^[17,25] 특히 중앙부는 Magic Max의 외부 검출기가 부착돼있어서, 입사표면선량의 증가에 따라 시스템의 무질서도도 증가하여 다른 챔버보다 엔트로피가 높게 나타났다. 이러한 경향은 이온 챔버가 두 개 조합됐을 때까지 이어졌다. 특이점은 이온 챔버가 세 개 조합된 경우에는 입사표면선량이 증가했음에도 불구하고 엔트로피가 감소하면서 무조건적인 비례성을 상실했다는 것이다. 그 이유는 시스템의 총 성능 지수에서 비롯된 결과이다. 시스템은 자체적인 성능의 한계치를 가져서, 시스템이 표현할 수 있는 범위 이상에서는 재현 능력의 포화가 발생하면서 잡음이 증가되는 현상을 보인다.^[24-26] 이온 챔버가 세 개 조합됐을 때, 입사표면선량의 증가에도 불구하고 엔트

로피가 감소한 이유는 시스템의 총 성능 지수의 한계에 의한 잡음의 증가가 반영돼 무질서도가 감소했기 때문이다.^[15,16]

본 연구는 실험 장비가 1대로 제한됐다는 점, 더욱 다양한 이온 챔버의 조합으로 실험하지 못했다는 점에서 한계가 있다. 그럼에도 기존에 디지털 방사선 시스템의 성능을 파악하기 위해 한정적으로 사용하던 엔트로피 분석법을 적용하여 2개 이상, 3개 미만의 챔버를 조합했을 때 시스템의 성능을 최적화할 수 있음을 증명한 것은 큰 의의가 있다. 향후 실험 장비와 이온 챔버를 추가하여 시스템적 성능 별 엔트로피를 구체화하면, 방사선 출력과 영상 품질을 모두 보장하는 디지털 방사선 시스템의 임상 적용 모델이 구현 가능할 것으로 여겨진다.

Reference

- [1] L. Bowden, R. Faulkner, C. Clancy, A. Gallagher, M. Devine, D. Gorman, O. Geraldine, A. Dowling, "Doses under Automatic Exposure Control (AEC) for Direct Digital Radiographic (DDR) X-ray Systems", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 147, No. 1/2, pp. 210-214, 2011. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncr301>
- [2] A. F. Scarbrook, S. F. Barrington, "PET-CT in the UK: Current Status and Future Directions", Clinical Radiology, Vol. 71, No. 7, pp. 673-690, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crad.2016.02.023>
- [3] L. J. Frohwein, V. Hoerr, C. Faber, K. P. Schafers, "Correction of MRI-Induced Geometric Distortions in Whole-Body Small Animal PET-MRI", Medical Physics, Vol. 42, No. 7, pp. 3848-3858, 2015. <http://dx.doi.org/10.1118/1.4921418>
- [4] K. Kepler, A. Vladimirov, "Survey of Compliance with European Acceptability Criteria for HVL and AEC", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 153, No. 2, pp. 246-250, 2013. <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2018.18.01.232>
- [5] J. H. Hwang, K. B. Lee, "A Study on the Quantitative Analysis Method through the Absorbed Dose and the Histogram in the Performance Evaluation of the Detector according to the Sensitivity Change of Auto Exposure Control (AEC) in DR (Digital Radiography)", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 18, No. 1, pp.

- 232-240, 2018.
<https://doi.org/10.5392/JKCA.2018.18.01.232>
- [6] S. J. Shepard, J. Wang, M. Flynn, E. Gingold, L. Goldman, K. Krugh, D. L. Leong, E. Mah, K. Ogden, D. Peck, E. Samei, C. E. Willis, "An Exposure Indicator for Digital Radiography: AAPM Task Group 116 (Executive Summary)", *Medical Physics*, Vol. 36, No. 7, pp. 2898-2914, 2009.
<https://doi.org/10.1118/1.3121505>
- [7] S. Yang, J. B. Han, N. G. Choi, S. G. Lee, "The Review of Exposure Index in Digital Radiography and Image Quality", *Journal of Radiation Protection and Research*, Vol. 38, No. 1, pp. 29-36, 2013.
<http://dx.doi.org/10.14407/jrp.2013.38.1.029>
- [8] Y. H. Seoung, "Effects of Tube Voltage and Tube Current on Exposure Index : Focused on Radiographic Images of Cone Pyramid Phantom", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 5, pp. 749-755, 2019.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.5.749>
- [9] S. H. Kim, "Optimization of Image Quality according to Sensitivity and Tube Voltage in Chest Digital Tomosynthesis", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 4, pp. 541-547, 2018.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.4.541>
- [10] Y. H. Seoung, "Evaluation of the Spatial Resolution for Exposure Class in Computed Radiography by Using the Modulation Transfer Function", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 11, No. 8, pp. 273-279, 2013. <https://doi.org/10.14400/JDPM.2013.11.8.273>
- [11] J. G. Choi, Y. S. Kim, H. S. Park, Y. W. Choi, T. H. Ham, H. J. Kim, "Evaluation of the Clinical Performance by Using the Effective DQE for a Prototype Digital Breast Tomosynthesis System", *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 60, No. 5, pp. 869-874, 2012.
<http://dx.doi.org/10.3938/jkps.60.869>
- [12] G. A. Sekh, A. Saha, B. Talukdar, "Shannon Entropies and Fisher Information of K-Shell Electrons of Neutral Atoms", *Physics Letters A*, Vol. 382, No. 5, pp. 315-320, 2018.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2017.12.005>
- [13] E. Clarkson, J. B. Cushing, "Shannon Information and ROC Analysis in Imaging", *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, Vol. 32, No. 7, pp. 1288-1301, 2015. <http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.32.001288>
- [14] J. A. Choi, J. H. Hwang, K. B. Lee, "Depending on PACS Operating System Differences Analysis of Usefulness of Lossless Compression Method in Medical Image Upload: SNR, CNR, Histogram Comparative Analysis", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 18, No. 3, pp. 299-308, 2018. <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2018.18.03.299>
- [15] G. Dougherty, *Digital Image Processing for Medical Applications*, Cambridge, 2009.
- [16] 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>
- [17] Ministry of Health and Welfare No. 528, *Rules for the Safety Management of Diagnostic Radiation Generator*, 2017.
- [18] K. B. Lee, J. H. Lee, S. Y. Kim, D. W. Lee, B. Y. Choe, Y. B. Choi, D. W. Sung, Y. S. Park, S. W. Hong, "Evaluations of ACR MRI Phantom Images with SENSE Factors by Using the JPEG2000 Image Compression Technique", *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 58, No. 5, pp. 1178-1183, 2011.
<http://dx.doi.org/10.3938/jkps.58.1178>
- [19] S. B. Yoo, M. Han, "DVSNet: Deep Variance-Stabilised Network Robust to Spatially Variant Characteristics in Imaging", *Electronics Letters*, Vol. 55, No. 9, pp. 529-531, 2019.
<http://dx.doi.org/10.1049/el.2019.0102>
- [20] S. B. Yoo, M. Han, "SCENet: Secondary Domain Intercorrelation Enhanced Network for Alleviating Compressed Poisson Noises", *Sensors*, Vol. 19, No. 8, pp. 1-13, 2019.
<http://dx.doi.org/10.3390/s19081939>
- [21] J. A. Tainer, S. E. Tsutakawa, L. G. Hura, M. Hammel, "Super Resolution for X-ray Scattering and Biological Insights from its Applications to Dynamic DNA Replication and Repair Complexes", *Acta Crystallographica. Section A, Foundations and*

Advances, Vol. 73, No. 1, pp. a314-a314, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1107/S0108767317096921>

- [22] S. B. Yoo, M. Han, "Patch Orientation-Specified Network for Learning-Based Image Super-Resolution", *Electronics Letters*, Vol. 55, No. 23, pp. 1233-1235, 2019.
<http://dx.doi.org/10.1049/el.2019.1219>
- [23] <https://www.iba-dosimetry.com/>
- [24] ICRP, ICRP Publication 87, 2000.
- [25] ICRP, ICRP Publication 93, 2004.
- [26] ICRP, ICRP Publication 135, 2017.
- [27] C. G. Kong, J. N. Song, J. B. Han, "Evaluation of Roadmap Image Quality by Parameter Change in Angiography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 14, No. 1, pp. 53-60, 2020.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.1.53>
- [28] Ervin B. Podgorsak, *Radiation Physics for Medical Physicists*, Springer, 2016.
- [29] Ministry of Food and Drug Safety, *Standard Photography Techniques in Radiological Examination (General Photography)*, 2014.

디지털 방사선 시스템(DR)의 자동노출제어장치 이용 시 이온 챔버의 성능 평가를 위한 엔트로피 분석법의 유용성과 최적의 챔버 조합 모델 구현 연구

황준호,^{1,2} 최지안,¹ 이경배^{1,*}

¹경희대학교병원 영상의학과

²충북대학교 대학원 의용생체공학과

요약

본 연구는 자동노출제어장치 사용 시 이온 챔버의 성능과 조합에서 비롯된 문제를 정량적으로 분석하는 방법론을 제시하고 디지털 방사선 시스템의 성능을 최적화하고자 하였다. 실험방법은 복부와 골반부 검사에 사용된 파라미터의 X선질을 백분율 평균오차(PAE; Percentage Average Error)와 반가층(HVL; Half Value Layer)으로 평가하였다. 그 후 세 가지 이온 챔버를 조합했을 때의 입사표면선량(ESD; Entrance Surface Dose)과 엔트로피(Entropy)를 산출하여 방사선 출력의 안정성과 영상 품질을 분석하였다. 그 결과 실험에 사용한 디지털 방사선 시스템의 X선질은 모두 정상 범위의 백분율 평균오차와 반가층을 보였다. 입사표면선량은 챔버의 조합에 비례하여 증가하였고, 엔트로피는 세 개의 챔버가 조합됐을 때를 제외하고는 이온 챔버의 조합에 비례하여 증가하였다. 결론적으로 입사표면선량과 엔트로피를 이용한 분석은 이온 챔버의 성능과 조합의 문제를 평가하는데 유용한 방법인 것을 알 수 있었으며, 두 개 이하의 이온 챔버를 조합했을 때 디지털 방사선 시스템의 성능을 최적으로 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

중심단어: 디지털 방사선 시스템, 자동노출제어장치, 이온 챔버, 입사표면선량, 엔트로피

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	황준호	경희대학교병원 영상의학과	방사선사
(공동저자)	최지안	경희대학교병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	이경배	경희대학교병원 영상의학과	방사선사