

# Evaluation of Spatial Dose Rate in Working Environment during Non-Destructive Testing using Radioactive Isotopes

Yong-In Cho<sup>1</sup>, Jung-Hoon Kim<sup>1</sup>, Sang-Il Bae<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, College of Health Sciences Catholic University of Pusan

<sup>2</sup>Department of Radiation Oncology, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer Center

Received: July 18, 2022. Revised: August 20, 2022. Accepted: August 31, 2022.

## ABSTRACT

The radiation source used for non-destructive testing have permeability and cause a scattered radiation through collisions of surrounding materials, which causes changes in the surrounding spatial dose. Therefore, this study attempted to evaluate and analyze the distribution of spatial dose by source in the working environment during the non-destructive test using monte carlo simulation. In this study, Using FLUKA, a simulation code, simulates <sup>60</sup>Co, <sup>192</sup>Ir, and <sup>75</sup>Se source used in non-destructive testing, The reliability of the source term was secured by comparing the calculated dose rate with the data of the Health and Physics Association. After that, a non-destructive test in the radiation safety facility(RT-room) was designed to evaluate the spatial dose according to the distance from the source. As a result of the spatial dose evaluation, <sup>75</sup>Se source showed the lowest dose distribution in the frontal position and <sup>60</sup>Co source showed a dose rate of about 15 times higher than that of <sup>75</sup>Se and about 2 times higher than that of <sup>192</sup>Ir. In addition, the spatial dose according to the distance tends to decrease according to the distance inverse square law as the distance from the source increases. Exceptionally, <sup>60</sup>Co, <sup>192</sup>Ir, and <sup>75</sup>Se sources confirmed a slight increase within 2 m of position. Based on the results of this study, it is believed that it will be used as supplementary data for safety management of workers in radiation safety facilities during non-destructive testing using radioactive isotopes.

Keyword: Non-destructive testing, Radioactive isotope, Spatial dose rate, Monte carlo simulation

## I. INTRODUCTION

비파괴 검사는 손상 또는 파괴 없이 재료, 구성품, 용접부의 결함 유무를 판별하거나 제품의 품질을 평가하는 기술이다<sup>[1]</sup>. 비파괴 검사 기술의 적용은 제품 및 산업 공정의 결함을 적시에 평가하고 진단하는데 바탕을 두고 있다. 또한 적용하는 방식에 따라 방사선, 음향, 전자기열 및 역학적 검사 방법 등으로 분류되고 있다<sup>[2]</sup>.

이중 방사성동위원소를 활용한 비파괴 검사는 감마선을 이용하여 검사 대상 재료나 제품의 영상을 촬영하고, 외관상으로 확인할 수 없는 결함 및

균열을 발견하여 사고를 사전에 방지하기 위한 목적으로 사용된다<sup>[3]</sup>. 영상 획득 원리는 시험체를 방사선원과 필름의 사이에 위치시킨 후 시험체의 밀도와 두께에 따라 방사선원의 조사 시간을 설정하여 필름을 방사선으로 감광시키는 원리를 이용한다<sup>[3]</sup>.

방사성동위원소를 활용한 비파괴 검사는 투과력이 높은 감마선을 이용하며, 고준위 방사능량을 이용한다는 점에서 주의가 필요하다<sup>[4]</sup>. 최근 5년간 방사선작업종사자의 연간 피폭선량 통계에 따르면, 비파괴 분야의 경우 연간 평균 피폭선량은 감소하는 추세에 있으나, 여전히 의료 및 원자력 분야에

\* Corresponding Author: Sang Il Bae

E-mail: herose7777@naver.com

Tel: \*\*\* - \*\*\*\* - \*\*\*\*

비해 높은 피폭선량을 나타낸다고 보고되고 있다<sup>[4]</sup>. 이처럼 비파괴 검사 시 작업자가 노출되는 피폭선량은 방사선원에 따른 공간선량 분포에 의해 영향을 받게 되며, 장·단기적으로 기준치를 초과한 방사선 피폭은 신체에 확률적, 결정적 장애로 발현될 수 있다<sup>[5,6]</sup>. 따라서, 비파괴 검사 환경 특성에 따른 공간선량률에 대한 평가와 차폐체, 콜리메이터 등 작업자의 피폭 저감을 위한 환경 개선이 필요하다.

방사성동위원소를 이용한 비파괴 검사는 높은 신뢰성과 경제성으로 현재에도 많이 이용되고 있다. 하지만, 방사성동위원소에서 방출되는 감마선은 검사체와 주변 구조물 등에 충돌하면서 불규칙한 산란선을 발생시키며, 그로 인한 공간선량 분포의 변화가 발생할 수 있다<sup>[7]</sup>.

공간선량률을 측정하는 방법은 계측기를 이용한 측정 방법과 몬테카를로 모의 모사를 이용한 방법이 있다. 그 중 실제 계측기를 이용한 방법은 사용하는 측정 장치의 특성, 측정 환경 등 다양한 오차로 인해 객관적인 정보로 활용하기 어렵다. 그에 반해 몬테카를로 모의 모사를 이용한 방법은 컴퓨터 가상공간 내 제한된 환경 내 입자 수송을 통해 선량 계산 등이 가능하며, 모의 추정 횟수를 증가시켜 결과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다<sup>[7]</sup>.

이에 본 연구는 몬테카를로 기법을 활용하여 비파괴 검사에서 이용되고 있는 <sup>60</sup>Co(Cobalt), <sup>192</sup>Ir(Iridium), <sup>75</sup>Se(Selenium)을 모의 모사하고 작업환경에 따른 공간선량률을 평가하여 방사선작업종사자의 피폭선량 관리를 위한 보조 자료를 제공하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHOD

### 1. 몬테카를로 전산모사(Monte Carlo Simulation)

몬테카를로 기법이란 무작위로 생성된 난수로 인한 랜덤 변수의 함수에 관한 결과를 수치로 평가하여 통계 연구에서 광범위하게 사용되는 계산 알고리즘이다. 과거 연구를 통해 다양한 몬테카를로 코드 간의 비교는 모의 모사 프로그램의 벤치마킹 효과를 통해 신뢰성 향상에 도움이 될 수 있다<sup>[8]</sup>. 이에 본 연구는 몬테카를로 기법을 이용한 모의실험 프로그램 중 핵종 생산, 붕괴와 기하학적 구조

제작 및 선량 측정 연구에 사용되는 FLUKA (ver.2021.2.5.)를 사용하였다<sup>[9]</sup>.

### 2. 선원항 평가

방사선원의 경우 FLUKA를 이용하여 비파괴 검사에서 사용되는 방사성 핵종인 <sup>192</sup>Ir, <sup>60</sup>Co, <sup>75</sup>Se을 모의 모사하였다. 모사한 방사선원의 등방성 체적선원으로 설정하였으며, 주변 물질은 진공으로 설정하였다. 각 선원별 거리 50, 100, 150, 200, 250 cm의 거리에서 USBIN 카드를 사용하여 방사선량률(mSv/h) 단위로 획득하였다. 모의 모사된 선원항 평가를 위하여 보건물리학회(Health Physics Society, HPS)에서 제시한 자료<sup>[10]</sup>와 비교 분석하였다. 모의 모사 반복 추정 횟수는 10<sup>7</sup>번 시행하였으며, 불확도(uncertainty)는 5% 이하로 결과의 신뢰성을 확보하였다<sup>[11]</sup>.

### 3. 공간선량률 평가

FLUKA를 이용하여 방사선안전시설(RT-room ; Radiographic Testing)내에서의 비파괴 검사를 Fig. 1과 같이 모의 모사하였다. 옥외 평지 방사선비파괴 검사 조건으로 촬영방법은 복벽 복영상법(DWDI), 시험체의 경우 석유화학 수직 배관의 용접부(외경 3인치), 5.5T의 강철 배관으로 설정하였다<sup>[12]</sup>. 선원의 콜리메이터는 텅스텐(W) 95% + 니켈(Ni) 2% + 철(Fe) 3%로 구성된 TSC-19/120(Mingguan Metal Technology, China)을 사용하였다. 증감지 및 필름의 경우 0.03 mm의 납으로 구성되어 있으며, 노출시간 1 분, 필름농도는 2.0으로 설정하였다.

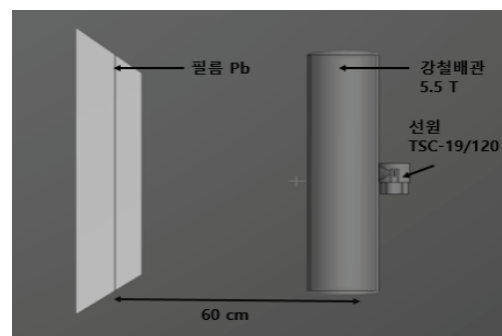


Fig. 1. Simulated RT-room structure using FLUKA.

선원의 방사능량은  $^{60}\text{Co}$ 는 3,700 GBq(100 Ci),  $^{75}\text{Se}$ 은 2,960 GBq(80 Ci),  $^{192}\text{Ir}$ 의 경우 1,850 GBq(50 Ci)로 방사선안전시설 내 사용가능한 최대 방사능량을 설정하였다. 비파괴 검사 시의 2차원 X축과 Y축에 대하여 400 cm × 400 cm 공간의 선량률을 USBIN카드를 사용하여 방사선량률(mSv/h) 단위로 획득하였다. 모의 모사 추정 횟수는  $10^7$ 번 시행하였으며, 불확도(uncertainty)는 5% 이하로 신뢰성을 확보하였다.

### III. RESULT

#### 1. 선원항 평가

모의실험을 통해 모사된  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  선원에 대한 신뢰성 확보를 위해 50, 100, 150, 200, 250 cm의 거리에서 선량률을 보건물리학회(HPS)에서 제시한 자료와 비교 분석하였다.

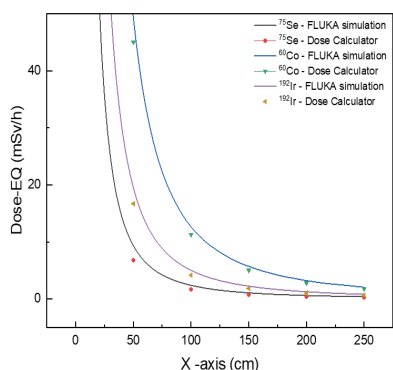


Fig. 2. Analysis of dose rates by distance of non-destructive radioisotopes.

Table 1. Analysis of dose rate by distance of simulated radiation source in simulation (Unit : mSv/h)

Distance (cm)	50	100	150	200	250
$^{60}\text{Co}_{\text{HPS}}$	45.46	11.34	5.03	2.82	1.80
$^{60}\text{Co}_{\text{FLUKA}}$	49.32	12.65	5.71	3.23	2.07
Difference	3.86	1.31	0.68	0.41	0.27
$^{75}\text{Se}_{\text{HPS}}$	6.79	1.69	0.75	0.42	0.27
$^{75}\text{Se}_{\text{FLUKA}}$	9.34	2.41	1.08	0.62	0.38
Difference	2.55	0.72	0.33	0.20	0.11
$^{192}\text{Ir}_{\text{HPS}}$	16.77	4.18	1.85	1.04	0.66
$^{192}\text{Ir}_{\text{FLUKA}}$	19.49	5.03	2.26	1.28	0.83
Difference	2.72	0.85	0.41	0.24	0.17

그 결과, Fig. 2와 같이 모든 선원항에서 선량률은 거리에 따라 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, Table 1과 같이 FLUKA의 선량률 값이 보건물리학회의 선량률을 상회하는 결과를 나타내었다.

#### 2. 공간선량률 평가

##### 2.1. $^{60}\text{Co}$ (Cobalt-60)

$^{60}\text{Co}$  선원은 Fig. 3와 같이 빔의 정면 방향에서 최대선량률은 거리 1 m 지점에서 9.98E-01 mSv/h로 나타났다. 이와 같은 결과는 거리가 증가함에 따라 지수함수적인 감소를 나타내었다. 측방향 선량률의 경우 Table 2와 같이 콜리메이터와 거리 영향으로 인해 1 m 이격 시에는 1.05E-01 mSv/h로 85% 이상의 감소를 나타내었으며 2 m 이격 시에는 0.27E-01 mSv/h로 96% 이상, 3 m 이격 시에는 0.12E-01 mSv/h로 98% 이상의 감소를 4 m 이격 시에서는 0.06E-01 mSv/h로 99%의 감소를 나타내었다.

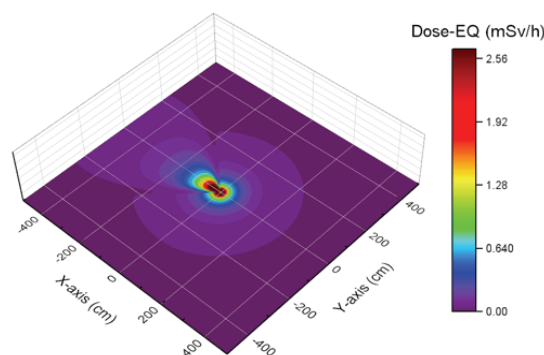


Fig. 3. Energy spectrum of spatial dose rate of  $^{60}\text{Co}$ .

Table 2. Spatial dose rate measurement result of  $^{60}\text{Co}$  (Unit : mSv/h)

		X - axis			
		1 m	2 m	3 m	4 m
Y - axis	0 m	9.98E-01 (1.00)	2.58E-01 (0.25)	1.15E-01 (0.11)	6.4E-02 (0.06)
	1 m	1.05E-01 (0.11)	1.31E-01 (0.13)	8.9E-02 (0.09)	5.6E-02 (0.06)
	2 m	4.2E-02 (0.04)	2.7E-02 (0.03)	2.8E-02 (0.03)	3.3E-02 (0.03)
	3 m	0.2E-01 (0.02)	1.6E-02 (0.02)	1.2E-02 (0.01)	0.9E-02 (0.01)
	4 m	1.2E-02 (0.01)	1.1E-02 (0.01)	0.9E-02 (0.01)	0.6E-02 (0.01)

2.2. <sup>192</sup>Ir (Iridium-192)

<sup>192</sup>Ir 선원은 Fig. 4와 같이 빔의 정면 방향에서 최대선량률은 거리 1 m 지점에서 1.24E-01 mSv/h로 나타났다. 이와 같은 결과는 거리가 증가함에 따라 지수함수적인 감쇠를 나타내었다. 측방향 선량률의 경우 Table 3과 같이 콜리메이터와 거리 영향으로 인해 1 m 이격 시에는 4.09E-03 mSv/h로 96% 이상의 감쇠를 나타내었으며 2 m 이격 시에는 1.13E-03 mSv/h로 99%이상, 3 m 이격 시에는 5.19E-04 mSv/h로 99% 이상의 감쇠를 4 m 이격 시에서는 2.85E-04 mSv/h로 99%의 감쇠를 나타내었다.

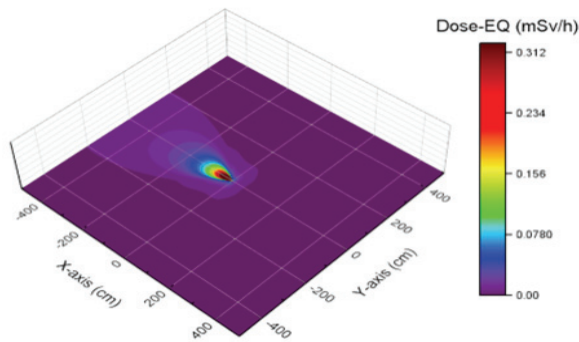


Fig. 4. Energy spectrum of spatial dose rate of <sup>192</sup>Ir.

Table 3. Spatial dose rate measurement result of <sup>192</sup>Ir (Unit : mSv/h)

		X - axis			
		1 m	2 m	3 m	4 m
Y - axis	0 m	1.24E-01 (1.00)	3.32E-02 (0.27)	1.47E-02 (0.12)	8.24E-03 (0.07)
	1 m	4.09E-03 (0.03)	1.13E-02 (0.09)	9.65E-03 (0.08)	6.72E-03 (0.05)
	2 m	9.33E-04 (0.007)	1.13E-03 (0.009)	2.06E-03 (0.016)	2.94E-03 (0.023)
	3 m	3.86E-04 (0.003)	4.91E-04 (0.004)	5.19E-04 (0.004)	7.03E-04 (0.006)
	4 m	2.30E-04 (0.002)	2.45E-04 (0.002)	2.89E-04 (0.002)	2.85E-04 (0.002)

2.3. <sup>75</sup>Se (Selenium-75)

<sup>75</sup>Se 선원은 Fig. 5와 같이 빔의 정면 방향에서 거리 1 m 지점에서 최대선량률은 6.69E-02 mSv/h로 나타났다. 이와 같은 결과는 거리가 증가함에 따라

지수함수적인 감쇠를 나타내었다. 측방향 선량률의 경우 Table 4와 같이 콜리메이터와 거리 영향으로 인해 1 m 이격 시에는 2.13E-03 mSv/h로 96%이상의 감쇠를 나타내었으며 2 m 이격 시에는 5.82E-04 mSv/h로 99%이상, 3 m 이격 시에는 2.67E-04 mSv/h로 99%이상의 감쇠를 4 m 이격 시에서는 1.46E-04 mSv/h로 99%의 감쇠를 나타내었다.

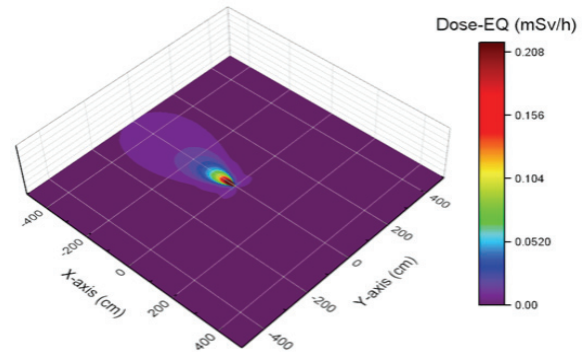


Fig. 5. Energy spectrum of spatial dose rate of <sup>75</sup>Se.

Table 4. Spatial dose rate measurement result of <sup>75</sup>Se (Unit : mSv/h)

		X - axis			
		1 m	2 m	3 m	4 m
Y - axis	0 m	6.69E-02 (1.00)	1.83E-02 (0.27)	8.08E-03 (0.12)	4.5E-03 (0.06)
	1 m	2.13E-03 (0.03)	5.2E-03 (0.08)	4.82E-03 (0.07)	3.46E-03 (0.05)
	2 m	4.38E-04 (0.006)	5.82E-04 (0.009)	9.50E-04 (0.01)	1.36E-03 (0.02)
	3 m	1.79E-04 (0.0023)	2.45E-04 (0.003)	2.67E-04 (0.004)	3.48E-04 (0.005)
	4 m	1.05E-04 (0.002)	1.16E-04 (0.002)	1.49E-04 (0.002)	1.46E-04 (0.002)

IV. DISCUSSION

방사성동위원소를 이용한 비파괴 검사는 현재에도 많은 비파괴 업체에서 이용하고 있으며, 작업환경에 대한 공간선량률 평가는 작업자의 선량 저감화를 통한 안전성 확보를 위해 중요하다. 과거 의료 분야의 공간선량률 평가 관련 연구<sup>[13,14]</sup>는 이루어졌으나 비파괴 검사에 대한 공간선량률에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 모의실험을 통해 방사선안전시설(RT-room) 내 비파괴 검사

에서 사용되는 방사성동위원소를 조사하여 방사선 안전시설(RT-room) 내 공간선량률에 대해 비교 분석하였다.

본 연구의 선원항 평가에서는 모의 조사된  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ 의 평가 결과를 보건물리학회(Health Physics Society, HPS)에서 제시한 자료<sup>[10]</sup>와 비교 분석한 결과, FLUKA의 선량률 값이 보건물리학회에서 제시된 수치보다 다소 높게 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 HPS에서 제시된 점선원에 대한 자료와 FLUKA에서 구현한 등방성 체적선원에 대한 차이에 기인한 것으로 추론된다. 또한, FLUKA는 감마선 방출 이전  $\beta$ 붕괴 시 방출되는 붕괴 에너지 및 발생 수율에 대한 부분이 반영된 결과이며, 이는 비파괴 분야 내 방사선 안전관리 측면에서 다소 보수적인 평가일 것으로 사료된다.

비파괴 검사에서 사용되는 방사선원에 대한 공간선량 분포에 대해 비교 분석한 결과,  $^{60}\text{Co}$  선원의 경우,  $^{192}\text{Ir}$  선원보다 약 25 ~ 26배 정도 높은 선량 분포를 보였고,  $^{192}\text{Ir}$  선원의 경우,  $^{75}\text{Se}$  선원보다 약 1.9 ~ 2.0배 정도 높은 선량 분포를 나타내는 것을 확인하였다. 이는 선원에서 방출되는 감마선 에너지에 비례한 결과인 것으로 분석되며,  $^{60}\text{Co}$  선원의 경우 사용 시 각별한 주의가 필요할 것으로 생각된다. 또한 비파괴 검사 시 선원의 조사 방향에 따른 공간선량 분포 평가를 통해 공통적으로 정면 방향에서 최대선량률이 측정되었으며, 측방향의 경우 4 m 이격 거리에서의 선량률이 최대선량률의 99% 이상이 감쇠되는 것을 확인하였다. 이에 따라 비파괴 검사 시 작업환경 내 충분한 거리 확보는 작업자의 피폭선량 감소에 효과적인 방법일 것으로 사료된다.

조용인 등의 연구<sup>[15]</sup>에서 제시한 비파괴 검사 시 사용되는 방사선원에 대한 공간선량률 분포 결과에 따르면,  $^{60}\text{Co}$  선원의 경우  $^{192}\text{Ir}$  선원보다 약 2.4 ~ 2.5배 정도 높은 선량 분포를 보였고,  $^{192}\text{Ir}$  선원의 경우  $^{75}\text{Se}$  선원보다 약 2.2 ~ 2.3배 정도 높은 선량 분포를 나타내었다. 이는 본 연구의 결과와 다소 상이한 결과를 나타내었으며, 실험 설계 및 방사선원의 사용 용량의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 또한 선원과의 거리 2 m 이내에서 예외적

으로 공간선량 분포가 증가하는 현상이 발생되었으며, 본 연구에서도 X축 2 m 지점 내 동일한 선량 증가현상을 나타내어 Skyshine effect에 기인한 것으로 추론된다.

또한 박명환의 연구<sup>[13]</sup>와 정홍문 등의 연구<sup>[14]</sup>와의 비교분석을 통해 의료분야에서 사용되는 방사선원에 비해 비파괴 검사 시 사용되는 선원에 의한 공간선량 분포가 높다는 것을 확인하였다. 그러므로 비파괴 검사 작업환경 내 종사자는 안전 확보를 위하여 외부피폭 방어원칙인 시간, 거리, 차폐가 더 엄격하게 이루어져야 할 것이다.

방사성동위원소를 이용한 비파괴 검사 시 작업환경의 모니터링은 일반적으로 수학적 계산 방법이나 능동형 검출기를 이용한 방법으로 수행되어져 왔다. 이에 반해 본 연구는 실제 검출기를 이용한 측정방법이 아닌 몬테카를로 기법을 이용하여 비파괴 검사 시 방사선안전시설(RT-room) 내 사용 선원의 공간선량률에 대해 평가하였으며, 실제 측정 데이터의 오차를 줄일 수 있는 보조적인 수단으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후 본 연구의 공간선량 분포 자료를 바탕으로 방사선원에 따른 비파괴 검사 작업 시 방사선안전시설(RT-room) 내 피폭선량 관리를 위한 보조적인 수단으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

추후 비파괴 검사 업무 유형별 안전관리를 위해 옥외 평지, 옥외 대형 구조물, 실내, 지하배관 작업 시 공간선량률 평가에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. CONCLUSION

본 연구는 몬테카를로 기법을 이용한 모의실험을 수행하여 비파괴 검사 시 방사선안전시설(RT-room)에서 사용하는 방사선원에 대한 공간선량률을 분석하였다. 방사선안전시설(RT-room) 내 공간선량 분포의 경우, 정면 지점의 1 m 거리에서  $^{192}\text{Ir}$  1.24E-01 mSv/h,  $^{60}\text{Co}$  9.98E-01 mSv/h,  $^{75}\text{Se}$  6.69E-02 mSv/h mSv/h로  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{75}\text{Se}$ 의 순서로 높은 선량 분포를 나타내었다. 선원과의 거리가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하는 양상을 보였으며, 4 m 이격 시 모든 선원의 선량률 분포는 99%의 감쇠를



나타낸다는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 방사선안전시설 내 작업자 피폭 선량 관리를 위해  $^{75}\text{Se}$ 과 같은 가능한 한 낮은 에너지를 방출하는 선원의 사용과 작업 시 선원과의 4 m 이상의 거리를 유지한다면, 방사선작업종사자의 피폭선량 최적화에 도움될 것으로 판단된다.

### Acknowledgement

이 논문은 2022년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음

### Reference

- [1] S. U. Ryu, "Current status and prospect of non-destructive testing technology", The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 56, No. 4, pp. 37-40, 2016.
- [2] H. Nam, "Understanding of Nondestructive Testing Technique", The Korean Professional Engineers Association, Vol. 33, No. 6, pp. 23-29, 2000.
- [3] S. M. Kang, C. I. Choi, S. K. Lee, S. K. Park, Y. K. Kim, "Comparison of Non-Destructive Testing Images using  $^{192}\text{Ir}$  and  $^{75}\text{Se}$  with Computed Radiography System", Korean Association For Radiation Protection, Vol. 35, No. 1, pp. 26-33, 2010.
- [4] Nuclear Safety And Security Commission, "2021 Nuclear Safety Survey", 2021.
- [5] S. K. Na, S. H. Han, "A study on the factors of spatial scattered ray occurrence in the X-ray radiography room", Journal of radiological science and technology, Vol. 32, No. 4, pp. 393-399, 2009.
- [6] K. H. Yang, "Acute and delayed biological effects of radiation", The Korean Society of Nuclear Medicine symposium, pp. 6-11, 2000.
- [7] T. T. Böhlen, F. Cerutti, M. P. W. Chin, A. Fassò, A. Ferrari, P. G. Ortega, A. Mairani, P. R. Sala, G. Smirnov, V. Vlachoudis, "The FLUKA code : developments and challenges for high energy and medical applications", Nuclear data sheets, Vol. 120, pp. 211-214, 2014.  
<https://doi.org/10.1016/j.nds.2014.07.049>
- [8] R. M. Ronningen, I. Remec, L. H. Heilbronn, "Benchmarking Heavy Ion Transport Codes FLUKA, HETC-HEDS MARS15, MCNPX, and PHITS(No. DOE/ER/41548)", Michigan State University, East Lansing, MI (United States), 2013.  
<https://doi.org/10.2172/1082753>
- [9] A. Ferrial, P. Sala, A. Fassò, J. Ranft, "FLUKA A multi-particle transport code(Program version 2005)", CERN Yellow Reports: Monographs, CERN-2005-010, SLAC-R-773, INFN-TC-05-11, CERN-2005-10, 2005. <https://doi.org/10.2172/877507>
- [10] <https://hps.org/publicinformation/radardecaydata.cfm>
- [11] E. Basile, "3rd FLUKA Advanced Course".
- [12] <https://oshri.kosha.or.kr/oshri/publication/researchReportSearch.do?mode=view&articleNo=63304&attachNo=>
- [13] M. H. Park, "Measurement of the spatial dose rates during PET/CT studies", Journal of radiological science and technology, Vol. 29, No. 4, pp. 257-260, 2006.
- [14] H. M. Jung, D. Y. Won, D. G. Kwon, J. E. Jung, "Measurement of Space Dose Distribution during Exposure Micro Computed Tomography ( $\mu$ -CT) for Scattering Rays", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 7, No. 1, pp. 45-50, 2013.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2013.7.1.045>
- [15] Y. I. Cho, S. H. Shin, J. H. Kim, "Dose assessment and shielding analysis of the working environments for non-destructive testing", Journal of Instrumentation, Vol. 15, No. 6, pp. 6012, 2020.  
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/06/p06012>

# 방사성동위원소를 이용한 비파괴 검사 시 작업환경 내 공간선량률 평가

조용인<sup>1</sup>, 김정훈<sup>1</sup>, 배상일<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

<sup>2</sup>동남권원자력의학원 방사선종양학과

## 요 약

비파괴 검사에 사용되는 방사선원은 투과력이 높고 주변 물질과의 충돌을 통해 산란선을 야기하며 이는 주변 공간선량 변화를 발생시킨다. 이에 본 연구는 몬테카를로 모의 모사를 활용하여 비파괴 검사 시 작업환경 내 선원별 공간선량 분포를 평가 및 분석하고자 하였다. 본 연구는 모의 모사 코드인 FLUKA를 활용하여 비파괴 검사에서 사용되는 <sup>60</sup>Co(3,700 GBq), <sup>192</sup>Ir(1,850 GBq), <sup>75</sup>Se(2,960 GBq) 선원을 모의모사하고, 산출된 선량률을 보건물리학회 자료와 비교하여 선원항의 신뢰성을 확보하였다. 이후 방사선안전시설(RT-room) 내 비파괴 검사를 설계하여 선원으로부터 거리에 따른 공간선량률을 평가하였다. 공간선량률 평가 결과, <sup>75</sup>Se 선원이 정면 위치에서 가장 낮은 선량 분포를 보였으며, <sup>60</sup>Co는 <sup>75</sup>Se에 비해 약 15배, <sup>192</sup>Ir 보다 약 2배 높은 선량을 나타내었다. 또한 거리에 따른 공간선량 분포는 선원과의 거리가 증가할수록 거리 역자승 법칙에 따라 감소되는 경향을 나타내었다. 예외적으로 <sup>60</sup>Co, <sup>192</sup>Ir, <sup>75</sup>Se 선원 모두 2 m 지점 이내에서 선량이 다소 증가하는 것을 확인하였다. 방사성동위원소를 이용한 비파괴 검사 시 작업환경 내 피폭선량 관리를 위해 <sup>75</sup>Se 선원과 같은 낮은 에너지를 방출하는 선원의 사용과 작업 시 방사선안전시설 내 선원과의 거리를 4 m 이상으로 유지한다면, 방사선작업종사자의 피폭선량 최적화에 도움 될 것으로 판단된다. 추후 본 연구 결과를 토대로 비파괴 검사 시 방사선안전시설 내 종사자의 안전관리를 위한 보조자료로서 활용될 것으로 사료된다.

중심단어: 비파괴검사, 방사성동위원소, 공간선량률, 몬테카를로 모의모사

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	조용인	부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과	조교수
(공동저자)	김정훈	부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과	교수
(교신저자)	배상일	동남권원자력의학원 방사선종양학과	방사선사