

&lt;원저&gt;

## 이동형 X선 발생장치의 2차 방사선 차폐를 위한 선속조절기 개발 연구

구본열<sup>1)</sup>·김가중<sup>2)</sup><sup>1)</sup>영동병원 영상의학과·<sup>2)</sup>극동대학교 방사선학과

## Development of Radiation Restrictor for Secondary Radiation Shielding of Mobile X-ray Generator

Koo Bon-Yeoul<sup>1)</sup>·Kim Gha-Jung<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Department of Radiology, Yeongdong Hospital<sup>2)</sup>Department of Radiological Science, Far East University

**Abstract** Mobile X-ray generators are used not in the radiation area but in open space, which causes the exposure of secondary radiation to the healthcare professionals, patients, guardians, etc., regardless of their intentions. This study aimed to investigate the shielding effect of the developed radiation restrictor to block the secondary radiation scattered during the use of mobile X-ray generator. Upon setting the condition of mobile X-ray generator with chest AP, spatial doses were measured by the existence of human equivalent phantom and radiation restrictor, and measured by the existences of phantom and radiation restrictor at the same length of 100 cm. Measurements were taken at intervals of 10 cm every 30° from -90°(head direction) to +90°(body direction). Upon the study results, spatial doses in all direction were increased by 45% on average when using phantom in the same condition, however, they were decreased by 64% on average when using the developed radiation restrictor. The dose at 100 cm from the center of X-ray was  $3.0 \pm 0.08 \mu\text{Gy}$  without phantom and was increased by 40% with  $4.2 \pm 0.08 \mu\text{Gy}$  after phantom usage. The dose when using phantom and the developed radiation restrictor was  $1.4 \pm 0.08 \mu\text{Gy}$ , which was decreased by 66% compared to the case without using them. Therefore, it is considered the scattered radiation can be shielded at 100-150 cm, the regulation of the distance between beds, effectively with the developed radiation restrictor when using mobile X-ray generators, which can lower the radiation exposure to the people nearby including healthcare professionals and patients

**Key Words:** Mobile X-ray generator, Secondary Radiation, Shielding device, Scattered radiation, Spatial dose

**중심 단어:** 이동형 X선 발생장치, 2차 방사선, 차폐도구, 산란 방사선, 공간선량

## I. 서 론

방사선을 이용하는 의료영상 분야는 환자의 정확하고 신속한 진단과 효과적인 질병의 치료에 중요한 역할 차지하고 있고 이로 인해 방사선 노출이 증가되어 피폭 또한 증가하고 있다[1-5].

환자에게 조사되는 방사선은 인체를 투과하여 X선 감약 차이에 의해 의료영상을 만드는 1차 방사선과 환자의 해부학

적 구조를 나타내는 것과 관계없이 영상 수신부에 영향을 미쳐 영상의 질을 떨어뜨리거나 주변으로 산란되어 피폭선량으로 작용하는 2차 방사선으로 구분된다[6,7]. 따라서 산란방사선(scatter radiation), 초점 외 X선(off focus radiation), 누설방사선(leakage radiation)을 일컫는 2차 방사선은 의료영상의 대조도를 떨어뜨리고 환자는 물론 주변인에게 피폭의 원인이 되므로 가능한 한 차폐되어야 한다. 이러한 의료행위로 인한 방사선피폭 감소를 위해 ICRP에서는 시간, 거리, 차

Corresponding author: Ghajung Kim, Dept. of Radiological Science, Far East University, 76-32 Daehakgil, Gamgok-myeon, umseong-gun, Chungcheongbuk-do, 27601, Republic of Korea / Tel: +82-43-879-3690 / E-mail: gjms1225@hanmail.net

Received 28 August 2018; Revised 10 October 2018; Accepted 23 October 2018

Copyright ©2018 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

폐를 방어원칙으로 제시하여 방사선에 노출되는 시간을 줄이고 선원과의 거리를 멀리하고 선원과 인체 사이 적절한 차폐체 사용을 권고하고 있다[8]. 의료기관에서 다양한 질병에 대한 정확한 진단과 경과의 관찰, 회복 상태의 확인 등을 위해 X선을 이용한 촬영 시 방사선 피폭의 대상이 되는 환자 자신을 제외하고는 방사선에 의한 피폭으로부터 안전 보장을 받아야 한다. 보건복지부의 “진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙”에 의해 방사선 관계 종사자는 방사선으로 인한 위해를 입는 것을 방지하기 위해 종사자 개인피폭선량을 관리하고 있다[9]. 그러나 방사선 관계 종사자를 제외한 의료인이나 병원 직원, 보호자, 주변 환자 등은 방사선 피폭 방지에 관한 별도의 규정이 없다. 따라서 의료기관에서 진단용 방사선 발생장치를 사용할 경우 방사선에 의한 피폭을 줄이기 위해 방사선 구역을 설정해야 하지만[10] 이동형 X선 발생장치의 경우 방사선 구역이 아닌 중환자실, 수술실, 다인 병실, 회복실 등과 같이 개방된 곳에서 사용되거나 거동이 어려운 환자나 보호자 또는 병원 관계자는 본인의 의사와 관계없이 2차 방사선에 의한 피폭이 이루어진다[11,12]. 이동형 X선 발생장치 사용으로 인한 노출 시간은 Manual 화 된 촬영조건으로 인해 시간의 단축의 효과가 크지 않고 수술실, 중환자실, 응급실 등의 별도의 차폐 규정이 없으며 그 외의 장소에서

촬영 할 경우에는 진료용 엑스선 방어칸막이를 설치 해야한다 [13]. 그러나 다양한 수술장비가 사용되는 수술실이나 환자와 연결되어 사용되는 생명유지 장치를 사용하는 중환자실 등에서 여러 개의 크고 무거운 X선 방어용 칸막이를 운용하는 것은 제약이 많고 주변인의 피폭을 방지하기 위해 병실 밖의 차폐공간으로 이동하여 촬영하는 것 또한 쉽지 않다. 따라서 복잡한 의료장비를 사용해야 하거나 개방된 장소에서 이동형 X선 발생장치를 사용할 경우 주변인에게 발생하는 피폭선량을 줄이는 효과적인 방안이 필요하다.

본 연구는 방사선 구역 외에서 사용되는 이동형 X선 발생장치의 사용 시 주변으로 산란되어 피폭선량으로 작용하는 2차 방사선에 의한 공간선량을 측정하고 이를 효과적으로 차폐하기 위한 새로운 개념의 선속조절기를 개발하고 효과를 평가해보고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 선속 조절기 제작

진단용 X선 발생장치의 사용 시 선속을 제한하고 환자선량을

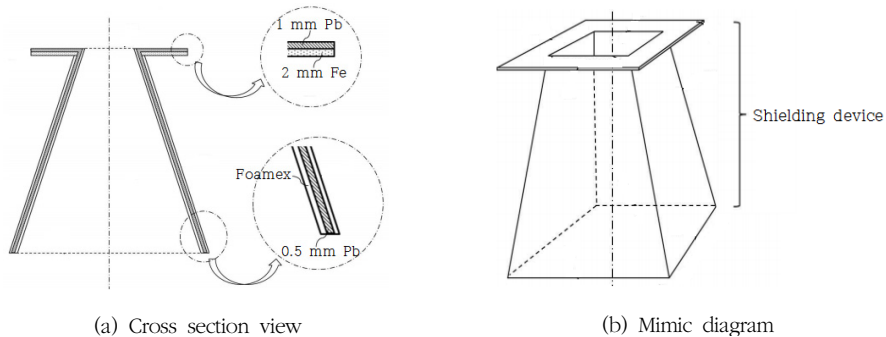
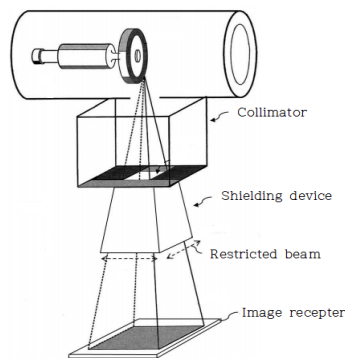


Fig. 1 Cross section view and mimic diagram of radiation shielding apparatus



(b) Installed state

Fig. 2 Schematic diagram and photograph of radiation shielding apparatus

감소시키는 기구로 격막형 선속조절기(Aperture diaphragm), 원통형 선속조절기(Cones), 가변형 선속조절기(Collimator)가 있으며 collimator는 광원을 제공하여 X선과 중심선속을 일치시킬 수 있는 장점으로 가장 일반적으로 사용된다[8]. 실험을 위해 선원과 영상 사이의 거리(Source to Image Distance, SID) 100 cm에서 조사야를 45×45 cm로 제한하는 구조의 격막 형태로 2 mm 두께의 철판(Fe)에 1 mm 두께의 납(Pb)를 접착하였고, 선원으로부터 방사형으로 확장되는 X선을 차폐할 수 있도록 밑면이 좁고 윗면이 넓은 사각형의 차폐 확장판을 foamex panel 사이에 0.5 mmPb를 결합한 샌드위치 구조로 연결하여 이동형 X선 발생장치의 Collimator에 결합하는 구조로 제작하였다. X선관의 collimator와 결합되어 1차 방사선이 들어가는 부분은 4×4 cm의 내경으로 뚫려 있고 팬텀 방향으로 나가는 부분은 14.5×14.5 cm이고 높이는 14 cm이다 (Fig. 1), (Fig. 2).

2. 연구 방법

실험 방법은 인체 조직 등가 팬텀(Multipurpose chest phantom Ph-1, 43×40×48H, 18 kg/ Angiographic head phantom Ph-3, 49×33×35H, S/N 13C-06, Kyoto Kagaku, 일본)을 바닥에서 1 m 높이의 환자용 침대에 Supine Position 상태로 설치하고 이동형 X선 촬영장치(PX-100CLK, S/N MPAA06F 22-1132, Medison X-ray, 대한민국)를 선원과 영상 사이의 거리(Source to Image Distance, SID)를 1 m로 하였다[Fig.3]. 이동형 X선 발생장치를 사용 시 산란체로 작용하는 환자로 인해 주변으로 발생하는 산란방사선의 증가 정도를 평가하기 위해 팬텀이 없는 상태와 팬텀을 설치한 상태를 비교하여 측정하였고 개발된 선속조절기를 설치하여 계측기(Unfors Xi Survey detector, S/N 171378, Fluke, Sweden)로 2차 방사선에 의한 공간선량을 측정하였으며 계측기의 방향은 팬텀 중심을 향하도록 하였다. 측정에 사용된 계측기는 촬영조

건과 가까운 80 kVp에서 교정기의 허용오차는 10%이고 교정오차는 0%이다(교정일: 2018.2, 측정 범위: 0-9999 µGy). X선 발생장치의 촬영조건은 Chest AP(86 kVp, 100mA, 0.032 Sec)로 하였고 촬영장치 본체에 의한 산란선을 배제하고 팬텀과 선속조절기 유무에 의한 공간선량을 비교하기 위해 촬영장치 측을 제외하여 팬텀의 -90°(Head 방향)에서 +90°(Body 방향)으로 30° 간격으로 측정하였고 X선 중심에서 50 cm부터 150 cm까지 10 cm 간격으로 각각 5회 촬영하여 평균값을 사용하였다(Fig. 3).

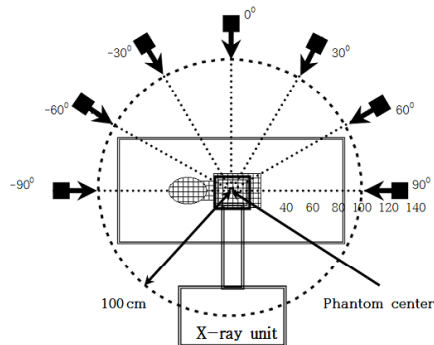
III. 결 과

이동형 X선 발생장치의 촬영 시 환자에 의해 산란되는 2차 방사선에 의한 공간선량을 알아보고자 인체등가 팬텀 유무에 따라 측정하였다. 동일 조건에서 팬텀을 사용하였을 때 촬영중심으로부터 50-150 cm까지 팬텀의 머리방향에서 몸통방향으로 측정된 모든 수평방향에서 공간선량이 증가하였다. 촬영중심에서 90 cm 거리에서 팬텀 사용 전 4.0±0.1 µGy에서 팬텀 사용 후 5.3±0.07 µGy로 공간선량이 32%로 가장 작게 증가하였고 촬영중심으로부터 150 cm 거리에서 0.3±0.04 µGy에서 0.5±0.04 µGy로 공간선량이 66%로 가장 크게 증가하였다(Table 1, 2).

의료 영상을 형성하는 1차 방사선 외 주변으로 향하여 피폭을 유발시키는 방사선을 차폐하기 위해 인체등가 팬텀을 사용하고 개발된 선속조절기 사용 유무에 따른 공간선량을 측정하였다. 인체등가 팬텀과 개발된 선속조절기를 사용하였을 때 촬영중심에서 50-150 cm까지 팬텀의 머리방향에서 몸통방향으로 측정된 모든 수평방향에서 선속조절기를 사용하지 않았을 때 보다 공간선량이 감소하였다. 팬텀과 선속조절기를 사용하였을 때 촬영중심으로부터 140 cm 이



(a) Measurement photograph



(b) Measurement location

Fig. 3 Dose measurement location at 30° intervals 100 cm from phantom center

**Table 1** Spatial dose without phantom

Unit:  $\mu\text{Gy}$

	$-90^\circ$	$-60^\circ$	$-30^\circ$	$0^\circ$	$+30^\circ$	$+60^\circ$	$+90^\circ$	Mean $\pm$ SD
50cm	12.4	11.9	13.1	12.8	12.1	12.3	12.6	12.4 $\pm$ 0.41
60cm	7.9	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1	8.0	8.0 $\pm$ 0.10
70cm	6.3	6.1	6.3	6.2	6.2	6.3	6.1	6.2 $\pm$ 0.08
80cm	5.1	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.1 $\pm$ 0.07
90cm	3.9	4.0	4.0	3.9	4.0	4.2	4.1	4.0 $\pm$ 0.10
100cm	3.0	3.0	3.2	3.1	3.2	3.0	3.1	3.0 $\pm$ 0.08
110cm	1.9	1.8	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0	1.9 $\pm$ 0.07
120cm	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.3	1.2 $\pm$ 0.08
130cm	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	0.8	0.9 $\pm$ 0.07
140cm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5 $\pm$ 0.04
150cm	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3 $\pm$ 0.04

**Table 2** Spatial dose with phantom

Unit:  $\mu\text{Gy}$

	$-90^\circ$	$-60^\circ$	$-30^\circ$	$0^\circ$	$+30^\circ$	$+60^\circ$	$+90^\circ$	Mean $\pm$ SD
50cm	17.2	17.1	16.9	16.9	17.1	17.2	17.3	17.1 $\pm$ 0.15
60cm	12.3	12.1	12.2	12.0	12.3	12.1	12.3	12.1 $\pm$ 0.12
70cm	8.8	8.9	8.7	8.9	8.9	9.1	9.1	8.9 $\pm$ 0.14
80cm	7.1	7.1	7.2	7.1	7.2	7.2	7.2	7.1 $\pm$ 0.05
90cm	5.3	5.4	5.3	5.3	5.4	5.5	5.4	5.3 $\pm$ 0.07
100cm	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2	4.3	4.2	4.2 $\pm$ 0.08
110cm	2.8	2.8	2.7	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7 $\pm$ 0.08
120cm	1.8	1.6	1.7	1.7	1.9	1.8	1.8	1.7 $\pm$ 0.09
130cm	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3 $\pm$ 0.04
140cm	1.0	1.0	0.9	1.0	0.8	0.9	0.8	0.9 $\pm$ 0.08
150cm	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5 $\pm$ 0.04

**Table 3** Spatial dose with phantom and radiation restrictor

Unit:  $\mu\text{Gy}$

	$-90^\circ$	$-60^\circ$	$-30^\circ$	$0^\circ$	$+30^\circ$	$+60^\circ$	$+90^\circ$	Mean $\pm$ SD
50cm	5.8	5.6	5.7	5.8	5.9	5.8	5.8	5.7 $\pm$ 0.09
60cm	4.3	4.2	4.4	4.4	4.2	4.3	4.4	4.3 $\pm$ 0.08
70cm	3.5	3.6	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4 $\pm$ 0.07
80cm	2.6	2.7	2.8	2.6	2.7	2.7	2.8	2.7 $\pm$ 0.08
90cm	2.1	2.3	2.1	2.2	2.1	2.3	2.2	2.1 $\pm$ 0.08
100cm	1.4	1.3	1.5	1.4	1.5	1.3	1.4	1.4 $\pm$ 0.08
110cm	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9 $\pm$ 0.06
120cm	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6 $\pm$ 0.05
130cm	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4 $\pm$ 0.05
140cm	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2 $\pm$ 0.05
150cm	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1 $\pm$ 0.05

상은 자연방사선 범위의 선량이 측정되어 비교에서 제외하였고 90 cm 거리에서 선속조절기 사용 전 5.3 $\pm$ 0.07  $\mu\text{Gy}$ 에

서 선속조절기 사용 후 2.1 $\pm$ 0.08  $\mu\text{Gy}$ 로 공간선량이 60%로 가장 작게 감소하였고 130 cm 거리에서 1.3 $\pm$ 0.04  $\mu\text{Gy}$ 에서

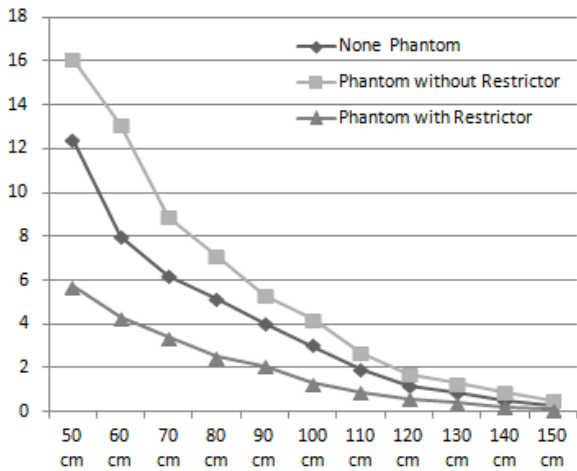


Fig. 4 Comparison of spatial dose according to Phantom and Shield

0.4±0.05 μGy로 공간선량이 69%로 가장 크게 감소하였다 (Table 3).

팬텀과 선속조절기 유무에 따른 공간선량 변화의 비교를 위해 측정된 angle 마다 각 거리에 따른 평균 선량값을 비교하였다. 팬텀 사용 유무에 따라 각 거리에서 측정된 공간선량은 팬텀이 없을 때 보다 팬텀을 사용 했을 때 32-66% 증가하여 평균 46%의 선량이 증가하였고, 팬텀을 사용하고 선속조절기 사용 유무에 따른 각 거리에서 측정된 공간선량은 선속조절기가 없을 때 보다 사용 했을 때 자연방사선 범위를 제외한 50-130 cm까지 공간선량은 60-69% 증가하여 평균 64% 감소하였다(Fig. 4).

촬영중심에서 수평방향 100 cm 등거리의 동일 조건에서 인체등가 팬텀과 개발된 선속조절기를 사용하였을 때 공간선량을 측정하였다. 인체등가 팬텀을 사용하지 않았을 때 공간선량은 3.0±0.08 μGy에서 사용 후 4.2±0.08 μGy로 약 40%의 공간선량이 증가하였고, 팬텀을 사용하고 개발된 선속조절기를 사용했을 때 공간선량은 1.4±0.08 μGy로 선속조절기를 사용하지 않았을 때 보다 66% 감소하였다(Table 4), (Fig. 5).

#### IV. 고 찰

진단용 방사선 발생장치는 촬영과 관계없는 주변인들의 방사선에 의한 피폭을 방지하기 위해 방사선 구역에서 사용되지만 이동형 X선 발생장치는 개방된 장소에서 사용되므로 주변인에게 원하지 않는 피폭을 유발한다[14]. 따라서 본 연구는 이동형 X선 발생장치의 사용 시 촬영 영역 외 주변으로 발생하는 방사선의 효과적인 차폐를 위해 선속조절기를 개발하였으며 공간선량을 감소시키는 효율성을 평가하고자 하였다.

정 등의 연구[15]는 3개 업체의 디지털 유방촬영 시 공간선량율을 측정하였고 촬영장치의 수평 방향의 선량이 높았으며 선량이 높은 방향으로 납유리 차폐의 보완이 필요하다고 보고했다. 유방촬영 장치는 방사선 구역 내에서 촬영자가 함께 위치하여 주변인에 방사선 노출이 되지 않고 촬영

Table 4 Comparison of spatial dose at 100cm from X-ray center

Unit: μGy

	-90°	-60°	-30°	0°	+30°	+60°	+90°	Mean±SD
None phantom	3.0	3.0	3.2	3.1	3.2	3.0	3.1	3.0±0.08
Phantom without restrictor	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2	4.3	4.2	4.2±0.08
Phantom with restrictor	1.4	1.3	1.5	1.4	1.5	1.3	1.4	1.4±0.08

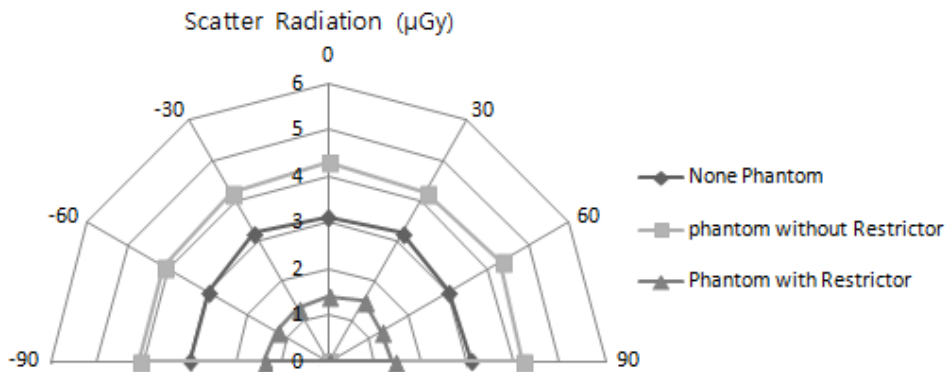


Fig. 5 Comparison of dose 300 interval 100 cm from phantom center

장치에 크고 무거운 납유리 등의 차폐체가 설치되어 있지만 개방된 공간에서 사용하는 이동형 X선 발생장치는 모든 방향으로 피폭이 발생함으로 크고 무거운 여러 개의 차폐체를 사용하는 것이 쉽지 않기에 보다 사용하기 쉬운 차폐체의 개발이 필요하다.

조의 연구[16]는 투시 검사실 내 공간선량의 분포 측정에서 팬텀을 사용하고 50 cm 거리에서 150 cm 거리의 변화 시키면 90% 이상의 산란방사선이 감소한다고 보고했다. 본 연구에서도 이와 같은 조건에서 약 97%의 공간선량이 감소하였지만 Chest AP 촬영 조건으로 촬영중심에서 150 cm의 거리에서 측정된 공간선량은  $0.5 \pm 0.04 \mu\text{Gy}$ 로 우리나라의 자연 방사선량을 0.05–0.3  $\mu\text{Sv/h}$ 과 비교하여 높은 수치로 거리를 더욱 떨어뜨리거나 추가적인 차폐를 하여야 한다[17].

최의 연구[18]는 거리 역자승의 법칙을 적용하여 촬영이 이루어지는 환자로부터 2 m 이상 거리를 멀리하여 주변으로 피폭되는 선량에 의한 영향을 줄일 수 있다고 보고했다. 현재의 병원 내 환자 병상 간 거리는 대부분 100 cm 내외로 200 cm 이상 거리를 두는 것은 쉽지 않고 보건복지부의 병상간 거리는 100–150 cm로 규정하여 공간선량을 줄이기 위해 추가적인 차폐도구가 필요하다고 할 수 있다[19]. 개발된 선속조절기를 설치하였을 때 촬영 중심에서 140 cm 이상의 거리부터 0.3  $\mu\text{Gy}$  이하의 자연방사선 강도에 속하는 공간선량이 측정되었다. 이것은 촬영중심에서 환자 병상의 가장자리까지 거리를 제외하여 환자 병상간의 거리를 기준으로 할 경우 Chest AP 촬영조건에서 병상간 거리 100 cm에서 자연방사선 이하의 선량을 가질 수 있다.

최 등의 연구[20]에서 이동형 X선 발생장치의 collimator 주변을 0.35 mmPb로 차폐하고 팬텀을 이용한 피폭선량 감소에 연구에서 약 20%의 차폐효과가 있다고 보고했다. 본 연구에서 0.5 mmPb를 이용하여 개발된 선속조절기의 사용 시 약 64%의 공간선량이 감소한 것과 많은 차이가 있었다. 납의 두께를 감안하더라도 collimator 측에 설치한 차폐 기구의 차폐 효과 차이가 큰 것은 기존 연구에서 사용된 장치는 collimator의 외측면을 감싸는 형태이고 개발된 선속조절기는 X선 선속을 제한하는 격막형 선속조절기(Aperture diaphragm)에 방사선 투사 면적을 제한하는 형태가 결합되어 2차 방사선의 발생을 효과적으로 차단하기 때문으로 볼 수 있다.

이동형 X선 발생장치의 collimator의 방사선 출구의 일반적인 면적은 약  $10 \times 10$  cm 가량이고 연구를 위해 개발된 선속조절기를 사용할 경우  $4 \times 4$  cm의 크기로 1차 방사선이 진행되는 면적을 줄여주어 collimator의 조사야 조절 외 추가적인 조사야를 제한하는 효과와 선속조절기 하단을 의료

영상 수상면 크기로 제한하여 팬텀 방향으로 진행되는 산란 방사선을 차폐하여 불필요한 2차 방사선을 효과적으로 차폐할 수 있었다. 촬영 시 환자의 신체에 접촉하거나 주위를 둘러싸지 않고 collimator에 결합 가능한 구조로 개발된 이동형 X선 발생장치의 선속조절기는 대한민국 특허청에 특허출원 하였다[21].

본 연구는 방사선을 이용한 검사 시 방사선에 의한 노출을 최소화해야 한다는 ICRP의 권고[22]에 따라 최적화의 원칙을 적용하여 원하지 않는 피폭을 줄이기 위해 이동형 X선 발생장치의 collimator에 탈착과 부착이 가능한 선속조절기를 개발하여 모든 방향으로 산란되어 피폭을 유발하는 산란 방사선을 효과적으로 차폐하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 공간선량의 측정 시 수평방향의 공간선량만을 측정하였기에 사방향, 수직방향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각되며 산란되는 방사선은 다양한 원인에 의해 발생함으로 환자 position, 촬영 조건, 측정 방법 등 실제 임상에서 사용되는 상황에 따른 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

방사선을 이용한 장치는 방사선 관리구역에서 사용되지 만 이동형 X선 발생장치는 개방된 곳에서 사용되므로 모든 방향으로 산란되는 방사선에 의해 주변인에게 피폭을 일으키는 원인이 된다. 개방된 장소에서 이동형 X선 발생장치의 사용 시 개발된 선속조절기를 사용하면 크고 무거워서 이동이 쉽지 않은 다수의 진료용 엑스선 방어칸막이를 사용하지 않더라도 주위 모든 방향으로 발생하는 산란 방사선의 효과적인 차폐가 가능하여 방사선 피폭을 줄일 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Korea Centers for Disease Control and Prevention, Publication of Medical Radiation Occupational Radiation Statistics Statistical Yearbook[Internet], KCDC; 2017 [cited 2018 Jul 11] Available from: <https://www.cdc.go.kr/CDC/intro/CdcKrIntro0201.jsp?menuIds=HOME001-MNU1154-MNU0005-MNU0011&cid=72953>
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Annex A Medical Radiation Exposures, UNSCEAR REPORT 2008, 2010.

- [3] National Council on Radiation Protection and Measurement, Ionizing Radiation Exposures of the Population of the United States, NCRP Publication 160, 2009.
- [4] Kim JK, Kim JK, Evaluation on organ dose and image quality of lumbar spine radiography using glass dosimeter, *Journal of Radiological Science and Technology*, 2016;39(1):1-11.
- [5] Park HS, Lim CH, Kang BS, You IG, Jung HR, A study on the evaluation of patient dose in interventional radiology, *Journal of Radiological Science and Technology*, 2012;35(4):299-308.
- [6] Carlton, RR, Alder AM, Principles of Radiographic Imaging: an art and a science, 3<sup>th</sup> Edition, Delma, CA:DelmaThomsonLearning; 2001,240-7.
- [7] Back CH, A study of scattered radiation effect on digital radiography imaging system, *Journal of Radiological Science and Technology*, 2017;40(1):71-8.
- [8] International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 106, Elsevier; 2008.
- [9] Ministry of Government Legislation, Rules for the Safety Management of Diagnostic Radiation Generators Article 4, 2017.
- [10] Ministry of Government Legislation, Rules for the Safety Management of Diagnostic Radiation Generators Article 9, 2017.
- [11] Ciraulo DL, Marini CP, Lloyd GT, Fisher J, Do surgical residents, emergency medicine physicians, and nurses experience significant radiation exposure during the resuscitation of trauma patients?, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 1994;36(5):703-5.
- [12] Grazer RE, Meislin HW, Westerman BR, Criss EA, Exposure to ionizing radiation in the emergency department from commonly performed portable radiographs, *Ann Emerg Med* 1987;16(4):17-20.
- [13] Ministry of Health and Welfare, Rules for Safety Management of Diagnostic Radiation Generators, Ministry of Health and Welfare No.528, 2017.
- [14] Jang DG, Kim JH, Park ET, Analysis of the spatial dose rates according to the type of radiation source used in multi-bed hospital, *Journal of Radiological Science and Technology*, 2017;40(3):407-13.
- [15] Jung HM, Jung JE, Hyun HJ, Won DY, The evaluation of space dose distribution for digital mammography equipment, *Journal of the Korean Society of Radiology*, 2015;9(1):59-63.
- [16] Cho PG, Distribution of the scatter ray in fluoroscopy X-ray, The Korea contents society, 2011; 11(10):349-54.
- [17] Korea Atomic Energy Research Institute, Radiation dose rate[Internet], KAERI; 2018 [cited 2018 Jul 19] Available from: [https://www.kaeri.re.kr/sub/sub03/sub03\\_02\\_01.jsp](https://www.kaeri.re.kr/sub/sub03/sub03_02_01.jsp)
- [18] Choi SK, Relationship between the distribution of space doses in X-ray rooms and the "Inverse square law of distance", The Korea Contents Society, 2013; 13(8):301-7.
- [19] Ministry of Health and Welfare, Medical law enforcement regulation No 00477, 2017.
- [20] Choe DH, Ko SJ, Kang SS, Kim CS, Kim JH, Kim DH, Analysis of dose reduction of surrounding patients in Portable X-ray, *Journal of the Korean Society of Radiology*, 2013;7(2):113-20.
- [21] Kim GJ, Koo BY, Apparatus for reducing scatter radiation in mobile X-ray equipment, Patent application No.10-2018-0078105, Korea Intellectual Property Office, 2018.
- [22] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 103, *Ann ICRP*, 2007;37(2-4).