

〈원저〉

일반엑스선영상검사의 인자에 따른 산란방사선량 평가 및 분석

정동경¹⁾·박명환¹⁾·서정민²⁾¹⁾대구보건대학교 방사선학과·²⁾부산가톨릭대학교 방사선학과

Evaluation and Analysis of Scattered Radiation Dose according to Factors in General X-ray Examination

Dong-Kyung Jung¹⁾·Myeong-Hwan Park¹⁾·Jeong-Min Seo²⁾¹⁾Department of Radiologic Technology, Daegu Health College²⁾Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Abstract Control of scattered radiation is one of very important factors in the use of medical radiation. In general X-ray exam, the causes, measurement methods, and the kind of detectors of scattered rays within the radiation area are diverse. In this study, the dose of scattered ray was measured by changing the thickness of the polycarbonate phantom and the tube voltage. As a result of measurement of scattered radiation, the results show that the scattered dose significantly($p < .05$) increased with growing of thickness of phantom in the tube voltage 40, 50 and 60 kVp($F(p) < .05$, $R^2 > 64%$). As tube voltage increased at all phantom thicknesses, the scattered dose also significantly($p < .05$) increased($F(p) < .05$, $R^2 > 69%$). In cases where a significant correlation was shown, the coefficient of determination of more than 60% was shown in regression analysis. The results of this study can be used as data on scattered radiation dose according to the tube voltage and the object thickness in general X-ray imaging exam.

Key Words : Rays, Survey Meter, Radiation Protection, Radiation Area, Radiation Safety Management

중심 단어 : 산란선, 서베이미터, 방사선방호, 방사선구역, 방사선안전관리

I. 서론

현대사회는 경제와 과학의 발전으로 건강에 대한 인식이 높아졌으며, 의학기술은 지난 100년 동안 비약적인 발전으로 급격하게 변화하여 고도의 의료기술력을 갖추게 되었다[1]. 이와 함께 노령인구와 의료수요는 지속해서 증가하며[2] 의료방사선 검사의 수요도 함께 증가하게 되고, 의료 현장에서 시행되는 방사선검사의 종류도 다양해졌으며 의료방사선 사용에서의 안전을 보장하기 위한 여러 행정적 제도 및 법률 등이 시행되고 있다[3,4].

의료방사선은 의료 현장뿐 아니라 교육 및 연구 등 다양한 분야에서도 이용 중이며, 국내에서는 1995년 ‘진단용 방사선

발생장치의 안전관리에 관한 규칙’에 의해 의료관계종사자에 대한 방사선안전관리가 시행되었다[3]. 방사선사는 의료기관에서 인체에 대한 치료와 검사의 목적으로 의료기관에서 방사선을 취급하는 직종이다. 관련 법규에 따라 방사선사는 의사 등의 지도 아래에 진료나 의화학적 검사에 종사하며 방사선 등의 취급 또는 검사 및 방사선 관련 기기의 취급 또는 관리를 수행하는 직종으로 영상의학검사를 위해 환자 및 피검자에게 방사선을 조사하는 행위를 포함한 업무를 담당하고 있다[4]. 진단적 가치를 지닌 의료영상을 획득하면서 이와 함께 환자 및 피검자의 피폭선량을 감소시키는 것도 방사선사 업무의 궁극적인 목적이라고 볼 수 있다[5].

진단용 방사선 발생장치를 사용하는 영상의학 검사실에서는

Corresponding author: Jeong-Min Seo, Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan, 57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan city, 46252, Republic of Korea / Tel: +82-51-510-0581 / E-mail: thomas8@cup.ac.kr

Received 10 December 2023; Revised 21 January 2024; Accepted 28 January 2024

Copyright ©2024 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

방사선구역 내외부의 산란방사선량을 평가하는 것이 중요하다. 방사선구역에서의 산란방사선 발생 요인은 방사선의 강도와 조사량 및 조사면적 그리고 피사체의 두께 등 다양한 물리적 요인이 영향을 미친다[6]. 우리나라는 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 1990년 11월에 제시한 ICRP No. 60 권고에 근거하여 ‘원자력안전법 시행령 별표 1’과 ‘진단용 방사선 발생장치 안전관리에 관한 규칙 별표 3’에서 방사선 피폭 선량한도를 제시하고 있다[7]. 방사선사는 방사선의 이용과 이에 대한 안전관리뿐 아니라 방사선관계종사자와 환자에 대한 피폭 관리를 수행하는 것도 필요하다[3,8]. 그러므로 의료분야의 방사선안전 관리에서는 환자에 대한 피폭선량의 올바른 이해가 필요하며 검사 시 발생하는 산란방사선이 환자 또는 피검자에게 미치는 영향을 정량적인 정보와 함께 정확히 인지하는 것이 매우 중요하다. 그러나 영상의학검사 시 발생하는 산란방사선에 대한 국내의 연구는 피폭 자체에 대한 방어와 방사선구역 내의 공간선량률에 대한 측정 연구가 대부분이다. 그러므로 산란방사선 발생의 근본적인 원인이 되는 피사체의 조건과 방사선 조사조건에 따른 산란방사선을 평가하고 검증하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 일반엑스선영상검사서 산란방사선의 여러 발생요인 중 피사체의 두께와 방사선의 관전압 변화에 따른 산란방사선을 정량적으로 측정하고 각 요인의 변화에 따른 영향을 확인하여 의료방사선 사용 분야에 기초적인 정보를 제공하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 실험기기 및 재료

1) 진단용 방사선 발생장치

본 연구에서는 영상의학검사의 기초적인 검사 분야인 일반엑스선영상검사서에서 발생하는 산란방사선을 측정하였으며 이를 위하여 진단용 방사선발생장치(UDI50L-40E; Shimadzu, kyoto, Japan)를 사용하였다.

2) 폴리카보네이트 팬텀

일반엑스선영상검사서에서 피사체의 두께에 따른 산란방사선의 발생을 측정하기 위하여 인체를 대신하는 폴리카보네이트 고체팬텀(polycarbonate, PC plate, MS Medicamp, Korea)을 사용하였다. 탄산염을 주원료로 하는 폴리카보네이트 재질의 팬텀은 미국의학물리학회(American Association Physicists

in Medicine, AAPM)에서 CT의 성능관리용 팬텀으로 제시하여 사용되고 있으며 밀도 1.20 g/cm^3 로 인체의 조직과 유사한 특성을 가진다[9].

본 연구에서는 두께 1 cm의 팬텀들을 필요한 두께만큼 적층하여 사용하였으며 각각의 팬텀 크기는 $20 \times 20 \times 1 \text{ cm}^3$ 로 제작되었다.

3) 방사선 검출기

팬텀의 두께에 따른 산란방사선량을 측정하기 위하여 비례계수관형 엑스선 및 감마선 측정용 서베이미터(FH 40G; Thermo Scientific co, Tokyo, Japan, 교정인자 평균 1.39 ($1000\mu \text{ Sv}$ 범위, 측정불확도 7.5%, 2023년 교정))를 사용하였다.

2. 실험방법

1) 피사체 두께와 관전압의 변화

일반엑스선영상검사서에서 피사체의 두께에 따른 산란방사선의 발생을 확인하기 위하여 폴리카보네이트 팬텀의 두께를 0에서 10 cm까지 1 cm 단위로 증가시키며 각 두께에 따른 산란방사선량을 측정하였다. 팬텀의 각 두께에서 관전압의 크기에 따른 산란방사선을 확인하기 위하여 40에서 100 kVp까지 10 kVp 단위로 증가시키며 엑스선을 조사하고 산란방사선량을 측정하였다. 다른 조사조건들의 통제를 위하여 방사선조사거리 100 cm, 조사면 면적은 $20 \times 20 \text{ cm}^2$, 관전류는 100 mA, 조사시간은 100 msec로 고정하였다.

2) 산란방사선 측정

검출기의 위치는 조사면적 각 변으로부터 조사면 밖 1cm 거리에 위치시키고 조사면 중심을 향하여 측정하였으며 검출기의 안정화를 위하여 측정 수치가 백그라운드 이하가 되었을 때 방사선을 조사하여 값을 획득하였다. 산란방사선량은 흡수선량 단위로 측정되었으며 각 관전압과 팬텀의 두께별로 3회씩 반복 측정을 시행한 후 측정 평균값을 결과에 적용하였다.

3) 산란선량 분석

측정된 산란방사선량에 대하여 엑스선의 관전압과 팬텀의 두께에 따른 상관성을 확인하였다. 통계 분석에는 SPSS Statistics 25(IBM, USA) 통계 패키지를 사용하여 Spearman 상관분석과 선형회귀분석을 시행하였다. 통계적 검증은 유의수준 0.05를 기준으로 하였다.

III. 결과

1. 관전압과 팬텀두께에 따른 산란선량의 상관분석

각 관전압과 팬텀의 각 두께에 따라 측정된 산란선량은 Table 1과 같다.

각 관전압에서 폴리카보네이트 팬텀의 두께 증가에 따른 산란방사선 발생량의 변화는 40, 50 그리고 60 kVp와 같이 비교적 낮은 관전압에서 유의한 상관성($p < .05$)을 보이며 증가하였고 70 kVp 이상의 관전압에서는 팬텀의 두께 증가와 산란선량의 변화 사이에 유의한 상관성을 보이지 않았다(Table 2). 동일

한 팬텀 두께에서 관전압의 증가에 따른 산란방사선 발생량의 증가는 모든 두께의 폴리카보네이트 팬텀에서 유의한 상관성($p < .05$)을 보이며 증가하였다(Table 2).

2. 관전압과 팬텀두께에 대한 회귀분석

각 관전압별 측정값에서 팬텀의 두께가 산란선량에 영향을 미치는지 확인하기 위하여 단순선형회귀분석을 실시하였다. 분산분석의 F 통계량과 그 유의확률을 확인하여 종속변수인 산란선량에 대한 각 독립변수의 설명의 유의성을 확인하고 결정계수(R^2)를 통하여 설명력의 수준을 확인하였다. 또한 계수의 t

Table 1. Dose of scattered radiation measured based on tube voltage and phantom thickness using proportional counter survey meter [mSv]

Depth (cm)	kVp						
	40	50	60	70	80	90	100
0	3.94	7.54	11.58	14.93	20.30	21.63	22.73
1	4.06	10.50	16.50	18.27	21.60	22.80	23.47
2	4.81	10.87	17.97	21.30	22.57	23.80	23.33
3	5.39	11.95	19.40	22.63	23.80	24.40	24.47
4	5.48	11.90	19.07	22.27	23.20	23.60	23.77
5	5.76	12.90	17.50	20.77	23.77	23.80	24.37
6	5.87	10.56	20.53	20.87	23.07	23.80	23.77
7	6.04	12.77	20.70	23.20	23.23	24.10	23.73
8	6.36	13.00	20.63	22.77	24.40	24.23	24.10
9	7.74	15.87	20.80	21.83	21.57	21.23	23.83
10	7.99	15.03	20.43	19.70	21.03	24.33	23.87

kVp: tube voltage, depth: thickness of polycarbonate phantom, unit of dose: mSv

Table 2. Correlation of scattered radiation dose by tube voltage and phantom thickness in proportional counter survey meter

kVp	Correlation by tube voltage		Correlation by thickness		
	r	p	Depth	r	p
40	1.000	<.001	0	1.000	<.001
50	.873	<.001	1	1.000	<.001
60	.836	.001	2	.964	<.001
70	.391	.235	3	1.000	<.001
80	.127	.709	4	1.000	<.001
90	.339	.307	5	1.000	<.001
100	.528	.095	6	.964	<.001
			7	.964	<.001
			8	.857	.014
			9	.857	.014
			10	.929	.003

unit of depth: cm, r: correlation coefficient, p: p-value of r

통계량과 그 유의확률을 통하여 회귀모형의 유의성과 유효한 계수를 확인하였다.

분석 결과, 40, 50, 60 kVp에서 유의한 회귀모형을 나타내는 것을 확인하였으며 70 kVp 이상의 관전압에서는 팬텀의 두께 변화가 산란방사선량에 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타나지 않았다(Table 3). 관전압 40, 50 그리고 60 kVp에서 독립변수인 팬텀의 두께가 산란선량을 유의하게($p < .05$) 설명하며 팬텀의 두께에 따른 계수는 각각 0.376, 0.597, 0.668이고 유의한($p < .05$) 회귀모형을 보이고 각 해당 관전압에서 93.1 %

75.3 %, 64.1 %의 설명력(R^2)을 나타내었다.

또한 각 팬텀의 두께별 측정값에서 관전압의 크기가 산란선량에 영향을 미치는지 확인하기 위하여 단순선형회귀분석을 실시하였으며, 분석 결과, 모든 두께에서 관전압의 크기가 산란방사선량에 유의하게 영향을 미치는 결과를 나타내었다(Table 4).

모든 팬텀 두께에서 독립변수인 관전압의 크기가 산란선량을 유의하게($p < .05$) 설명하며 각 관전압의 크기에 따른 계수는 모두 유의한($p < .05$) 회귀모형을 보이고 모든 관전압에서 69 % 이상의 설명력(R^2)을 나타내었다.

Table 3. Results of linear regression analysis according to the tube voltage (variance : depth)

Tube voltage		Non-Standardized Coefficient		Standardization		$t(p)$	$F(p)$	R^2
		B	SE	Factor	β			
40	Constants	3.890	0.202			19.293	<.001	.931
	Depth	0.376	0.034	0.965		11.020	<.001	
50	Constants	9.098	0.674			13.500	<.001	.753
	Depth	0.597	0.114	0.868		5.237	.001	
60	Constants	15.306	0.986			15.528	<.001	.641
	Depth	0.668	0.167	0.801		4.010	.003	
70	Constants	18.856	1.223			15.418	<.001	.277
	Depth	0.384	0.207	0.526		1.858	.096	
80	Constants	22.242	0.759			29.303	<.001	.032
	Depth	0.070	0.128	0.180		0.549	0.596	
90	Constants	23.060	0.628			36.716	<.001	.051
	Depth	0.074	0.106	0.226		0.694	.505	
100	Constants	23.405	0.250			93.782	<.001	.247
	Depth	0.072	0.042	0.497		1.718	.120	

Tube voltage : kVp, Depth : thickness of polycarbonate phantom, $t(p)$: coefficient, $F(p)$: ANOVA, R^2 : coefficient of determination

Table 4. Results of linear regression analysis according to the phantom thickness (variance : tube voltage)

Depth		Non-Standardized Coefficient		Standardization		$t(p)$	$F(p)$	R^2
		B	SE	Factor	β			
0	Constants	-8.563	1.946			-4.448	.007	.969
	Tube voltage	0.333	0.027	0.984		12.465	<.001	
1	Constants	-5.240	3.460			-1.514	.190	.897
	Tube voltage	0.314	0.048	0.947		6.608	.001	
2	Constants	-3.698	4.526			-0.817	.451	.830
	Tube voltage	0.307	0.062	0.911		4.942	.004	
3	Constants	-2.772	4.876			-0.569	.594	.810
	Tube voltage	0.309	0.067	0.900		4.615	.006	
4	Constants	-2.130	4.805			-0.443	.676	.799
	Tube voltage	0.294	0.066	0.894		4.459	.007	

Table 4. Results of linear regression analysis according to the phantom thickness (Cont.) (variance : tube voltage)

Depth		Non-Standardized Coefficient		Standardization		$t(p)$	$F(p)$	R^2
		B	SE	Factor	β			
5	Constants	-2.565	3.827			-0.670	.532	32.495
	Tube voltage	0.300	0.053	0.931		5.700	.002	
6	Constants	-2.327	4.942			-0.471	.658	18.939
	Tube voltage	0.295	0.068	0.889		4.352	.007	
7	Constants	-0.455	5.320			-0.086	.935	14.629
	Tube voltage	0.280	0.073	0.863		3.825	.012	
8	Constants	-0.507	5.105			-0.099	.925	16.375
	Tube voltage	0.284	0.070	0.875		4.047	.010	
9	Constants	4.041	4.571			0.884	.417	11.554
	Tube voltage	0.213	0.063	0.835		3.399	.019	
10	Constants	2.201	3.699			0.595	.578	22.068
	Tube voltage	0.239	0.051	0.903		4.698	.005	

Tube voltage : kVp, depth : thickness of polycarbonate phantom, $t(p)$: coefficient, $F(p)$: ANOVA, R^2 : coefficient of determination

IV. 고 찰

의료방사선의 사용은 환자에게 의료적 혜택을 주고 있으나 방사선 피폭에 대한 정당화와 최적화가 따라야 한다. 방사선사는 방사선 취급 및 영상의학검사를 시행함으로써 환자 및 피검자에 대한 방사선 피폭의 영향을 발생시키며 이로 인하여 인체에 방사선으로 인한 직간접적 작용이 나타날 수 있게 된다[10]. 그러므로 방사선사는 환자 및 피검자에게 방사선을 조사하여 검사를 시행할 때, 피폭의 수준을 감소시키면서 동시에 진단적 가치가 있는 영상을 획득하는 것이 필요하므로 방사선구역 내에서 발생하는 선량의 관리가 매우 중요하다고 할 수 있다[11]. 이처럼 방사선의 사용에 따른 피폭선량을 경감시키는 것은 방사선사의 인식 및 관리에 따라 달성이 가능하며[12], 방사선 피폭의 최소화를 위한 방법은 선량계를 이용하여 피폭선량을 실측하고 이를 관리하는 방법뿐 아니라 교육 및 홍보를 통한 인식의 개선도 필요하다고 할 수 있다[13,14]. 방사선사는 방사선 피폭의 발생원인 및 다양한 방사선 방호의 방법을 숙지하고 있어야 한다. 그러므로 일차선원에 의한 직접적 피폭뿐 아니라 여러 이유로 인하여 간접적으로 발생하는 피폭도 인지하고 관리할 수 있어야 한다. 이와 같은 간접적인 피폭 원인으로 산란방사선에 의한 영향을 주목하지 않을 수가 없다.

최근의 방사선구역에 대한 공간선량 측정 연구는 지속적이며 다양한 연구가 이루어지고 있다[15-17]. 그러나 방사선구역 내의 산란방사선의 발생원인 및 경향을 직접적으로 확인한 연구는 찾아보기 어려우며 이를 위한 방사선 검출기의 선택과 사용에 관한 연구 사례도 찾아보기 어렵다. 이에 본 연구에서는

일반엑스선영상검사 시, 방사선구역 내의 여러 산란선 발생 요인 중 관전압의 크기와 피사체의 두께에 의한 산란방사선 발생량을 측정하여 발생 요인 변화가 산란선량 발생에 미치는 영향을 확인하고 평가하였다.

본 연구의 결과에서 40, 50 그리고 60 kVp와 같이 비교적 낮은 관전압 영역에서는 팬텀의 두께 증가에 따라 유의한 산란방사선 발생량의 선형적 증가가 나타났으며, 그 이상의 관전압은 유의한 상관성을 보이지 않았다. 낮은 관전압 영역에서는 팬텀의 두께가 증가하면 이와 함께 산란방사선의 발생량이 증가하지만 관전압이 60 kVp를 넘어서게 되면 산란방사선 발생량의 증가는 이미 포화를 이루게 됨을 실험으로 확인할 수 있었다. 다만 이와 같은 결과는 팬텀 외부에서 측정된 산란선량에 대한 평가이므로 추후에 이어지는 연구를 통하여 팬텀 내부에서의 산란선량 변화에 따른 확인이 필요할 것으로 사료된다.

모든 두께별 팬텀에서는 관전압이 높아질수록 산란방사선 발생량이 선형적으로 증가하게 됨을 실험으로 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 회귀분석을 통한 관계식을 적용하면 피사체의 두께별로 사용하는 관전압에 따른 산란방사선의 발생량을 예측하는 것이 가능할 것으로 사료되며 추가적인 연구를 통하여 다양한 피검체조건과 엑스선 조사조건에 대한 데이터를 구축한다면 방사선구역 내에서의 산란방사선 발생 패턴 자료로서 활용이 가능할 것이다.

본 연구에서 산란방사선의 발생요인 중 엑스선 조사조건에서 선질의 변화를 고려하기 위하여 관전압의 변화만을 고려한 점과 피사체의 두께를 최대 10 cm까지 적용한 점은 본 연구의 한계점이라 할 수 있으며 향후 연구에서 다양한 조사조건에 대

한 산란선량의 변화를 확인하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구에서 방사선구역에서의 일반엑스선영상검사 시, 조사조건과 피사체조건이 산란방사선량의 발생에 미치는 영향을 확인하였다.

낮은 관전압 영역에서는 피사체 두께의 증가가 산란방사선량의 증가에 영향을 미치나 높은 관전압 영역에서는 피사체의 두께가 증가하여도 산란방사선량의 변화에는 영향을 주지 않았다. 피사체의 두께가 일정하고 관전압이 증가하는 경우, 관전압의 크기는 산란방사선량의 증가에 유의하게 영향을 미치는 것이 정량적으로 확인되었다.

특정 상황에서는 피사체의 두께보다 선질의 증가가 산란선량의 증가에 더 영향을 주는 것으로 사료되므로 이에 대한 산란방사선량의 방호 및 감소에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 보이며 본 연구가 이를 위한 기초자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] Lim CS. A study on enacting the radiologic technologist act for the civil right to health in Korea. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2007;30(4): 313–20. Retrieved from https://m.riss.kr/search/detail/DetailView.do?p_mat_type=1a0202e37d52c72d&control_no=71e92c98cdb399f4ffe0bdc3ef48d419
- [2] Jeong KH, Park CH. Comparative study of sterilization by gamma-ray and electron-beam. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2020;14(5):537–43. DOI: <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2020.14.5.537>
- [3] The Ministry of Health & Welfare Ministry. Medical service act. Korea Ministry of Government Legislation; 2023.
- [4] The Ministry of Health & Welfare Ministry. Enforcement decree of the medical service technologists, ETC. ACT. Korea Ministry of Government Legislation; 2018.
- [5] Lee SY, Han DK. A study on the reduction of patient's exposure dose according to the arrival time of contrast media in abdominal CT scan using bolus tracking technique. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2021;15(2):93–100. DOI: <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2021.15.2.93>
- [6] McVey G. The effect of phantom type, beam quality, field size and field position on X-ray scattering simulated using Monte Carlo techniques. *British Journal of Radiology*. 2006;79(938):130–71. DOI: <http://dx.doi.org/10.1259/bjr/59998010>
- [7] Nuclear Safety and Security Commission. Enforcement decree of the nuclear safety act. Korea Ministry of Government Legislation; 2022.
- [8] Lim CS. A study on the management of exposure of workers and assistants related to diagnostic radiation. *Journal of the Korean Society of Law and Medicine*. 2021;22(3):97–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.29291/kslm.2021.22.3.097>
- [9] Kim JE, Lee SH. Derivation of the effective energy calculation formula of the x-ray beam generated by the CT simulator. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2021;15(6):869–75. DOI: <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2021.15.6.869>
- [10] Yoon CH, Yoon SH, Choi JG. Radiation exposure according to radiation technologist' working departments. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2008;31(3):217–22. Retrieved from <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART001278722>
- [11] Jeong KH, Jung DK, Seo JM. A study on the measurement linearity of hotoluminescent dosimeter. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2021; 15(6):841–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2021.15.6.841>
- [12] Yeo JD, Ko IH, Kim HS. A study on perceptions by college students of radiology about the knowledge, attitudes and behaviors of radiation exposure management. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2015;9(1):79–99. DOI: <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2015.9.2.79>
- [13] Park SJ, Lee HJ, Kang BS. A study on the public recognition change on radiation by providing education and practice. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2008;2(4):27–32. Retrieved from http://www.radlab.org/page/page_view?menu_num=119

- [14] Jo YI, Kim JH, Bae SI. Evaluation of spatial dose rate in working environment during non-destructive testing using radioactive isotopes. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2022;16(4):373-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2022.16.4.373>
- [15] Kim CG. Spatial dose distribution and exposure dose during lumbar lateral test. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2014;5(1):17-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.15207/JKCS.2014.5.1.017>
- [16] Choi SK. Relationship between the distribution of space doses in x-ray rooms and the "inverse square law of distance". *Journal of the Korea Contents Association*. 2013;13(8):301-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2013.13.08.301>
- [17] Kim JH, Shin EH. Spatial dose distribution for c-arm examination within operation room using monte carlo method. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2021;44(3):205-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2021.44.3.205>

구분	성명	소속	직위
제1저자	정동경	대구보건대학교 방사선학과	교수
공동저자	박명환	대구보건대학교 방사선학과	교수
교신저자	서정민	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수