

Variation of Image Quality and Dose by Applying Multi-Leaf Collimator for Digital Mammography

Soon Mu Kwon*, Boo Soon Kim*, Hyung Jun Park**, Yeong Han Kang****

Department of Radiologic Technology, Daegu Health College*, Department of Material & Energy Engineering, Kyungwoon University**, Department of Diagnostic Radiology, Daegu Catholic University Hospital****

디지털 유방촬영장치에서 다엽 조리개 적용으로 인한 화질과 선량의 변화

*, **, ***, **, 가 ****

Abstract

Collimator has important functions with control primary X-ray that decrease radiation exposure dose for patients and reduce scatter ray and make better quality of image. But there are no regulations for X-ray mammography device of collimator, so widely used device adopt rectangularly controlled collimator. Though digital X-ray mammography device expand supply recently, rectangularly controlled collimator of film/screen mode still used. After searching for real condition of beam field with digital mammography, we made a multi-leaf collimator which is able to adjust the beam field in accordance with size and shape of breast, and we measuring up the transitions of image quality, average glandular dose(AGD) and, Dose area product(DAP). There are no significant differences between rectangularly controlled collimator and multi-leaf collimator, and DAP value decreased by 50.72%. As conclusion, there needs to expand the use of multi-leaf collimator for optimum adoption of beam field in digital mammography, and also need to develop an automatic regulation of beam field for reduce of exposure dose to patients.

Key words : digital mammography, collimator, dose area product, radiation dose, image quality

요 약

X선 조사야(X-ray beam field)는 X선관 앞에 부착된 선속제한기구(beam limiting device)인 조리개(collimator)에 의해 조절된다. 조리개는 1차 X선을 조절하여 환자의 피폭선량을 감소시키고 산란선량을 감소시켜 영상의 화질을 향상시키는 중요한 기능을 한다. 그러나 유방촬영장치의 조리개에 대해서 따로 규정되어 있지 않으며 상업화된 장치에서는 조사야가 사각형으로 조절되는 조리개를 사용하고 있다. 최근 디지털 유방촬영장치의 보급이 확대되고 있으나 film/screen 방식에서부터 적용되던 사각형으로 조사야가 조절되는 조리개가 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 디지털 유방촬영에서 조사야 조절 사용에 대한 실태조사 후 유방의 크기와 모양에 따라 조사야를 조절할 수 있는 다엽조리개를 제작 후 적용했을 때 영상의 화질변화와 평균유선선량, 면적선량 값의 변화를 알아보았다. 사각형으로 조사야

가 조절되는 조리개와 비교하여 다엽 조리개를 적용한 영상에서 통계적으로 유의한 차이가 없었으며 DAP값 또한 50.72% 감소되었다. 따라서 디지털 유방촬영장치에서 조사야를 최적화하기 위한 자동조사야조절장치 개발이 환자 피폭선량 감소에 도움이 될 것으로 판단된다.

중심단어: 디지털 유방촬영장치, 조리개, 면적선량, 피폭선량, 화질

I. INTRODUCTION

의료영상 분야에서 X선을 인체에 적용하기 위해서는 방사선 검사의 정당화와 최적화가 바탕이 되어야 한다. 그 중 최적화는 진단적 가치를 저하시키지 않는 범위 내에서 환자의 피폭선량을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하는 것이다. 그러나 최근 film/screen을 사용하는 아날로그 장치에서 computed radiography (CR), digital radiography(DR)의 보급이 확대되면서 환자에게 노출되는 방사선량이 증가되고 있다^[1]. X선 조사야(X-ray beam field)는 X선관의 방사창 앞에 부착된 조리개(collimator)에 의해 조절된다. 조리개는 선속제한기구(beam limiting device)로 1차 X선을 조절하여 환자의 피폭선량을 감소시키는 가장 큰 역할을 하며 산란선량을 감소시켜 영상의 화질을 향상시키는 중요한 기능을 한다^[2]. 최근 한 실태조사에서 X선 조사야 조절이 환자의 피폭선량 저감에 도움이 된다고 응답한 방사선사가 97.6%, 적합한 조사야 크기를 조절한다고 대답한 비율이 95.8% 였으나 실제 방문조사에서 61.3%만이 적합한 조사야 크기를 조절하고 있었다는 연구 결과가 있었다. 그래서 피폭선량 감소를 위한 방사선사의 노력, 조사야에 대한 통일된 규격, 철저한 교육이 동반되어야 한다고 하였다^[3]. Zetterberg 등의 연구에서도 이전에 사용한 아날로그 유형의 필름검사보다 DR로 전환된 이후 요추검사의 경우 조사야의 크기가 46% 증가되었다는 보고도 있다. 이는 필름을 사용할 때보다 조사야 조절에 대한 인식과 적정 선량에 대한 인식이 결여되고 있다는 것을 의미한다고 하였다^[4].

한국공업표준(KS A 4732)에서 가변조리개는 X선 조사야의 치수를 연속적으로 조정하는 방법을 갖춘 조리개 장치로 정의하고 있다. 가변조리개의 최대 조사야는 source to image receptor distance(SID) 65 cm에서 35×35 cm를 초과하지 않고 최소 조사야는 SID 100 cm에서 5×5 cm 이하로 규정하고 있다^[5]. 그러나 유방촬영장치의 조리개에 대해서는 따로 규정하고 있지 않

으며 상업화된 장치에서는 조사야가 사각형으로 조절되는 가변조리개를 사용하고 있다. 이는 film/screen방식의 유방촬영에서 필름의 가장자리를 따르는 조리개 사용이 view box의 불빛을 가릴 수 있어 판독에 효과적이기 때문이다^[4]. 그러나 최근 유방촬영장치의 대부분이 CR 또는, DR장치로 view box를 사용하지 않아도 되나 film/screen방식에서부터 적용되던 사각형으로 조사야가 조절되는 조리개가 그대로 적용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 디지털 유방촬영에서 조사야 조절 사용에 대한 실태조사 후 사각형으로 조사야를 조절하는 조리개가 아닌 유방의 크기와 모양에 따라 조사야를 조절할 수 있는 다엽 조리개를 제작 후 적용했을 때 영상의 화질변화와 평균유선선량, 면적선량값의 변화를 알아보았다.

II. MATERIAL AND METHOD

1. 실험장치 및 방법

본 연구를 위해 대구지역 20개의 병원급 의료기관에서 운영되고 있는 24대의 유방촬영장치를 대상으로 조사야 조절 사용에 대한 사전 실태조사를 실시하였다. 그리고 실험은 디지털 유방촬영장치 내에 장착된 사각형으로 조사야가 조절되는 조리개(이하, 사각형 조리개, rectangular collimator)를 적용한 촬영과 유방의 모양과 크기에 따라 조사야를 조절할 수 있는 다엽 조리개(multi-leaf collimator)를 적용한 촬영으로 구분하여 실시하였다. 실험에 사용한 디지털 유방촬영장치는 H OLOGIC사의 LORAD Selenia로 target/filter조합은 Mo/Mo이고 자동조사야조절모드를 적용하였고 조사야는 24 cm × 29 cm이다. 촬영조건은 수동노출모드(manual exposure mode)로 28 kVp, 60 mAs, SID는 60 cm이다. 실험에 사용한 조직등가 유방팬텀은 CIRS-011A phantom(nuclear associates, norfolk, virginia, USA)으로 지방조직 50%, 유선조직 50%로 구성되고 두께는 4.5 cm이다.

Dose area product(DAP) meter는 KermaX plus 120-131(I BA dosimetry GmbH, schwarzenbruck, Germany)을 사용했고 에너지 의존성은 IEC 60580 규정을 만족하는 40 kVp에서 $\pm 2.2\%$ 이고 교정은 Fluke 35040, ionization-chamber IC 300(교정일자 : 2014. 12. 05)을 이용하여 실시하였다.

저 디지털 유방촬영장치 내에 장착된 사각형 조리개 바로 아래에 DAP meter를 위치시켜 유방팬텀의 상하위(cranio-caudal, C-C) 촬영을 실시하였다. 다음으로 사각형 조리개와 DAP meter 사이에 다엽 조리개를 부착하고 유방팬텀의 윤곽선을 따라 각각의 leaf를 이동시켜 조사야를 조절한 후 동일한 방법으로 촬영하였다(Fig. 1. A, B). 다엽 조리개의 각각의 leaf는 두께 2 mm의 납판을 가로 50 mm, 세로 10 mm로 11개를 제작하고 2단으로 중첩되게 배치하여 1차선이 투과되지 않도록 하였다(Fig. 1. (C)). 따라서 두 실험은 다엽 조리개 부착으로 인한 X선 조사면적의 차이 이외에는 모든 조건이 동일한 상태이다.

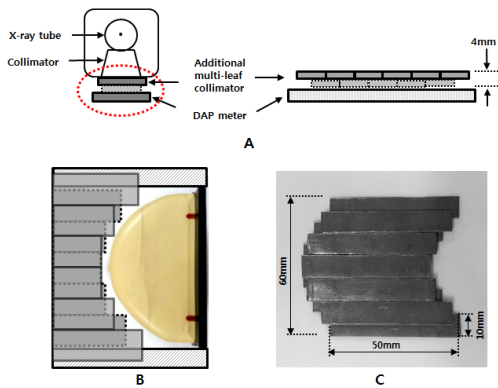


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup and multi-leaf collimator.

2. 선량 및 영상평가

사각형 조리개와 다엽 조리개를 적용한 촬영을 각각 5회씩 실시하였다. 촬영 후 장치의 모니터에 출력되는 평균유선선량(average glandular dose, AGD)과 DAP meter에서 측정된 값을 비교, 평가하였다.

CIRS 팬텀의 모조병소로 CaCO_3 석회화 그룹(specks)은 수직배열 된 2-7번까지 grain size는 0.130, 0.165, 0.19

6, 0.230, 0.275, 0.400 mm이고 뒤쪽의 가로배열 된 8-10번까지는 2.30, 0.96, 0.165 mm, 그리고 앞쪽의 가로배열 된 11-13까지는 0.230, 0.196, 0.165 mm이다. 섬유소(fibers)는 19-23번까지 5개로 diameter size가 1.25, 0.83, 0.71, 0.53, 0.30 mm, 그리고 종괴(masses)는 24-30번까지 7개이며 각기 다른 두께인 4.76, 3.16, 2.38, 1.98, 1.59, 1.19, 0.90 mm로 구성되어 있다. 사각형 및 다엽 조리개를 적용하여 획득한 영상은 동일한 조건에서 2명의 영상의학과 의사(유방전문의 1인, 전공의 1인)와 1명의 유방촬영담당 방사선사가 무작위로 선택하여 주관적 평가하였다. 객관적 평가는 팬텀 내에 모조병소가 위치하지 않는 곳에 region of interest(ROI) 2개를 설정하고 각각 5회 촬영한 영상에 대해 signal to noise ratio(SNR)를 측정하여 평가 하였다. 1개의 사각형 ROI는 100픽셀(10 pixel×10 pixel)로 구성되고 Image J(1.46r / National Institutes of Health, USA)를 이용하여 픽셀값을 얻었다. SNR은 신호에 대한 잡음의 비로 ROI 내의 픽셀값의 평균을 신호로, 표준편차를 잡음으로 산출하였다. 다엽 조리개로 획득한 영상은 판독의 용이성을 위해 다엽 조리개에 의해 발생한 계단식 음영을 직접 코딩한 프로그램을 이용하여 background와 동일한 픽셀값이 되도록 변환한 후 평가하였다.

3. 통계분석

수집된 자료는 SPSS 18.0 for windows version 프로그램을 이용하여 통계분석을 하였고, 통계적 유의수준은 0.05를 기준으로 하였다. 사각형 조리개와 다엽조리개를 적용한 후 평균유선선량의 비교와 모조병소를 이용한 주관적 평가 및 SNR을 이용한 객관적 평가에서의 비교는 비모수적 평가 방법인 Mann-Whitney test를 이용하였다.

III. RESULT

1. 실태조사 결과

조사야 조절 사용에 대한 사전 실태조사 결과, 24대의 유방촬영장치 중 film장치 1대, CR장치 7대, DR장치 16대 였으나 film장치는 장치고장이나 촬영이 많은 경우에만 제한적으로 사용되고 있어 조사에서 제외하

였다. 조사야 조절 사용에 대해 CR장치의 경우, “조절하지 않는 편이다” 또는 “전혀 조절하지 않는다”고 대답한 비율이 62.5%이었다. DR장치의 경우, 조사야자동 조절모드 사용을 포함하여 모두 “항상 조절한다”고 대답했다[Table 1].

Table 1. Results of survey using the collimation

	CR [%]	DR [%]
(100%~80%)	12.5	100
(80%~60%)	12.5	0
(60%~40%)	12.5	0
(40%~20%)	25.0	0
(20%~0%)	37.5	0

2. 선량 평가

디지털 유방촬영장치에서 모니터로 출력되는 AGD는 사각형 조리개와 다엽 조리개를 적용한 C-C촬영 5회 평균이 1.62 mGy로 차이가 없었다. 그러나 DAP meter로 측정된 값의 평균은 214.5 $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$ 와 105.7 $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$ 로 다엽 조리개를 적용한 C-C촬영에서 50.72%의 감소가 관찰되었다[Table 2].

Table 2. The change of AGD and DAP according to rectangular and multi-leaf collimator

	Rectangular collimator	Multi-leaf collimator	p
AGD [mGy]	1.61 ± 0.01	1.62 ± 0.01	.852
DAP [$\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$]	213.80 ± 2.14	105.62 ± 0.89	.000

3. 영상 평가

CIRS 팬텀의 모조병소 24개는 fiber 5개, speck 12개, mass 7개로 구성되어 있다. Fig. 2는 사각형 조리개로 획득한 영상(A), 다엽 조리개로 획득한 영상(B)과 다엽 조리개 영상에서 계단 음영을 처리한 영상(C)이다. Table 3은 사각형 및 다엽 조리개를 적용하여 획득한 팬텀의 주관적 영상 평가 결과이다. 본 연구에서는 평가자가 각각 평가한 점수를 전체 합쳐서 비모수적으로

평균비교를 실시하였다. 주관적 영상 평가에서 사각형 조리개와 다엽 조리개의 영상은 fibers, specks, masses에 대해 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 객관적 영상 평가인 SNR 또한 사각형 조리개에서 6.46, 다엽 조리개에서 6.58로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다[Fig. 3],[Table 4]. 영상평가 시 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

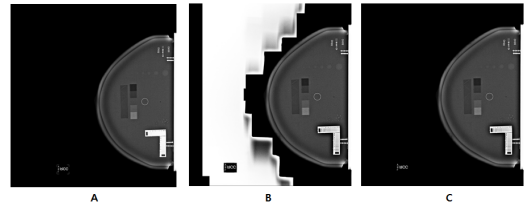


Fig. 2. Acquired image by applied rectangular and multi-leaf collimator.

Table 3. Subjective assessment of image quality

	Rectangular collimator	Multi-leaf collimator	p
Fiber	4.54 ± 0.09	4.60 ± 0.07	.689
Speck	5.55 ± 0.09	5.53 ± 0.10	.677
Mass	5.57 ± 0.08	5.60 ± 0.08	.589

Table 4. Objective assessment of image quality

	mean SNR ± SD	p
Rectangular collimator	6.46 ± 0.64	.588
Multi-leaf collimator	6.58 ± 0.58	

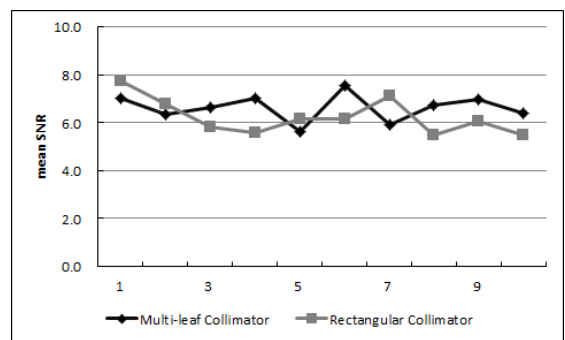


Fig. 3. The change of SNR according to rectangular and multi-leaf collimator.

IV. DISCUSSION

유방촬영장치는 유방암의 조기검진에서 매우 중요한 수단으로 우수한 품질의 영상과 환자의 피폭선량 또한 최적화 되어야 한다⁶⁾. 식품의약품안전처 등에서도 유방촬영 시 환자선량 저감을 위한 환자선량 권고량을 설정하고 표준촬영기법 및 성능관리 방법에 대한 가이드라인을 발표하였다⁷⁾. 그러나 근래 유방촬영 시 환자가 받는 방사선량이 조기 유방암 발견의 이익보다 방사선피폭으로 유방암 발생이 오히려 높아질 수 있다는 연구결과가 보고되고 있다^{8),9)}. 따라서 환자가 유방암 촬영 시 안심하고 검사를 받을 수 있도록 환자에 대한 방사선 방어 및 안전관리 대책이 필요하게 되었다.

유방촬영 시 조사야 조절 사용에 대한 실태조사에서 CR장치의 경우, 조절하지 않는 편이거나 전혀 조절하지 않는다는 응답이 62.5%로 가장 높게 나왔다. DR장치의 경우, 모두 항상 조절한다고 대답했으나 이는 자동조사야조절모드를 사용한 경우로 압박대의 사이즈에 따라 2종류의 조사야(18×24 cm, 24×30 cm)로만 조절이 가능하였다. 진단방사선 영역에서 조리개 사용 실태를 조사한 연구 결과, 조리개를 항상 최소로 조절하는 경우는 12.8%였고, 대체로 조절한다가 40.7%, 조절할 때도 있고 안할 때도 있는 경우 33.7%, 전혀 조절하지 않는 경우도 12.8%였다고 보고하였다. 그래서 환자 피폭선량 감소를 위해서는 피사체의 위치, 크기에 맞게 자동으로 조절되는 조리개 사용이 필요하다고 하였다¹⁰⁾. 이번 연구에서 사전실태조사 결과, 유방촬영은 다른 일반촬영분야 보다 많은 선량이 사용됨에도 불구하고 CR장치에서는 조사야 조절이 제대로 이루어지지 않고 있었다. DR장치도 자동조사야조절모드에서 정해진 조사야만 적용할 수 있어 조사야 최적화를 위한 노력이 필요한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 디지털 유방촬영장치에서 사각형 조리개 보다 유방의 모양, 크기에 따라 최적화된 조사야를 조절할 수 있는 다엽 조리개를 제작 후 부착하여 이에 따른 선량과 화질의 변화를 알아보았다. 조리개는 1차 X선속을 조절하는 기구로 환자의 피폭선량을 감소시키고 2차 산란선을 감소시켜 영상의 화질을 향

상시키며 누설 X선, 초점외 X선 및 반음영 등을 제거할 수 있다. Film/screen 방식의 유방촬영장치에서는 조사야 조절이 유방의 모양을 따르는 것 보다 필름의 가장자리를 따르는 것이 view box의 불빛을 가려 판독에 효과적이기 때문에 사각형으로 조사야가 조절되는 조리개를 적용하였다²⁾. 그러나 최근 유방촬영장치의 대부분이 디지털장치로 간단한 프로그램 구현으로 디지털 영상의 픽셀 값을 변화시킬 수 있어 view box 불빛에 의한 방해 제거할 수 있다. 또한 유방과 같이 둥근형태의 피사체를 촬영하는 경우, 사각형 조사야는 피사체가 없는 많은 부분이 조사야에 포함되므로 최적화된 조사야 조절이 용이하지 않다. 조사야를 감소시키면 영상에서 구조물이 보다 확실하게 보이고 영상 대조도를 증가시켜 우수한 화질의 영상을 얻을 수 있으며 2차 산란선을 줄여 영상의 검점과 흰색사이의 단계는 적지만(short scale contrast) 경계가 뚜렷한 고해상도의 영상을 얻을 수 있어 저관전압 촬영이 가능해진다^{11),12)}.

본 연구 결과에서 사각형 및 다엽 조리개를 적용한 영상을 주관적, 객관적으로 평가했을 때 통계적으로 유의한 차이가 없는 결과를 얻었다($p < 0.05$). 따라서 다엽 조리개를 사용한 영상이 기존의 사각형 조리개를 사용한 영상의 화질과 차이가 없어 판독에 영향을 끼치지 않는다는 것을 의미한다.

유방의 크기와 모양에 따라 조사야를 최적화 할 수 있는 다엽 조리개를 제작하여 적용한 결과, 사각형 조사야에 비해 DAP 값이 50% 정도 감소된 결과를 얻었으며 이는 X선 조사면적 감소에서 기인한 것으로 판단된다. 이와 유사한 손, 머리 및 복부의 일반엑스선촬영에서 조사야를 최대화하지 않고 최적화하였을 경우 최대 6-7배까지 산란선이 감소하기 때문에 조사야를 최적화 시켜야 한다고 연구결과가 있다¹³⁾.

본 연구는 유방팬텀과 특정 제작사의 한정된 장치를 사용하였고 장치 내의 조리개 아래에 다엽 조리개를 추가적으로 부착하여 측정된 것으로 실험방법에 따라 결과에 차이가 있을 수 있다. 따라서 다양한 특성의 장치와 기존의 사각형 조리개를 제거하고 다엽 조리개를 적용한 연구가 추가적으로 필요한 것으로 판단된다. 그리고 각각의 leaf를 자동으로 구동하는 방식으로 터치센서(touch sensor) 방식¹⁴⁾ 등이 특허등록

되어 있어 실제 장치에 적용되어 자동적으로 조사야가 조절된다면 환자의 피폭선량 감소에 도움이 될 것으로 판단된다.

V. CONCLUSION

디지털 유방촬영에서 조사야 조절 사용에 대한 실태조사 결과, 환자의 방사선피폭 감소와 화질향상을 위한 조사야 조절 사용이 제대로 이루어지지 않고 있었으며 환자의 피폭선량 감소를 위한 대책이 시급한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 유방의 크기와 모양에 따른 최적화된 조사야 조절을 위해 다엽 조준기를 제작하여 적용해 보았다. 현재, 디지털 유방촬영기 내에 장착되어 사각형으로 조사야가 조절되는 조리개와 비교하여 다엽 조리개를 적용하여 획득한 영상은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 그리고 DAP 값 또한 사각형 조사야보다 50.72% 감소했다. 따라서 디지털 유방촬영장치의 조사야를 최적화하기 위한 자동조사야조절장치 개발이 환자 피폭선량 감소에 도움이 될 것으로 판단된다.

Reference

- [1] Recommended guidelines on patient dose in general radiography, Radiation Safety Management Series No. 30, 11-1470550-000299-01, Ministry for Health, Welfare and Family Affairs, Korea Food and Administration, 2012.
- [2] The Korea Society of Medical Imaging Technology, "Textbook of radiographic positioning and clinical diagnosis", Chung-Gu Publisher. Korea, pp.717-720, 2013.
- [3] J.H. Kim, D.W. Sung, J.W. Kim, J.H. Shin, S.K. Lee, K.I. Jung, H.J. Kim, "Nationwide survey of the X-ray beam collimator utilization in general diagnostic radiograph", Progress in Medical Physics, Vol. 24, No. 2, 2013.
- [4] L.G. Zetterberg, A. Espeland, "Lumbar spine radiography—poor collimation practices after implementation of digital technology", The British journal of radiology, 2014.
- [5] Korea Industrial Standard(KS A 4732)
- [6] D.H. K, S.K. Choi, D.H. Kim, "The image quality according to target-filter combination in digital mammography", Journal of Korean Society of Radiological Technology, Vol. 9, No. 2, 2015.
- [7] Recommended guidelines on patient dose in mammography,

Ministry for Health, Welfare and Family Affairs, Korea Food and Administration, 2008.

- [8] T.H. Kim, K.K. Oh, H.C. Shin, J.K. Kim, S.S. Choo, "Dosimetric evaluation of average glandular absorption radiation dose in mammography", Journal of the Korean Radiological Society, Vol. 35, No. 6, 1996.
- [9] J.H. Choi, M.J. Jeon, Y.I. Kim, J.W. Choi, "A study on radiation dose in mammography", Journal of Korean Society of Radiological Technology, Vol. 4 No. I, 1981.
- [10] G.H. Jo, Y.H. Kang, B.S. Kim, "A Study on the Exposure Parameter and the Patient Dose for Digital Radiography System in Dae Goo", Journal of Korean Society of Radiological Technology, Vol. 31, No. 2, 2008.
- [11] C.J. Martin, "Optimisation in general radiography", Biomedical imaging and intervention journal, Vol. 3, No. 2, 2007.
- [12] J.N. Johnstom, T.L. Fauber, "Essentials of radiographic physics and imaging", Elsevier Health Sciences, pp.79-103, 2012.
- [13] S.K. Choi, "Change of the scattered dose by field size in X-ray radiography", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 13, No. 3, 2013.
- [14] J.P. Kim, S.D. Baek, "X-ray imaging apparatus and its apparatus method", Patent No. 10-2014-0091998, Republic of Korea Intellectual Property Office.