

<원저>

이동형 방사선 차폐장치의 성능평가에 관한 연구

구본열¹⁾·한상현²⁾¹⁾영등병원 영상의학과·²⁾한서대학교 방사선학과

A Study on the Performance Evaluation of Portable Radiation Shielding Apparatus

Koo Bon-Yeoul¹⁾·Han Sang-Hyun²⁾¹⁾Department of Radiology, Yeongdong Hospital²⁾Department of Radiological Science, Hanseo University

Abstract When using a mobile X-ray unit, primary radiation creates medical images and secondary radiation scatters in many directions, which reduces image quality and causes exposure to patients, care givers and medical personnel. The purpose of this study was to develop a radiation shielding system for effectively shielding secondary radiation and evaluate its effectiveness. Using a mobile X-ray unit, spatial dose according to presence of human equivalent phantom and spatial dose using the developed shielding device were measured, and the phantom at 80 cm equidistance from center of X-ray was compared with spatial dose according to use of a shield. Measurements were taken at intervals of 10 cm every 30° from the head direction(-90°) to the body direction(+90°). In the spatial dose measurement with and without the phantom, when the human equivalent Phantom was used, the spatial dose was increased by 40% in all directions from 40 cm to 100 cm from the central X-ray, and about 88% of the space dose was reduced when using the developed shields with the phantom. The equidistance dose at 80 cm from the central X-ray was increased by 39% from $5.1 \pm 0.26 \mu\text{Gy}$ to $7.1 \pm 0.15 \mu\text{Gy}$ when the human equivalent phantom was used, and when phantom was used and shielding was used, the spatial dose was reduced by about 90% from $7.1 \pm 0.15 \mu\text{Gy}$ to $0.7 \pm 0.07 \mu\text{Gy}$. The spatial dose of natural radiation was measured to be about $0.2 \pm 0.04 \mu\text{Gy}$ when using the developed shielding with Phantom at a distance of 1 m or more. It is expected that by using the developed shielding system, it will be possible to effectively reduce secondary radiation dose received in all directions and to ensure safe imaging.

Key Words: Mobile X-ray, Secondary Radiation, Radiation Shield, Spatial Dose, Exposure Dose

중심 단어: 이동형 X선 장치, 2차 방사선, 방사선 차폐, 공간선량, 피폭선량

I. 서 론

의료기술의 발달과 더불어 의료영상 분야에서 방사선을 이용한 검사가 크게 증가하였고 이로 인해 방사선에 의한 피폭 또한 전 세계적인 추세로 증가하고 있다[1-4]. 방사선 피폭을 줄이기 위해 국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)에서 정당화, 최적화, 선량한도를 권고하였고[5], 환자는 X-ray 사

용으로 인한 위험보다 의료영상을 통한 임상적 이득이 크기 때문에 정당화의 원칙이 적용 되지만 직접촬영 대상이 아닌 같은 공간에 위치한 사람의 방사선 피폭은 정당화 될 수 없다. 응급실이나 수술실, 다인 병실과 같이 차폐 되지 않은 장소에서 이동형 X선 발생장치의 빈번한 사용으로 환자, 보호자, 병원 관계자 등의 방사선 피폭이 증가하였다[6-8]. 따라서 의료방사선 사용에 의한 불필요한 방사선 피폭을 줄이도록 최적화 원칙을 적용하여 달성할 수 있는 한 낮게(As

Corresponding author: Sang-Hyun Han, Department of Radiological Science, Hanseo University, 46, Hanseo 1-ro, Haemi-myeon, Seosan-si, Chungcheongnam-do, Korea / Tel: +82-10-3443-2720 / E-mail: luck2han@hanmail.net

Received 09 July 2018; Revised 09 August 2018; Accepted 23 August 2018

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

Low As Reasonable Achievable; ALARA) 최소화하는 것을 권고하고 있다[5].

의료기관에서 진단용 방사선 발생장치 사용 시 방사선 피폭에 의한 위험을 방지하기 위해 벽이나 방erkan막이 등이 구획된 방사선 구역에서 사용되지만 이동형 X선 촬영장치(Radiographic Mobile X-ray Unit)는 별도의 방어시설 규정이 없으며, 여러 명의 환자나 보호자가 있을 경우 이동형 진료용 방erkan막이를 설치하도록 규정하고 있다[9]. 그러나 여러 개의 진료용 방erkan막이를 사용하는데 있어서 방erkan막이의 크기, 중량, 이동, 설치공간 등의 문제로 이동형 X선 발생장치와 함께 사용하기가 쉽지 않고 이로 인해 같은 공간에 위치한 다른 환자, 의료인, 보호자에게 방사선 피폭을 증가시키는 문제를 야기하게 된다.

X선 발생장치 사용 시 인체를 통과하는 광자는 1차 방사선으로 의료영상을 생성하지만 X선 tube에서 원하지 않는 방향으로 산란되거나 인체와 상호작용으로 방향을 바꾸는 광자는 의료영상의 질을 떨어뜨리고 환자로부터 방출되어 주변인에게 피폭을 일으키는 2차 방사선으로 작용한다[10-12]. 따라서 본 연구는 이동형 X선 발생장치 사용 시 환자를 중심으로 모든 방향으로 발생하는 2차 방사선에 의한 주변인의 방사선 피폭을 줄이기 위해 새로운 개념의 이동형 X선 발생기 전용 차폐장치를 개발하고 그 효과를 평가하는데 목적이 있다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

진단용 X선은 의료영상을 만드는 1차 방사선과 모든 방향으로 산란되어 의료영상의 질을 떨어뜨리고 피폭의 원인으로 작용하는 2차 방사선이 있다. 본 연구에서는 1차 방사

선에 영향을 주지 않고 2차 방사선에 의한 피폭을 감소시킬 목적으로 신개념의 이동형 방사선 차폐장치를 개발하였다. 식품의약품안전처 고시에서 X선 방어용품 납 당량은 0.25 mmPb 이상이며 120 kVp의 1차 방사선을 79.84%를 차폐할 수 있다[13,14]. 본 연구에서는 0.25 mmPb의 방어용 알루미늄 소재를 사용하여 환자테이블과 이동형 X선 발생장치 사이에 이동형 방사선 차폐장치를 설치하여 환자의 촬영목적 부위를 제외하고 모든 방향을 차폐할 수 있는 구조로 제작하였고, 윗면은 collimator 크기를 고려하여 40×40 cm²이고 아랫면은 stretcher car의 폭이 65 cm인 것을 고려하여 60×60 cm²로 제작하였다[Fig. 1]. 개발된 신개념 이동형 방사선 차폐장치는 대한민국 특허청에 특허 출원하였다[15].

2. 연구 방법

본 실험은 Y병원 응급실에서 실험하였으며, 이동형 X선 발생장치(PX-100CLK, S/N MPAA06F22-1132, MEDISON, 대한민국, 2006)를 환사용 bed에 팬텀(Ph-3 Head/Ph-1 Chest, S/N 13C-06, Kyoto Kagaku, Japan)이 없는 상태에서 X선 촬영 시 거리에 따른 공간선량을 측정하였고, 같은 조건하에 Ph-3 head와 Ph-1 Chest phantom을 놓고 촬영하여 팬텀 유무에 따른 2차 방사선에 의한 공간선량의 변화를 측정하였으며, 팬텀이 있는 상태에 개발된 이동형 방사선 차폐장치를 설치하여 차폐장치의 사용유무에 따른 공간선량의 변화를 측정하였다. X선의 촬영조건은 이동형 X선 발생장치로 가장 많이 촬영하는 Chest AP 촬영조건(86 kVp, 3.2 mAs)으로 하였고, 선원과 영상 사이의 거리(Source to Image Distance; SID) 1 m로 고정하고, 조사야는 45×45 cm²로 하였고, 방사선 계측기(Unfors Xi Survey detector, S/N 171378, 교정일: 2018.2, 허용오차: 10%, 교정오차: 0%, Fluke, Sweden)로 공간선량을 측정하였다. 이동형 환사용 bed에 head와 chest Phantom을 결합하여

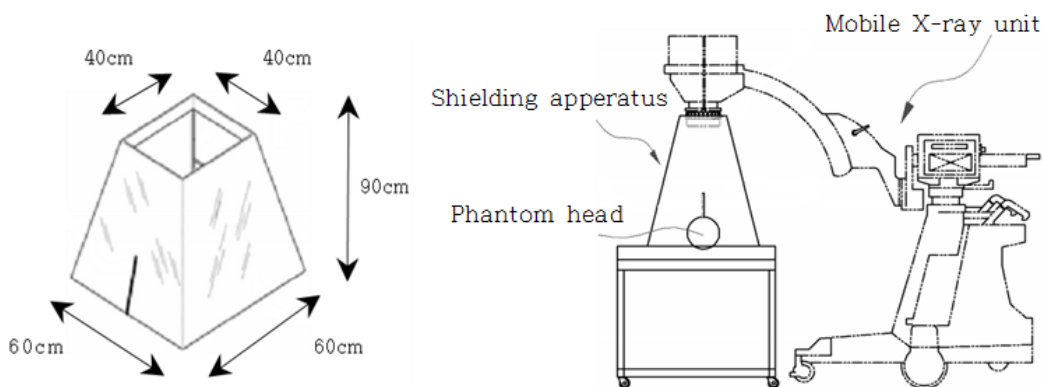


Fig. 1 Schematic diagram of radiation shielding apparatus

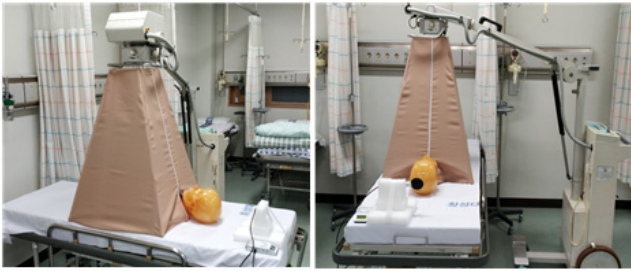


Fig. 2 Schematic diagram and photograph showing the radiation shielding apparatus installed on mobile X-ray unit

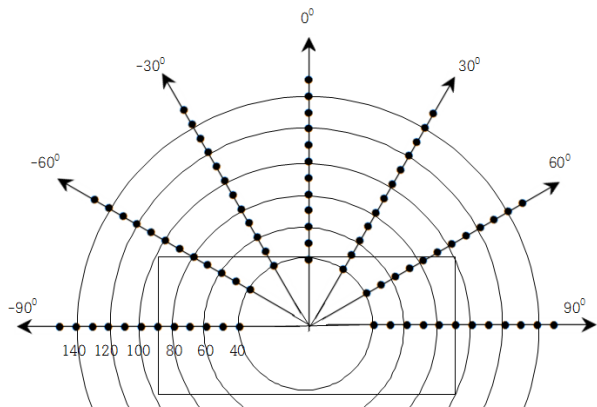


Fig. 3 Spatial dose measure location

놓고, 팬텀 중심부에 이동형 X선 발생장치를 설치하여 팬텀의 head방향(-90°)에서 body방향(+90°)까지 바닥에서 1 m

높이에서 환자용 bed 수평 방향으로 30° 간격으로 공간선량을 측정하였다[Fig. 2].

X선 중심 선속으로부터 거리 40 cm에서 150 cm까지 10 cm 간격으로 방사선 계측기를 중심 X선 방향으로 각각 4회 촬영하였고, 변동 값이 가장 큰 값을 제외한 3회 측정값을 사용하였다[Fig. 3].

III. 결 과

1. 위치에 따른 공간선량 분포

촬영조건이 동일한 상태에서 팬텀 유무에 따른 공간선량 분포를 비교했을 때, 팬텀 사용 시 거리에 따른 공기 중 흡수선량이 증가하여 등선량 분포면적이 증가하였고, 이것은 X선이 팬텀을 통과하면서 인체등가 팬텀이 산란체로 작용되어 모든 방향으로 공간선량 분포가 증가되어 약 40%의 공간선량이 증가된 것을 알 수 있다. 팬텀을 설치한 상태에서 개발된 이동형 방사선 차폐장치를 사용했을 때 모든 방향으로 산란되는 선량이 감소하여 팬텀 주변 공간선량 분포 강도가 약 88% 감소하였다. 팬텀을 사용하고 개발된 차폐체를 사용했을 때 중심 X선에서 1 m 거리를 기준으로 0.2 μGy 이하의 공간선량이 측정되었다[Fig. 4], (Table 1).

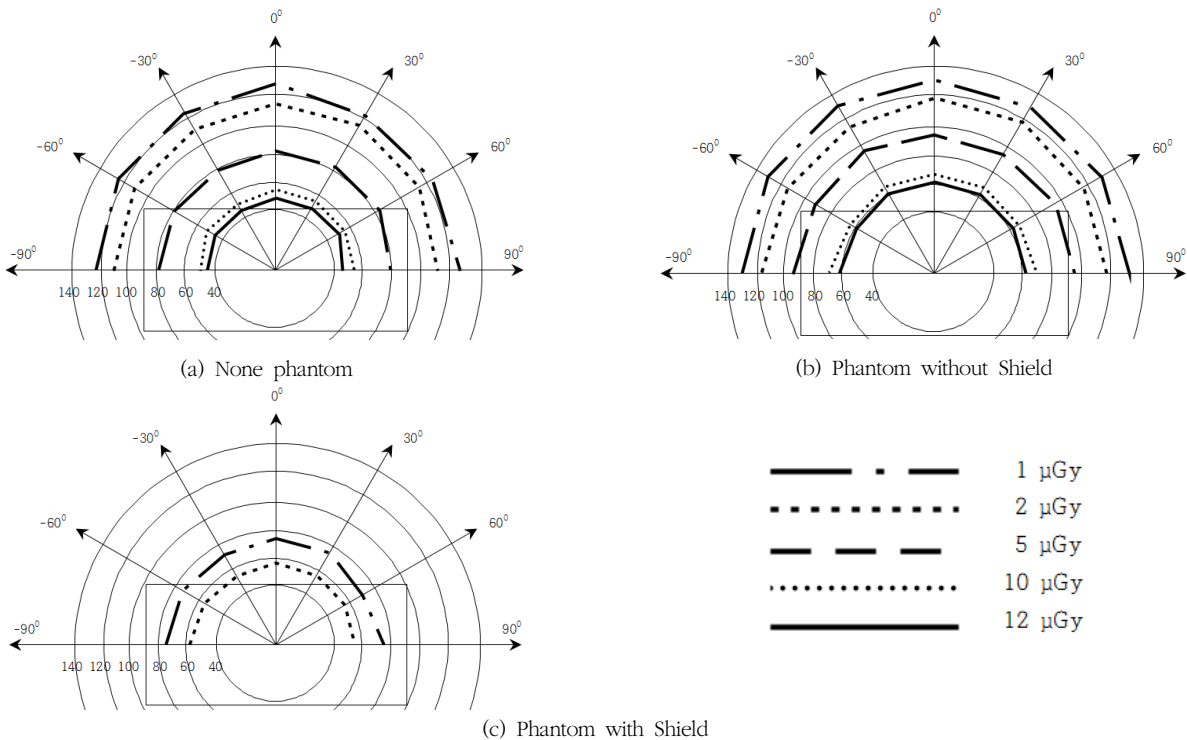


Fig. 4 Horizontal iso-exposure curves measured 1m above the floor

Table 1 Comparison of spatial dose according to location

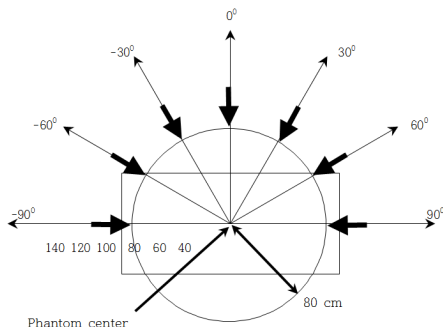
Unit: μGy

Distance	Angle	-90°	-60°	-30°	0°	+30°	+60°	+90°	Mean \pm SD
		None	16.3	14.2	14.6	15.6	15.9	15.6	
40 cm	Phantom	24.4	23.6	23.9	24.0	23.8	24.1	23.7	23.9 \pm 0.26
	Shield	3.1	2.9	2.9	3.0	2.8	2.9	2.9	2.9 \pm 0.09
50 cm	None	10.7	11.1	11.5	12.5	11.9	11.9	11.0	11.5 \pm 0.62
	Phantom	16.2	13.9	14.0	15.7	16.2	16.2	15.0	15.3 \pm 0.73
	Shield	2.5	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4 \pm 0.09
60 cm	None	7.9	8.0	7.9	8.3	8.1	8.4	8.2	8.1 \pm 0.19
	Phantom	13.2	11.8	12.2	13.1	12.7	12.8	13.5	12.8 \pm 0.59
	Shield	1.8	1.7	1.7	1.8	1.7	1.6	1.7	1.7 \pm 0.07
70 cm	None	5.8	5.9	6.3	6.1	6.2	6.0	5.9	6.0 \pm 0.17
	Phantom	9.5	8.0	8.4	8.5	8.9	8.9	8.6	8.7 \pm 0.47
	Shield	1.4	1.2	1.1	1.3	1.1	1.0	1.2	1.2 \pm 0.13
80 cm	None	4.8	5.0	4.9	5.3	5.5	5.3	4.9	5.1 \pm 0.26
	Phantom	7.2	7.3	6.9	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1 \pm 0.15
	Shield	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7 \pm 0.05
90 cm	None	3.9	4.1	3.9	4.4	4.3	4.2	4.1	4.1 \pm 0.18
	Phantom	5.8	5.5	5.7	5.6	5.3	5.5	5.3	5.5 \pm 0.19
	Shield	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5 \pm 0.07
100 cm	None	3.2	3.3	3.1	3.7	3.3	3.3	3.4	3.3 \pm 0.18
	Phantom	3.9	3.8	3.9	4.1	3.9	3.8	4.0	3.9 \pm 0.11
	Shield	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2 \pm 0.04
110 cm	None	2.2	2.2	2.1	2.3	2.5	2.4	2.2	2.2 \pm 0.13
	Phantom	2.8	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.7	2.5 \pm 0.17
	Shield	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1 \pm 0.05
120 cm	None	1.2	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.2	1.1 \pm 0.06
	Phantom	1.5	1.8	1.6	1.8	1.9	1.6	1.6	1.7 \pm 0.14
	Shield	-	-	-	0.1	-	-	0.1	-
130 cm	None	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8 \pm 0.04
	Phantom	1.1	1.1	1.1	1.1	0.8	1.0	1.1	1.0 \pm 0.11
	Shield	-	-	-	-	-	-	-	-
140 cm	None	0.6	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.7	0.5 \pm 0.09
	Phantom	0.8	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.8 \pm 0.08
	Shield	-	-	-	-	-	-	-	-
150 cm	None	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3 \pm 0.07
	Phantom	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6 \pm 0.05
	Shield	-	-	-	-	-	-	-	-

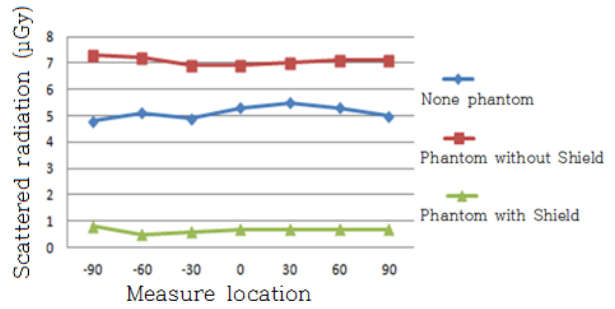
2. 중심선으로부터 80cm에서의 공간선량 비교

X선 촬영 중심으로부터 80 cm 등거리에서 팬텀 유무와 차폐장치 유무에 따른 공간선량을 비교한 결과, 팬텀이 없을 경우 선량은 5.1 \pm 0.26 μGy 이고, 팬텀이 있을 경우

7.1 \pm 0.15 μGy 로 팬텀 주변으로 발생하는 공간선량이 38% 증가하였다. 개발된 이동형 방사선 차폐장치를 팬텀에 설치한 후 측정된 선량은 0.7 \pm 0.07 μGy 로 팬텀을 사용하였을 때 보다 90%의 공간선량이 감소하였다[Fig. 5], (Table 2).



(a) Measure position



(b) Comparison of dose

Fig. 5 Comparison of dose at 30° intervals 80cm from phantom center

Table 2 Comparison of spatial dose at 80cm from the center X-ray

Unit: µGy

Angle	None Phantom	Phantom	
		without Shield	with Shield
-90°	5.1	7.2	0.7
	4.5	7.1	0.8
	4.9	7.3	0.6
-60°	5.1	7.1	0.6
	5.3	7.4	0.7
	4.9	7.3	0.7
-30°	4.9	7.1	0.6
	4.8	7.2	0.6
	5.1	6.9	0.7
0°	5.2	7.2	0.8
	5.3	6.9	0.8
	5.3	7.0	0.7
30°	5.4	7.1	0.6
	5.4	6.9	0.8
	5.3	7.3	0.7
60°	5.6	7.1	0.8
	5.2	7.1	0.7
	5.3	7.4	0.7
90°	5.2	7.2	0.7
	4.8	7.0	0.8
	4.9	6.9	0.7
Mean±SD	5.1±0.26	7.1±0.15	0.7±0.07

IV. 고 찰

본 연구는 이동형 X선 촬영장치를 이용하여 응급실이나 병실 또는 수술실에서 거동이 어려운 환자를 촬영할 때 본인의 의사와는 무관하게 방사선 피폭을 받게 되는 환자 주변인들의 피폭을 감소시킬 목적으로 인체와 조직등가인 팬텀을 사용하여 실제 환자 촬영 시 발생하는 2차 방사선에 의

한 공간선량을 측정하였고 개발된 차폐장치를 사용하여 감소되는 공간선량을 측정하여 차폐효과의 효용성을 평가하였다.

홍 등의 연구[16]는 0.375 mmPb의 방어용 앞치마 소재를 이용하여 이동형 X선 장치의 collimator 측에 고정하는 차폐도구를 장착하여 평균 58%의 선량이 감소하였다. 본 연구에서는 이전 연구에 사용된 소재의 2/3 두께인 0.25 mmPb의

방어용 앞치마 소재를 사용하였지만 collimator에서 팬텀 표면까지 차폐하는 구조로 평균 88%의 선량감소를 확인하였다. X선이 투과되는 인체는 산란체로 작용하여 주변으로 발생하는 2차 방사선을 증가시키지만 인체에 의해 증가된 산란선량을 고려하지 않고 collimator에 설치한 차폐체에 의한 공간선량의 차폐효과는 실제 차폐효과보다 과대평가된 것으로 인체등가 팬텀을 사용한 본 연구와의 차폐효과 차이는 더 크다고 할 수 있다.

최 등의 연구[17]는 팬텀과 collimator에 설치한 차폐체를 이용하여 약 20%의 차폐효과가 있다고 하여 본 연구의 90%와 차폐효과와 차이가 크게 나타났다. 이것은 X선 tube에 결합된 collimator 주변만을 차폐할 경우 X선 tube측 2차 방사선 차폐에만 적용되고 가장 큰 산란체인 인체에서 발생하는 2차 방사선을 효과적으로 차폐할 수 없기 때문으로 이동형 X선 발생장치에 의한 주변인의 2차 방사선에 의한 피폭을 줄이기 위해 차폐효과를 높이려면 촬영대상 환자에게서 발생하는 2차 방사선을 차폐하여야 할 것이다.

이동형 X선 촬영 시 주변인의 방사선에 의한 피폭을 줄이기 위한 방법으로 환자 병상간 거리를 늘이는 것에 대한 논의와 함께 병상간 거리 규정이 발표 되었지만[18] 현재 대부분의 병원 병상간 거리는 1 m 안팎이 대부분이다. 박의 연구[19]는 팬텀을 이용한 공간선량 분포실험(65kVp, 10mAs, 10×10cm)에서 촬영 중심에서 50 cm 거리에서 선량율이 평균 5.5 μ Sv/hr로 측정되었고, 주변인의 방사선 피폭 방지를 위해 2 m의 거리를 유지하도록 하였고, 미국 산업안전보건연구원[20]은 이동형 X선 발생장치를 사용할 경우 1.8 m 이상 거리를 두어야 한다고 했다. 본 연구에서 개발된 차폐장치를 사용하여 흉부를 촬영할 때 촬영 중심으로부터 50 cm 거리의 공간선량은 $2.4 \pm 0.09 \mu$ Gy이고 1 m 거리에서 $0.2 \pm 0.04 \mu$ Gy로 우리나라의 평상 시 자연 방사선량율이 0.05~0.3 μ Sv/h인 것을 감안하면[21] 현재의 1 m 가량의 환자병상간 거리에서 충분히 차폐된다는 결과를 얻었다.

본 연구에서 이동형 X선 발생장치의 사용 시 2차 방사선에 의한 주변인의 피폭을 줄이기 위해 개발된 차폐체는 X선 tube의 collimator를 포함하여 환자의 촬영범위를 충분히 감싸는 형태이고 주변 모든 방향에서 차폐효과는 약 88%로 높게 나타났으며, 현재 사용되는 이동형 방어간막이의 사용 시 크고 무거우며 이동이 쉽지 않은 점에 대한 단점을 개선할 수 있을 것으로 생각된다.

연구의 제한점으로 sitting position에서의 차폐효과는 공간선량에 반영되지 않았고, 환자 몸에 밀착하여 사용하기 때문에 감염예방에 관한 추가적인 연구와 방사선사들의 실제 사용에 따른 만족도를 조사하여 반영하면 차폐기구 사용

의 효용성을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 이동형 X선 발생장치 사용 시 주변으로 발생하는 2차 방사선에 의한 공간선량을 측정하였고 의료영상을 만드는 것과 상관없이 피폭선량으로 작용하는 산란방사선을 효과적으로 차폐하기 위해 개발된 이동형 방사선 차폐장치를 이용하여 차폐효과를 평가하였다. 그 결과 개발된 차폐체의 사용은 이동형 X선 발생장치 사용으로 발생하는 2차 방사선을 모든 방향에서 효과적으로 차폐하여 ICRP에서 권고한 ALARA의 최적화를 적용할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] NCRP. Ionizing radiation exposure of the population of United States. Bethesda, MD: NCRP Report 160; 2009.
- [2] Gil JW. Estimated effective dose from diagnostic medical radiation in Korean and factors that affect the high-level dose [dissertation]. Cheongju: Chungbuk National University; 2015.
- [3] Korea Food & Drug Administration. A study on investigation and analysis of medical radiation usage [Internet]. National Digital Science Library; 2010 [cited 2018 May 30]. Available from: <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201100007732>.
- [4] ICRP. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP publication 85. Ann ICRP. 2000;30(2).
- [5] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2-4).
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Jeong JH, Lim YS, Park KN, Kim YM, Choi SM, Lee MJ, et al. Radiation exposure to physicians in the emergency department. *Korean Society of Emergency Medicine*. 2008;19(1):25-30.
- [9] Ministry of Health and Welfare. Rules for safety management of diagnostic radiation generators. Sejong: Ministry of Health and Welfare No.528; 2010.
- [10] Calton RR, Adler AM. Principles of radiographic image: An Art and a science. 3rd ed. Delmar, CA: Delmar Thomson Learning; 2001.267-70.
- [11] Na SK, Han SH. A study on the factors of spatial scattered ray occurrence in the X-ray radiography room. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2009;32(4).393-9.
- [12] Back CH. A study of scattered radiation effect on digital radiography imaging system. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2017;40(1). 71-8.
- [13] Korea Food & Drug Administration. Electronic medical device specification. Korea Food & Drug Administration Notice 2007-83;2007.
- [14] McCaffrey JP, Shen H, Downton B, Mainegra-Hing E. Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. *Medical Physics*. 2007;34(2):530-743.
- [15] Koo BY. Portable radiation shielding apparatus. patent application No. 10-2018-0005135[Internet]. Korea Intellectual Property Office. 2018.
- [16] Hong SS, Kim DY. Measurement of Skin Dose Distribution for the Mobile X-ray Unit Collimator Shielding Device. *Journal of the Korean Society for Digital Imaging in Medicine*. 2010;12(1):5-8.
- [17] Choe DY, Ko SJ, Kang SS, Kim CS, Kim JH, Kim, DH, et al. Analysis of dose reduction of surrounding patients in Portable X-ray. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2013;7(2): 113-20.
- [18] Ministry of Health and Welfare. Medical law enforcement regulations. Ministry of Health and Welfare No 511; 2017.
- [19] Park CH. Analysis of Space Radiation Dose Rate using Portable X-ray Generating Device for Abdomen. *Journal of the Korean Society for Digital Imaging in Medicine*. 2010;12(2):97-101.
- [20] U.S. Department of Health and Human services. Guidelines for protecting the safety and health care workers. Washington DC: U.S. government printing office; 1998.
- [21] 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