

# A Study on the Evaluation of Radiation Safety in Opened-Ceiling-Facilities for Radiography Testing

Sung-Hoe Heo<sup>1</sup>, Won-Seok Park<sup>1</sup>, Seung-Uk Heo<sup>2</sup>, Byung-In Min<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Emergency and Disaster Management, Inje University

<sup>2</sup>Safety for medical Device and Radiation

<sup>3</sup>Department of Nuclear Applied Engineering, Inje University

Received: October 28, 2022. Revised: November 24, 2022. Accepted: November 30, 2022.

## ABSTRACT

Radiography-Testing that verify the quality of welding structures without destruction are overwhelmingly used in industries, but many safety precautions are required as radiation is used. The workers for Radiography-Testing perform the inspection by moving the Iridium-192 radiation source embedded in the transport container of the gamma-ray irradiator within or outside the facility. The general facility is completely blocked about radiation from the outside with thick concrete, but if it is difficult for worker to handle object of inspection, facilities ceiling can be opened. A general facility may be constructed using a theoretical dose evaluation method because all exterior facilities are blocked, but if the ceiling is open, it is not appropriate to evaluate radiation safety with a simple theoretical calculation method due to the skyshine effect. Therefore, in this study, the radiation safety of the facility was evaluated in the actual field through an ion chamber survey-meter and an accumulated dose-meter called as OSLD, and the actual evaluation environment was modeled and evaluated using the Monte Carlo simulation code as FLUKA. According to the direction of the irradiation, the radiation dose at the facility boundary was difficult to meet the standards set by the regulatory authority, and radiation safety could be secured through additional methods. In addition, it was confirmed that the simulation results using the Iridium-192 source were valid evaluation with the actual measured results.

Keywords: Radiography-Testing, facility, skyshine effect, ion chamber survey-meter, OSLD, Monte Carlo simulation, FLUKA, Iridium-192

## I. INTRODUCTION

방사선 발견으로 인하여 산업이 발전이 가속화 되었지만, 악영향도 적지 않았다. 일본 히로시마 원자 폭탄 투하, 체르노빌 원자력발전소 사고, 후쿠시마 원전 사고가 있었고, 심지어 브라질의 고이아니아에서 발생한 <sup>137</sup>Cs 치료기 선원 사고로 67 km<sup>2</sup>의 면적에 대한 오염검사가 실시되는 상황도 있었다. 이와 같은 사건, 사고들로 인하여 일반인에게 방사선 공포심을 각인하였다<sup>[1]</sup>.

사고가 발생했다면 반드시 원인이 있다. 원인을 야기한 책임자를 처벌하는 것이 중요한 것이 아니다. 사고의 원인과 경위, 결과를 면밀하게 검토, 분석하여 교훈을 도출하고 이를 과급함으로써 유사한 사고의 재발 확률을 낮추는 것이 중요하다. 우리 바람과는 달리 현실에서는 사고가 발생하지만 노력 수준에 따라 빈도나 확률을 줄일 수는 있다. 이러한 노력은 능동적 방법과 수동적 방법이 있다. 능동적 방법은 방사선에 대한 인식의 변화인데, 국제방사선의학회(International Congress of Radiology, ICR)가 설립되면서 방사선과 관련된 많은 지식이

\* Corresponding Author: Byung-In Min

E-mail: rimbi@inje.ac.kr

Tel: +82-55-320-3910

공유되었고, 방사선을 취급하는 사람의 인식 및 지식 또한 능동적으로 개선되었다. 수동적 방법은 규제로, 국내의 경우 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 권고한 방사선 방호 기본원칙을 권고를 바탕으로 방사선취급을 규제하고 있다.

2011년도 H중공업에서 법을 준수하지 않고 방사선투과검사(Radiography Testing, RT) 작업을 강행하여 방사선이 백혈병을 야기하는 사건이 있었다. 규제기관은 능동적 방법으로는 RT를 통제하지 못한다고 판단하여 수동적 방법을 통해 해당 사건 이후 수년을 거쳐 RT에 관련된 규정을 강화하여 통제하고 있다.

규제기관은 RT와 관련한 규정을 전면 개정 한 이후 사용시설 내 작업과 외의 작업을 엄격히 구분하고 제한 기준을 마련하였다. 그러나, 사용시설 내 검사부재를 취급하는데 용이하지 않을 경우 사용시설의 천장을 개방하는 경우에 대한 과학적인 평가 방법은 제시하지 않고 있다. 사용시설의 천장은 개방됨에 따라 방사선은 보다 무작위적으로 거동하여 이론적으로 평가하는 것은 과학적이지 않다. 그러므로 규제 기관은 작업 방법을 보수적으로 제한하고 있다.

본 연구에서는 실제 천장이 개방된 사용시설에서 방사선측정기로 선량을 평가하여 방사선 안전성을 확인하고, 규제 기관에서 제시한 작업 방법에 대한 제한 필요성을 확인하고자 한다. 추가로 실제 측정 방법과 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 비교 평가 결과의 유효성을 확인하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실제 측정 장비와 측정 방법

Table 1은 실제 환경에서 측정한 방사선측정기의 상세 사양을 나타내었다<sup>[3]</sup>. 감마선은 거동이 복잡하고 측정 감도가 여러 환경에 대하여 민감하다. 특히 측정 목적을 위한 선량은  $\mu\text{Sv/h}$  단위의 저선량이므로, 측정 정밀도가 높고, 최소 측정 범위가 낮은 해당 측정기를 사용하였다.

Table 1. Specification of Ion Chamber Survey Meter (ICSM)

Division	Details
Model	Aloka ics-331b, DL
Effective volume	Approx. 400 cm <sup>3</sup>
Energy measurement range	30 keV ~ 2 MeV
Dose-rate measurement range	1 $\mu\text{Sv/h}$ ~ 10 mSv/h

유효한 선량률은 측정기에 나타난 선량률 값 (Measured Dose-Rate, MDR)에 교정인자(Calibration Factor, F)를 반영하고, 자연 방사선량률(Background Dose-rate, B.G.)을 제외하여 다음 Eq. (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Valid dose } (\mu\text{Sv/h}) = \text{MDR} \times F - \text{B.G.} \quad (1)$$

Table 2는 개인 방사선작업종사자의 피폭선량을 측정에 사용되는 누적선량계로 Table 1의 방사선측정기보다 보다 낮은 에너지까지 측정할 수 있어, 비교 측정에 유용할 것으로 예상되어 사용하였다<sup>[4]</sup>.

Table 2. Specification of Optically Stimulated Luminescence Dosimeter (OSLD)

Division	Details
Model	InLight Quixel
Effective volume	5 cm <sup>3</sup>
Energy measurement range	5 keV ~ 20 MeV
Dose-rate measurement range	0.01 mSv ~ 10 Sv

해당 측정기는 측정 후 공인된 판독기관에 의뢰하여 축적된 선량을 확인할 수 있다. 유효한 선량률은 조사시간 동안 축적한 선량(Result of Accumulated dose for Irradiation, RAI)과 판독까지 축적된 자연선량(Result of Accumulated Background Dose, RAB)의 차이를 1시간동안 측정한 시간 (Measuring Time, MT)을 나누어 다음 Eq. (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{Valid dose-rate } (\mu\text{Sv/h}) = \frac{\text{RAI} - \text{RAB}}{\text{MT}} \quad (2)$$

Table 3의 경우 몬테카를로 시뮬레이션 모델링 시 정확한 거리를 반영하기 위하여 ISO 인증된 레이저 포인트 거리 측정기를 사용하여 거리를 정밀 측정하였다.

Table 3. Specification of Laser point for measuring distance

Division	Details
Model	Leica DISTO™ D2
Related certificate standard	ISO16331-1
Maximum measuring distance range and uncertainty	100 m ± 1.5 mm

### 2. 전산 모사 코드 사용과 해석 방법

본 연구에서는 FLUKA(FLUtuierende KAskade) Code 을 이용하여 입자 수송 시뮬레이션을 수행하였다<sup>17-9)</sup>. 실제 측정값과 유효성을 비교하기 위하여 PRECISIO 를 설정하여 정밀도를 확인하였고, 방사성동위원소 (Iridium-192)의 선원 방출 특성을 반영하기 위해 Beam 형태는 ISOTOPE type의 Momentum을 반영하였다.

1 decay당 방사되는 에너지를 Region Type으로 Scoring을 위하여 USRBIN은 Dose-equivalent로 설정하고, Plot tool을 이용하면 시뮬레이션 평가 영역에 대한 선량 분포를 Fig. 1과 같이 예상할 수 있다.

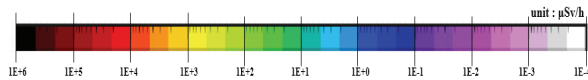


Fig. 1. Dose spectrum using FLUKA simulation plot tool.

감마선의 방사선가중치와 인체 각 영향을 나타내는 조직가중치를 반영하기 위하여 AMB74를 AUXSCORE으로 설정하였다. 해당 측정 환경의 1차 방사선(감마선)에서 과급된 2차 방사선은 최소 50 keV의 에너지까지 측정하도록 설정하였다. 측정 목적인 선량 값을 확인하기 위해 최대 시뮬레이션 시행횟수(Number of particle history, NPS)는  $7.5 \times 10^{10}$  이다<sup>10-12)</sup>.

### 3. 시뮬레이션 기하학적 모델링

천장 개방형 시설 등 방사선안전성 평가를 위해

모사하여야할 재료는 Table 4와 같다. 실제 방사선 투과검사가 진행되는 시설은 공장 내부에 위치하고, 실제 측정했던 환경과 동일한 조건으로 검사부재인 파이프와 콜리메이터 선원의 강도를 반영하여 모델링 하였다.

Table 4. Details of Geometry Modeling Simulation<sup>[13,14]</sup>

Type	Details	
Shop *	Inner Size	17.5 m x 150 m x 8.2 m
	Thickness of shielding material	3 mm (Iron)
Facility for RT (Opened Ceiling)	Inner Size	13.2 m x 35.5 m x 5.3 m
	Thickness of shielding material	800 mm (Concrete)
Pipe (for inspecting)	Diameter	393.7 mm (out. 406.4 mm)
	Length	33 m
Source	Thickness of shielding material	12.7 mm (Iron)
	intensity	41.9 Ci
Source Shielder	Capsule Size	Dia. 6.36 mm, Leng. 22 mm
	Energy Spectrum(peak)	784, 920, 1160 1378 keV
Source Shielder	Angle range of irradiation	90° × 90°
	Size	Leng. 72 mm Depth : 41 mm
	Thickness of shielding material	21 mm (Tungsten)

\*: Facility for RT is in Shop

각 측정 포인트(A~D)는 사용시설로부터 2.15 m 에 떨어진 위치(Fig. 2-c)에 목표 선량을 측정하도록 Table 5의 방사선 측정기를 이용하였다.

Table 5. Survey-meter in Simulation<sup>[2]</sup>

Division	Details
Model	Exradin A4 Ion chamber Air material
Collecting volume	30 cm <sup>3</sup>
Inside diameter of shell	39.1 mm
Shell wall thickness	4.1 mm
Collector diameter	24.9 mm

각 측정 포인트의 해당하는 범위에 1 decay당 수집된 에너지(GeV/g)는 Ascii Code로 변환하여 얻었다. 해당 선원의 강도(Source intensity, S)를 Eq. (3)에 적용하면 측정 지점에 흡수된 선량(D)을 구할 수 있고, 이를 유효한 선량당량률(H)로 환산하기 위하여 Eq. (4)를 적용하였다.

$$D(Gy/h) = \frac{GeV \cdot volume}{g \cdot decay} \times \frac{1.6 \times 10^{-10} J}{GeV} \times \frac{10^3 g}{kg} \times S(\alpha) \times \frac{3.7 \times 10^{10} decay}{\alpha \cdot s} \times \frac{3600 s}{hr} \times \frac{1}{ion \ chamber \ volume} \times \frac{Gy}{J/kg} \quad (3)$$

$$H = D(Gy/h) \times \frac{1.2 Sv}{Gy} \quad (4)$$

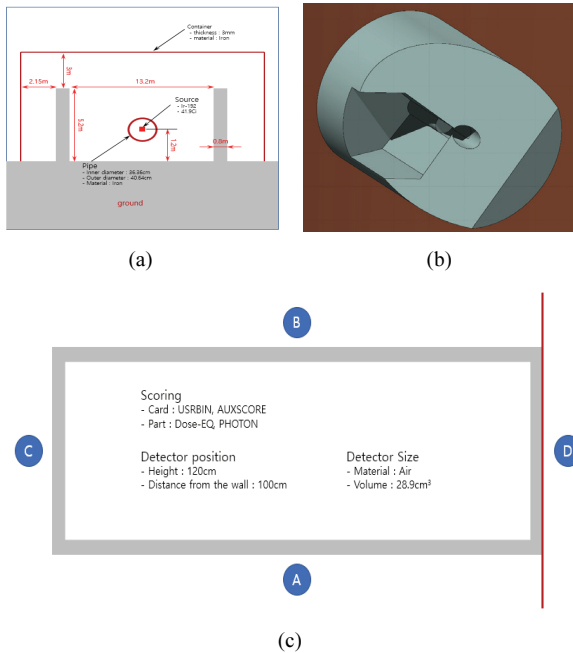


Fig. 2. (a) Details of geometry modeling about evaluation facility, (b) about Tungsten collimator and (c) Measurement point and details about detector.

### III. RESULT

#### 1. Collimator unused case by using ICSM, OSLD and Simulation data

Fig. 3은 상부 개방 각도가 가장 높은 위치에 보수적인 선량 평가를 위하여 검사 부재를 비치하였

다. 해당 환경에서 콜리메이터를 적용하지 않고, 상부로 방사선이 조사되었을 경우 Table 6에서 8과 같이 각 측정지점(A~D)에 대한 실제 측정값 및 시뮬레이션 평가 값을 얻었고, 선량 분포는 Fig. 4의 결과를 얻었다.

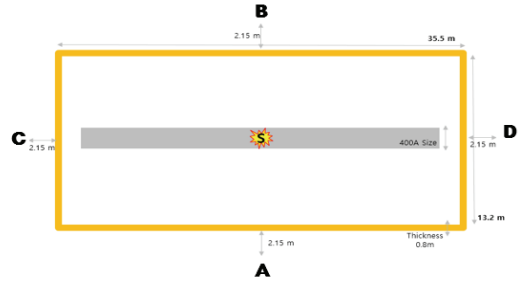


Fig. 3. Conservative measurement point about maximum irradiation degree range.

Table 6. Unused collimator experiment results of ICSM at center point

Measurement of Point	Collimator unused		
	Measured dose-rate (μSv/h)	Valid dose-rate (μSv/h)	Uncertainty (%)
A	5.927	5.959	5.3
B	5.905	5.936	5.3
C	1.191	1.128	5.3
D	0.665	0.592	5.3
Background dose rate : 0.087 μSv/h			
Calibration factor : 1.020			

Table 7. Unused collimator experiment results of OSLD at center point

Measurement of Point	Collimator unused		
	Accumulated dose (μSv)	Valid dose-rate (μSv/h)	Uncertainty (%)
A	9.938	6.156	5.0
B	9.887	6.105	5.0
C	5.018	1.236	5.0
D	4.423	0.641	5.0
Accumulated (for 42 hr) background dose : 3.782 μSv			
Measuring Time : 1 hour			

Table 8. Unused collimator simulation results at center point

Collimator unused			
Measurement of Point	Simulation Data		
	Absorbed dose (GeV/g)	Mean dose (μSv/h)	Uncertainty (%)
A	1.640E-13	5.859	10.00
B	1.569E-13	5.607	10.00
C	3.149E-14	1.125	10.00
D	1.458E-14	0.521	10.00

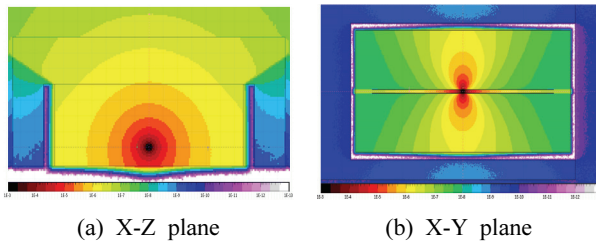


Fig. 4. Dose map (a), (b) using plot tool about Table 8

## 2. Collimator used case by using ICSM, OSLD and Simulation data

Table 9 ~ Table 11은 동일 환경에서 콜리메이터를 적용하여 하부로 방사선이 조사되었을 경우 각 측정지점(A~D)에 대한 실제 측정값 및 시뮬레이션 평가한 결과를 얻었다. 선량의 분포는 Fig. 5의 결과를 얻었다.

Table 9. Used collimator experiment results of ICSM at center point

Collimator used			
Measurement of Point	Experiment Results of ICSM		
	Measured dose (μSv/h)	Valid dose (μSv/h)	Uncertainty (%)
A	0.113	0.028	5.3
B	0.145	0.061	5.3
C	0.123	0.038	5.3
D	0.161	0.077	5.3
Background dose rate : 0.087 μSv/h			
Calibration factor : 1.020			

Table 10. Used collimator experiment results of OSLD at center point

Collimator unused			
Measurement of Point	Experiment Results of OSLD		
	Accumulated dose (μSv)	Valid dose-rate (μSv/h)	Uncertainty (%)
A	3.898	0.116	5.0
B	3.909	0.127	5.0
C	3.893	0.111	5.0
D	3.880	0.098	5.0
Accumulated (for 42hr) background dose : 3.782 μSv			
Measuring Time : 1 hour			

Table 11. Used collimator simulation results at center point

Collimator used			
Measurement of Point	Simulation Data		
	Absorbed dose (GeV/g)	Mean dose (μSv/h)	Uncertainty (%)
A	2.519E-15	0.091	-*
B	2.435E-15	0.087	-
C	2.268E-15	0.081	-
D	2.016E-15	0.072	-

\* It was impossible to measure valid radiation. Just, it is similar with nature radiation dose-rate, so then data had about 99.99% uncertainty

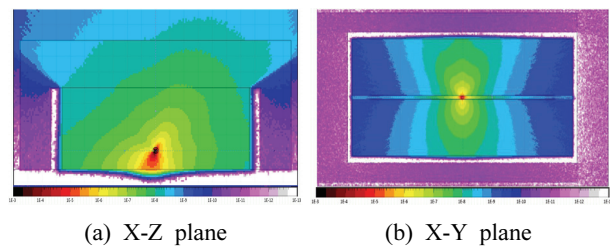


Fig. 5. Dose map (a), (b) using plot tool about Table 11.

## 3. Dose-difference between covering shop ceiling and not

Table 12은 사용시설이 있는 장소에 외부 공장을 모델링하지 않은 환경에서 콜리메이터를 사용하지 않고, 상부로 방사선이 조사하였을 경우의 시뮬레이션 결과를 얻었다.

Table 12. Unused collimator simulation results without shop ceiling

Collimator unused			
Measurement of Point	Simulation Data		
	Absorbed dose (GeV/g)	Mean dose (μSv/h)	Uncertainty (%)
A	1.810E-13	6.467	10.00
B	2.113E-13	7.547	10.00
C	6.643E-14	2.373	10.00
D	8.611E-14	3.076	10.00

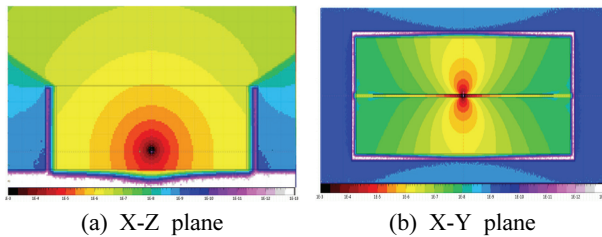


Fig. 6. Dose map (a), (b) using plot tool about Table 12.

#### IV. DISCUSSION

모든 측정 위치는 천장 개방 각도가 가장 높은 위치(Center point)에 선원을 배치하여 평가하였다. 콜리메이터를 사용하지 않고 상향조사를 한 경우의 결과는 설계기준인 일반인구역(1 μSv/h)을 만족하기 어려웠다. 콜리메이터를 사용하고, 조사방향을 하향으로 제한하여 추가 측정 한 결과 선량기준을 만족하였다.

추가로 초기 모델링 중 Table 4에서 표기된 공장(Shop)의 철 3 mm의 두께를 간과한 모델링의 시뮬레이션 Table 8과 Table 12는 상이한 결과를 보인다. 사용시설 내부의 Fig. 6에 해당하는 선량 분포의 형상은 Fig. 4와 큰 차이가 없으나, 시설 외부에서 차이가 크게 나타났다. 감마선이 단순히 공기에서 산란하는 경우보다 철에 의해 일부 흡수 후 산란한 경우의 선량 분포 차이는 Skyshine effect로 예상된다. 이로 인하여 C, D 측정 장소 또한 선량 기준을 만족하기 어려웠다<sup>[5]</sup>.

세 가지 측정 방법을 통해 Table 13과 Fig. 7의 결과를 얻었다.

Table 13. Comparative results of unused collimator between ICSM, OSLD and simulation

Collimator unused				
Measurement of Point and Dose-Range	Comparative Analysis			
	ICSM	OSLD	FLUKA	
	Each Uncertainty			
	±5.3%	±5.0%	±10.0%	
Dose-Rate (μSv/h)				
A	Max.	6.275	6.464	6.444
	Mean.	5.959	6.156	5.859
	Min.	5.643	5.848	5.273
Mean Error(%)	-1.707	-5.069	basis	
B	Max.	6.250	6.410	6.168
	Mean.	5.936	6.105	5.607
	Min.	5.621	5.799	5.046
Mean Error(%)	-5.868	-8.882	basis	
C	Max.	1.188	1.298	1.237
	Mean.	1.128	1.236	1.125
	Min.	1.068	1.174	1.012
Mean Error(%)	-0.267	-0.267	basis	
D	Max.	0.623	0.673	0.573
	Mean.	0.592	0.641	0.521
	Min.	0.561	0.609	0.469
Mean Error(%)	-13.628	-23.032	basis	

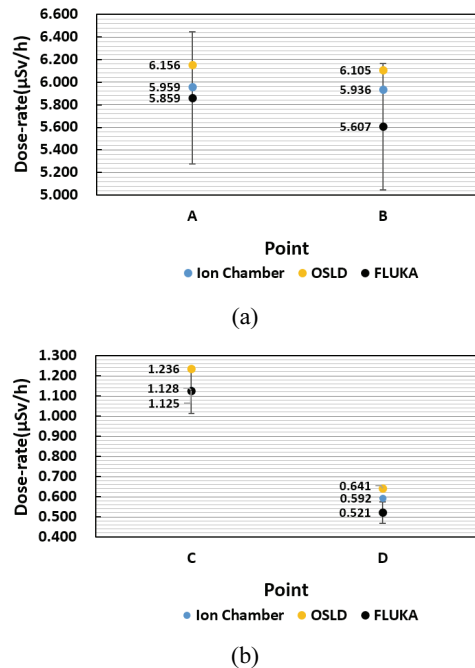


Fig. 7. Comparative results chart of (a) is measured at point A and B and (b) is measured at point C and D corrected using inverse-square about Table 13.



FLUKA Code에서 Ascii code로 변환하여 region에 대한 Dose-equivalent는 1  $\mu$  Sv/h 초과 선량에 대한 오차 범위는 10% 내외로 모두 유효하였다. 또한, ICSM 및 OSLD의 측정값과 비교하였을 때 10% 이하의 오차를 가진다. 그러나, 0.5  $\mu$  Sv/h 이하의 선량에 대한 상대불확도가 모두 10%를 초과하였다. 저선량에 근접할수록 NPS를 올려 측정 시간을 올리면 실제 측정값에 근접할 수 있지만, 연구 목적에 적합하지 않은 실험으로 수행하지 않았다<sup>[6]</sup>.

## V. CONCLUSION

규제 기관에서 천장이 개방된 사용시설에서 제한하는 작업방법은 조사 방향 제한, 사용 선원 강도 제한(20 Ci) 등이 있다. 실제 측정을 통하여 천장이 개방된 사용시설의 경우 상향조사 시 설계기준을 만족하기 어려웠지만, 사용선원 강도(41.9 Ci)를 제한하지 않고, 방사선 조사방향을 하향으로 제한한 경우 해당 사용시설의 벽 높이(5.2m)는 설계기준을 만족하였다.

FLUKA Code의 경우 유럽 입자물리연구소에서 개발되어 고에너지의 입자에 대한 연구가 적용되어 상대적으로 저에너지의 감마선을 평가하는 연구는 극히 드물다. W. S. Bak et. al<sup>[2]</sup>은 Cesium-137의 keV 영역 에너지를 가진 저에너지 선원을 정밀하게 평가하였는데, 본 연구의 Iridium-192 선원 또한 평가가 가능하였다. 이를 통해 천장 개방형 사용시설을 설계하기 전 FLUKA Code를 이용하여 방사선 안전성을 평가한다면 설계 기준의 만족 여부를 확인 할 수 있고, 시설의 설계 가능 유무를 결정하는데 있어 과학적인 근거 자료로 제시할 수 있을 것이다.

## Reference

[1] J. G. Lee, *PRICIPLES OF RADIATION PROTECTION Vol. 2*, Korean Association for Radiation Application, pp. 865-871, 2016.

[2] W. S. Bak, S. U. Heo, B. I. Min, "Benchmarking FLUKA Monte Carlo code with international measurement standard for air kerma", *Journal of Instrumentation*, Vol. 15, No. 12, pp. 12014, 2020.

<http://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/15/12/P12014>

[3] W. S. Park, S. U. Heo, J. O. Kim, B. I. Min, "A Study on the Performance Evaluation of Standard Gamma Irradiation System Using Monte Carlo Code", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 2, pp. 179-184, 2018.  
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2018.12.2.179>

[4] E. G. Yukihara, S. W. S. McKeever, "Optically stimulated luminescence (OSL) dosimetry in medicine", *Physics In Medicine and Biology*, Vol. 53, No. 20, pp. 351-379, 2008.  
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/53/20/R01>

[5] J. Wulff, K. Zink, I. Kawrakow, "Efficiency improvements for ion chamber calculations in high energy photon beams", *MEDICAL PHYSICS*, Vol. 35, No. 4, pp. 1328-1336, 2008.  
<http://dx.doi.org/10.1118/1.2874554>

[6] C. H. Lee, J. O. Kim, Y. J. Lee, C. H. Jeon, J. E. Lee, "A Study on Activation Characteristics Generated by 9 MeV Electron Linear Accelerator for Container Security Inspection", *The Korean Society of Radiology*, Vol. 14, No. 5, pp. 563-575, 2020.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.5.563>

[7] J. D. Wallace, "Monte Carlo modelling of large scale NORM sources using MCNP", *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 126, pp. 55-60, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.06.009>

[8] Wei Yang Calvin Koh, Hong Qi Tan, Khong Wei Ang, Sung Yong Park, Wen Siang Lew, James Cheow Lei Lee, "Standardizing Monte Carlo simulation parameters for a reproducible dose-averaged linear energy transfer", *The British Journal of Radiology*, Vol. 93, No. 1112, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1259/bjr.20200122>

[9] P. J. Biggs, "Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities, by Patton H. McGinley", *Medical Physics*, Vol. 25, No. 8, pp. 1556, 1998.  
<http://dx.doi.org/10.1118/1.598329>

[10] I. Kawrakow, "Accurate condensed history Monte Carlo simulation of electron transport. II. Application to ion chamber response simulations", *MEDICAL PHYSICS*, Vol. 27, No. 3, pp. 499-513, 2000.  
<https://doi.org/10.1118/1.598918>

- [11] J. J. Demarco, R. E. Wallace, K. Boedeker, "An analysis of MCNP cross-sections and tally methods for low-energy photon emitters", National Library of Medicine, Vol. 47, No. 8, pp. 1321-1332, 2002.  
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/47/8/307>
- [12] P. J. Lamperti, M. O'Brien, *Calibration of X ray and gamma-ray measuring instrument*, National Institute of Standards and Technology(NIST), pp. 250-258, 2001.
- [13] International Organization for Standardization, ISO 2919:2012 *Radiological protection-Sealed Radioactive Sources-General requirements and classification*, ISO(Geneva), pp. 19,2012.
- [14] P. Andreo, D. T. Burns, A. E. Nahum, J. Seuntjens, F. H. Attix, *Fundamentals of Ionizing Radiation Dosimetry*, John Wiley & Sons, pp. 443-445, 2017.
- [15] P. N. McDermott, "Photon skyshine from medical linear accelerators", *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, Vol. 21, No. 3, pp. 108-114, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1002/acm2.12833>
- [16] M. F. Tsiakalos, S. Stathakis, G. A. Plataniotis, C. Kappas, K. Theodorou, "Monte Carlo dosimetric evaluation of high energy vs low energy photon beams in low density tissues", *Radiotherapy & Oncology*, Vol. 79, No. 1, pp. 131-139, 2006.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.radonc.2006.02.012>



## 천장 개방형 RT 사용시설의 방사선 안전성 평가 연구

허성희<sup>1</sup>, 박원석<sup>1</sup>, 허승욱<sup>2</sup>, 민병인<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 재난관리학과

<sup>2</sup>Safety for medical Device and Radiation

<sup>3</sup>인제대학교 원자력응용공학부

### 요약

산업체에서 용접구조물을 파괴 없이 품질을 검증하는 방사선투과검사는 압도적으로 많이 이용되지만, 방사선을 이용함에 따라 많은 안전사항이 요구된다. 방사선투과검사 작업종사자는 검사부재의 이동유무에 따라 감마선조사기인 운반용기에 내장된 Iridium-192 방사선원을 사용시설 내 혹은 사용시설 외의 장소에서 이동시켜 작업을 수행 한다. 일반적인 사용시설은 두꺼운 콘크리트로 외부와 방사선을 전면 차단한 시설이지만, 검사부재의 취급이 용이하지 않은 등의 사유로 천장이 개방된 사용시설이 있다. 일반적인 사용시설은 외부가 모두 차단되어 이론적인 선량 평가 방법을 통하여 건설하여도 무방하지만, 천장이 개방된 경우 스카이스핀효과로 인하여 단순 이론적인 계산 방법으로 방사선 안전성을 평가하는 것은 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 실제 현장에서 해당 시설의 방사선 안전성을 이온챔버형 방사선측정기와 누적선량계형인 OSLD를 통하여 평가하고, 실제 평가 환경을 몬테카를로 시뮬레이션 코드인 플루카를 이용하여 모델링 및 평가를 하였다. 해당 시설에서 조사방향에 따라 시설 경계의 방사선량은 규제기관에서 정하는 기준을 만족하기 어려웠고, 추가의 방법을 통하여 방사선 안전성을 확보할 수 있었다. 또한, Iridium-192 선원을 이용한 시뮬레이션 결과가 실제 측정값과 유효한 결과임을 확인할 수 있었다.

중심단어: 방사선투과검사, 사용시설, 스카이스핀 효과, 이온챔버형 방사선측정기, OSLD, 몬테카를로 시뮬레이션, 플루카, Iridium-192

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	허성희	인제대학교 재난관리학과	석사과정
(공동저자)	박원석	인제대학교 재난관리학과	이학박사
	허승욱	Safety for medical Device and Radiation	공학박사
(교신저자)	민병인	인제대학교 원자력응용공학부	교수