<원저>

# 몬테칼로 시뮬레이션을 이용한 소아 핵의학검사 시 인체내부 장기선량 평가

### 이동연·강영록

### 동남권원자력의학원

# Evaluation Internal Radiation Dose of Pediatric Patients during Medicine Tests Using Monte Carlo Simulation

Dong-yeon Lee · Yeong-rok Kang

Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences

**Abstract** In this study, a physical evaluation of internal radiation exposure in children was conducted using nuclear medicine test(Renal DTPA Dynamic Study) to simulate the distribution and effects of the radiation throughout the tracer kinetics over time. Monte Carlo simulations were performed to determine the internal medical radiation exposure during the tests and to provide basic data for medical radiation exposure management. Specifically, dose variability based on changes in the tracer kinetic was simulated over time. The internal exposure to the target organ (kidney) and other surrounding organs was then quantitatively evaluated and presented. When kidney function was normal, the dose to the target organ(kidney) was approximately 0.433 mGy/mCi, and the dose to the surrounding organs was approximately 0.138-0.266 mGy/mCi. When kidney function was abnormal, the dose to the surrounding organs was 0.228-0.419 mGy/mCi. This study achieved detailed radiation dose measurements in highly sensitive pediatric patients and enabled the prediction of radiation doses according to kidney function values. The proposed method can provide useful insights for medical radiation exposure management, which is particularly important and necessary for pediatric patients.

**Key Words**: Internal radiation dose, Monte-carlo method, Nuclear medicine, Pediatric **중심 단어**: 내부피폭, 몬테칼로법, 핵의학, 신장 기능, 소아

# Ⅰ.서 론

국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)는 의료 방사선으로 인한 피폭에 한해서 이득을 수반하는 행위로 간주하여 선량한도 또는 규제가 없도록 하였다[1]. 하지만 최근에는 의료 방사 선에 대한 부분을 규제할 순 없어도 피폭을 최소화 할 수 있 도록 관리하자는 것이 추세이다. 이에 ICRP에서는 각 국가 마다 실정에 맞는 진단참고준위를 설정하여 환자 피폭을 관 리하도록 권고하고 있다[2].

의료 방사선 분야 중 핵의학검사는 방사성 의약품을 인체 에 주입한 후, 체내에서 체외로 방출되는 방사선을 영상으 로 만들어내는 검사를 말한다. 일반적인 방사선(X선)검사는 단순히 해부학적인 구조를 진단할 수 있는데 반해 핵의학검 사는 인체 해부학적 구조를 검사함과 동시에 생리학적 기능 까지 진단, 평가할 수 있기 때문에 의료 분야에서 중요한 역 할을 차지하고 있다[3]. 다만, 방사성동위원소를 인체 내에 주입하는 것이기 때문에 내부피폭이 문제가 될 수 있다. 내

This work was supported by the Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences (DIRAMS) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.50494–2021)

Corresponding author: Yeong-Rok Kang, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences, 40, Jwadong-gil, Jangan-eup, Gijang-gun, Busan, 46033, Republic of Korea / Tel: +82-51-720-5491 / E-mail: yeongrok@dirams.re.kr

Received 3 March 2021; Revised 15 March 2021; Accepted 27 March 2021 Copyright ©2021 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

부피폭은 외부피폭과는 달리 인체 생리학적 대사와 선원이 가지고 있는 반감기를 동시에 고려하여 선량을 평가하기 때 문에 정량적인 평가가 상당히 어렵다[4]. 이에 세계적으로 내부피폭을 평가하는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[5,6,7]

즉, 핵의학검사는 내부피폭에 해당하기 때문에 정량적인 환자 피폭 평가가 필요하며, 더욱이 피폭을 평가한 자료는 진단참고준위를 설정하기 위한 기초자료로써 활용 가능하 기 때문에 필수적으로 진행되어야 할 부분이다[8].

이에 본 연구에서는 몬테칼로 시뮬레이션을 이용하여 핵 의학검사 시 인체가 받는 선량을 평가하고자 하였다. 특히, 방사선 감수성이 민감한 소아를 대상으로 인체 내부 장기가 받는 선량을 평가하여 데이터를 확보하고자 하였다.

### ||. 대상 및 방법

내부피폭은 인체에 섭취된 동위원소의 반감기, 인체 생리 학적인 대사를 종합적으로 고려해야하기 때문에 장기선량 을 평가하는 것은 현실적으로 한계가 있다. 또한, 내부피폭 의 경우 인체 모형의 팬텀을 제작하더라도 생리학적 대사를 실현할 수 없기 때문에 정량적인 선량을 평가할 수 없다. 이 에 본 연구에서는 몬테칼로 기반의 시뮬레이션 프로그램 (MCNP6.1.0, Los-Alamos National Laboratory, United America, 2013)[9]을 이용하여 인체를 전산모사한 후, 생리 적 대사에 따라 변하는 선원의 위치를 반영하여 내부피폭선 량을 평가하고자 하였다.

#### 1. 내부피폭 선량평가

내부피폭을 평가하는데 가장 핵심은 생체역동학 모델이 다. 생체역동학 모델이란 방사성 물질 섭취 시 인체 내에서 거동과 배설을 설명하는 모델로써 각 주요 장기를 독립된 격실로 가정하여 섭취율, 배설율을 함수로 나타낸 것이다. ICRP에서는 생체역동학 모델을 간행물 26[10], 30[11], 66[12]으로 통해 발표하였으며, 이를 기반으로 각 핵종 별 장기가 받는 피폭선량을 계산하여 제시하였다. 특히, 의료 분야에 관한 내용을 간행물 80[13], 106[14]을 통해 방사성 의약품으로 사용하는 핵종을 정리, 각 핵종에 따른 특성과 환자가 받는 피폭선량을 발표하였다. 또한, 세부적으로 성 별, 연령, 정상과 비정상을 나누어 체계적이며 세세한 자료 를 제공하였다. 이에 반해 보완할 점은 해부학적으로 좌측 과 우측으로 나누어져 있는 장기들에 대하여 각각 선량을 평가한 것이 아니라 종합적으로 평가하였다는 점이다. 예를 들어 신장의 경우 좌측과 우측이 대칭적으로 위치한 것이 아니며, 둘러싸고 있는 장기 구조가 다르기 때문에 선량 차 이가 있을 것으로 판단됨에도 불구하고 일률적으로 제시한 것에 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 ICRP 자료를 보완할 수 있도록 신장 을 좌, 우측 각각에 대하여 평가하여 의료피폭 관리에 적용 할 수 있는 데이터를 구축하고자 하였다.

#### 2. 소아 신장 기능 동적검사

본 연구는 핵의학검사 중 소아에서 자주 시행되는 신장 기능검사를 대상으로 평가하였다. 신장 기능검사는 소아 핵의학검사에서 약 60%를 차지할 만큼 다수 시행되고 있 다[15]. 이론적으로 해부학적 형태를 검사하는 정적 검사 와 생리학적 기능을 평가하는 동적감사로 나뉘어 있으며, 소아에서는 대부분 동적검사를 시행한다. 사용하는 의약 품은 방사성동위원소 <sup>9m</sup>Tc를 이용하며 표지자로는 DTPA (Diethylenetriamine penta-acetic acid)를 사용한다. 방 사성동위원소 <sup>99m</sup>Tc에 대한 기본적인 특성을 Table 1로 나 타내었다[16].

일반적으로 동적검사는 방사성동위원소를 주입 후 즉시 스캔을 진행하며, 1분 간격으로 영상을 획득하여 신장 기능 을 평가한다. 신장 기능은 Table 2와 같이 사구체 여과율을 기준으로 정상과 비정상으로 나뉜다[17]. 환자에 따라 편차

#### Table 1. Detailed properties of <sup>99m</sup>Tc

Nuclide	Radiation type	Half-life	Energy (MeV)	Emission rate(%)
			0,0183	2.1
<sup>99m</sup> Tc	Gamma ray	6.01 hours	0.0184	3.99
			0,1405	89.06

Table 2.National Kidney Foundation's Kidney DiseaseOutcomes Quality Initiative (NKF-K/DOQI) stages of chronickidney disease [17]

Ctopp	Description	GFR		
Slage	Description	(mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )		
1	Kidney damage with normal or increased GFR	> 90		
2	Kidney damage with mild decrease in GFR	60-89		
3	Moderate decrease in GFR	30-59		
4	Severe decrease in GFR	15-29		
5	Kidney failure	< 15 or dialysis		

가 있으나 정상의 경우 20분이면 방사성동위원소가 신장에 서 방광으로 배출되는 것으로 알려져 있다[18]. 이에 검사 시간은 정상의 경우 대략 20분부터 비정상의 경우 최대 60 분까지 검사를 실시한다. 이에 본 연구에서는 핵의학 신장 기능검사에 적용할 수 있는 피폭 데이터를 구축할 수 있도 록 검사 시간을 최대 60분으로 가정하여 체내 장기선량을 평가하였다.

또한, 본 연구에서 계산한 결과에 대한 신뢰도를 확보하 기 위해 신장이 받는 선량을 계산하여 ICRP 자료와 비교하 였다. 이때, ICRP에서는 정상인 경우 100분, 비정상인 경우 1000분으로 가정하고 선량을 계산하였기 때문에 신장 선량 에 한해서 ICRP 계산한 방법으로 선량을 계산하였다.

#### 3. 소아 모의피폭체

본 연구에서 사용한 인체 모의피폭체는 미국의 플로리다 대학에서 제작한 UF-revised 피폭체[19]를 기반으로 사용 하였다. 기존의 내부선량을 평가하기 위해 제작한 MIRD 모 의피폭체의 경우 장기를 연부조직, 폐, 뼈 3가지로 표현하여 실제 인체를 표현하는데 한계가 있었다. 하지만, UF-revised 피폭체의 경우 태아부터 성인까지 연령별로 제작하였으며, 남성과 여성을 구분하여 표현하였다. 또한, 장기를 95개로 세분화하여 표현하고 침샘, 점막층, 소화관, 호흡기 기도까 지 표현하여 실제와 유사하게 제작하였다. 표현한 인체 장 기의 해부학적 구조와 구성 성분은 ICRP 89[20]와 ICRU 46[21]을 바탕으로 모사하였다.

본 연구는 소아 신장 기능검사 시 체내 장기가 받는 선량 을 평가하고자 하였기 때문에 UF-revised 피폭체에서 소아



Fig. 1. Pediatric human body modelled in 3D virtual space. (a represents the back view, and b represents the front view)

 Table 3. Composition and percentage(%) of pediatric organs

 and density(g/cc) and volume(cc) fo each organ [21]

		Orgar	ı		
	Liver	Stomach	Small Intestine	Colon	Kidney
Н	10.3	10.6	10.6	10.6	10.3
С	18.6	11.5	11.5	11.5	13.2
Ν	2.8	2.2	2.2	2.2	3.0
О	67.1	75.1	75.1	75.1	72.4
Na	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
Р	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
S	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2
Cl	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
К	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2
Density (g/cc)	1.05	1.03	1.03	1.03	1.05
Volume (cc)	562	119.4	265	149.7	111.12

(5세)에 해당하는 팬텀을 사용하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 소아 모의피폭체의 모습이며, Table 3은 주요 장기 에 대한 구성 성분과 밀도 및 부피를 나타낸 것이다.

#### 4. 실험 방법

인체에 흡수된 동위원소로 인해 받는 내부선량을 평가하 기 위해서는 인체의 생리학적 대사와 동위원소가 가지고 있 는 반감기에 따른 방사능 변화 2가지를 동시에 고려하여야 한다. 하지만 일반적으로 시뮬레이션 프로그램은 시간 변화 에 따라 달라지는 선원 위치와 방사능을 모사할 수 없다. 이 를 해결하기 위해 본 연구에서는 첫째, 생리적 대사로 인한 선원 이동을 시간 변화에 1분 간격으로 각각 모사하고 선량 을 계산하였다. 신장 기능이 정상인 경우에 동위원소가 신 장에서 방광으로 배설되는 총 시간은 20분으로 설정하여 0~20분까지 총 21개의 코드를 모사하였고, 비정상의 경우 에는 50% 기능이 저하된 것으로 설정하여 0~40분까지 총 41개의 코드를 제작하였다. 시간에 따라 선원이 이동한 모 습을 Fig. 2로 표현하였다.

둘째, 생리학적 대사가 일어나는 동시에 선원은 반감기에 따라 방사능이 변화한다. 이를 적용하기 위해 시간에 따라 모사한 코드에서 얻은 각 장기에 대한 결과값을 아래 식 (1) 에 적용하여 최종적으로 장기가 받는 선량을 계산하였다. 이때, A는 1분 간격으로 설정한 각각 코드에서 계산한 선량 값, B<sub>0</sub>는 최초 방사능 1 mCi(최초 방사능 기준은 각 환자에 따라 사용하는 방사능이 다르기 때문에 사용하는 방사능에 따른 피폭을 환산하기 용이하도록 1 mCi를 기준으로 설정



Fig. 2. Simulation results for excretion of radiopharmaceuticals (99mTc) from the kidney to the bladder using the MCNP code. The excretion process over time was simulated in 1-min intervals

함), λ는 <sup>99m</sup>Tc의 붕괴상수, T는 핵종이 인체에 머무는 총 시간(신장 선량은 ICRP 평가 방법에 해당하는 정상 100분, 비정상 1,000분, 체내 장기선량은 정상 20분, 비정상 40 분), t는 경과시간을 의미한다.

$$Organ Dose = \int_{0}^{T} A \cdot B_{0} \cdot \exp(-\lambda \cdot t) dt$$
(1)

Ⅲ. 결 과

#### 1. 신장 흡수선량 평가

먼저, 본 연구 결과에서 계산한 결과값에 대하여 신뢰도 를 확보하기 위해 신장이 받는 흡수선량을 평가하고 이를 ICRP에서 제시한 값과 비교 분석하였다. Table 4는 본 연 구에서 계산한 값과 ICRP에서 제시한 값을 나타낸 것이다.

분석 결과, 신장 기능이 정상인 경우에 시뮬레이션 결과값 은 좌측 신장 0.433 mGy/mCi, 우측 신장 0.428 mGy/mCi 로 계산되었으며, ICRP 값보다 대략 5%정도 높게 나타났다. 비정상인 경우에는 기능 이상이 있는 측 신장 흡수선량이 높게 계산되었으며, 좌측과 우측 값을 평균하면 0.726 mGy/mCi로 ICRP에서 제시한 값과 유사하게 나타났다.

#### 2. 장기 흡수선량 평가

흡수선량을 평가한 장기는 신장에 근접하여 방사선 영향 을 가장 많이 받을 것으로 예측되는 장기를 선택하여 평가 하였으며, 각 장기별 흡수선량을 시뮬레이션으로 계산한 값 과 ICRP에서 제시한 값을 비교할 수 있도록 Fig. 3으로 나 타내었다.

결과값을 분석해보면, 신장 기능이 정상과 비정상 모두 대장, 소장, 위, 간 순으로 하복부에 위치한 장기에서 선량 이 높게 나타났다. 또한, 본 실험값과 ICRP 값을 비교하면, 신장 기능이 정상인 경우는 간 0.015 mGy/mCi, 위 0.014 mGy/mCi, 소장 0.060 mGy/mCi, 대장 0.069 mGy/mCi 만큼 실험값이 낮게 계산되었으며, 신장 기능이 비정상

Table 4.	Simulated	absorbed	doses to	the kidney	compared v	with values	presented	by the	ICRP	(unit: mC	3y/mCi)
----------	-----------	----------	----------	------------	------------	-------------	-----------	--------	------	-----------	---------

Function	ICRP	Simulation		
		Lt. kidney	Rt. kidney	
Normal	0.407	0.433	0.428	
Abnormal (Lt)	0.739	0.918	0.534	
Abnormal (Rt)	0.739	0.894	0.557	



Stomach Absorbed Dose





Fig. 3. The absorbed dose to the organs(Liver, Stomach, Small Intestine, Colon) according to the kidney function test

인 경우는 좌, 우 평균값이 간 0.167 mGy/mCi, 위 0.107 mGy/mCi, 소장 0.107 mGy/mCi, 대장 0.083 mGy/mCi 만큼 적게 산정되었다.

### Ⅳ. 고 찰

본 연구는 가상의 3차원 공간에서 소아 인체 모의피폭체 를 이용하여 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 핵종으로 신장 기능검사 시 체내 장기가 받는 선량을 평가하고자 하였다.

먼저, 시뮬레이션을 통한 연구에서는 모사한 모의피폭체 와 선원 설정에 대한 신뢰도가 확보되어야 한다. 이에 본 연 구에서는 MCNP 인풋 코드를 비쥬얼로 확인할 수 있는 프로 그램(VisedX\_24J[22], SABRINA[23], SimpleGeo 4.3[24]) 을 이용하여 Fig. 1과 같이 모의피폭체에 대한 기하학적 구 조와 구성 물질들을 확인하였으며, Fig. 2를 통해 인체 내에 서 선원이 이동하는 경로를 확인하였다. 따라서 시뮬레이션 에서 모사한 모의피폭체와 선원에 대한 신뢰도는 확보한 것 으로 판단된다.

또한, 시뮬레이션을 계산한 결과값에 대한 신뢰도를 확보 하기 위해 ICRP에서 제시하고 있는 신장 흡수선량 값과 본 연구 결과값을 비교하였다. 그 결과, 신장 기능이 정상에서 는 본 연구 결과값이 약 6% 높게 계산되었으며, 신장 기능 이 비정상인 경우에는 약 2% 낮게 평가되었다. 결과값에서 차이를 보인 것은 근본적으로 ICRP에서는 생체역동학 모델 을 기반으로 평가를 진행한 반면에 본 연구에서는 모의피폭 체를 대상으로 선원 흐름을 표현하여 평가하였기 때문에 평 가방안에서 차이가 난 것으로 생각된다. 하지만, 결과값에 서 근소한 차이를 보이기 때문에 본 연구 결과값에 대한 신 뢰도는 확보한 것으로 생각된다.

다음으로 체내 장기선량 결과는 전체적으로 상복부에 위 치한 장기에서 선량이 낮게 계산되었으며, 하복부에 위치한 장기에서 선량이 높게 계산되었다. 이는 선원 위치에 따른 결과로 신장에서 방광으로 선원이 시간에 따라 이동하기 때 문이며, 선원에서 이격된 정도에 따른 결과를 보인 것으로 사료된다.

마지막으로 장기선량을 ICRP 값과 비교하면, 정상인 경 우는 평균 15%정도 차이를 보였으며, 비정상인 경우는 최대 17~40%정도 차이가 났다. 이는 선원이 체내에 머무는 시 간 차이에서 발생하는 것으로 본 연구에서는 핵의학검사 일 정에 해당하는 검사가 끝난 직후 소변을 통해 핵종을 배설 하는 과정을 기준으로 정상 20분, 비정상(정상 기능의 50%) 40분으로 설정하여 계산하였으나, ICRP에서는 정상은 100 분, 비정상인 경우에 평가시간을 1,000분으로 설정하여 계 산하였기 때문에 차이가 난 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 소아 핵의학검사 시 환자가 받는 체내 피폭선 량을 평가한 연구로써 크게 2가지 측면에서 의미를 가지고 있다.

첫째는 내부피폭 선량을 평가함에 있어서 생체 역동학 모 델을 이용한 일반적인 평가가 아닌 몬테칼로 시뮬레이션을 이용하여 시간에 따른 선원 이동을 표현하고 동시에 방사능 변화를 보정하여 평가하였기 때문에 내부피폭 평가 방안에 대한 방향을 제시하였다는 점에서 의미가 있다.

둘째로 ICRP에서는 각 국가별 실정에 맞는 진단참고준위 를 설정하도록 권고하고 있다. 이에 본 연구 결과는 국내 진 단참고준위 설정에 있어서 기초적인 자료로 활용할 수 있다 는 점에서 그 의미가 있다.

### REFERENCES

- ICRP. 1990 Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP. 1991;21(1-3).
- [2] ICRP. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP, 2007;37(2-4).
- [3] Fahey FH, Goodkind A, Treves ST, Grant FD. Nuclear medicine and radiation protection. Journal of Radiology Nursing. 2016;35(1):5-11.
- [4] Seon JR, Gil JW. Study on development of patient effective dose calculation program of nuclear medicine examination. Journal of the Korea Academia– Industrial Cooperation Society. 2017;18(3):657-65.
- [5] Fahey FH, Goodkind AB, Plyku D, Khamwan K, O'Reilly SE, Cao X, et al. (eds.). Dose estimation in pediatric nuclear medicine. Seminars in Nuclear Medicine, Elsevier; 2017.
- [6] Mettler Jr. FA, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: A catalog. Radiology. 2008;248(1):254-63.
- [7] Lee JS, Kim YS, Kim MG, Kim JS, Lee SY. Evaluation of Absorbed dose for the right lung and surrounding organs of the computational human phantom in brachytherapy by monte carlo simulation. Journal of Radiological Science and Technology, 2020;43(6):

443-451.

- [8] Lee DY, Lee JS. Evaluation of the space scattered dose according to the position of the radiation workers in mammography room. Journal of Radiological Science and Technology. 2016;39(3):297-303.
- [9] Pelowitz DB. MCNP6 user's manual version 1.0: LA-CP-13-00634 Rev. 0. Los Alamos National Laboratory; 2013.
- [10] 10. ICRP. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3);1977.
- [11] ICRP. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30 (Part 1). Ann. ICRP. 1979;2(3-4).
- [12] ICRP. Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP. 1994;24(1-3).
- [13] ICRP. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80. Ann. ICRP. 1998;28(3).
- [14] ICRP. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals-Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Ann. ICRP. 2008;38(1-2).
- [15] Piepsz A, Ham HR. (eds.). Pediatric applications of renal nuclear medicine. Seminars in Nuclear Medicine, Elsevier; 2006.
- [16] Chadwick MB, Herman M, Obložinský P, Dunn ME, Danon Y, Kahler A, et al. ENDF/B-VII. 1 nuclear data for science and technology: Cross sections, covariances, fission product yields and decay data. Nuclear Data Sheets. 2011;112(12):2887-996.
- [17] National Kidney Foundation. Clinical practice guidelines for chronic kidney disease: Evaluation, classification and stratification. K/DOQI clinical practice guidelines. Am J Kidney Dis. 2002;39: S1-266.
- [18] Qi Y, Hu P, Xie Y, Wei K, Jin M, Ma G, et al. Glomerular filtration rate measured by 99mTc-DTPA renal dynamic imaging is significantly lower than that estimated by the CKD-EPI equation in horseshoe kidney patients. Nephrology. 2016;21(6): 499-505.
- [19] Han EY, Bolch WE, Eckerman KF. Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational

phantoms for use with the MIRD schema. Health Physics. 2006;90(4):337-56.

- [20] ICRP. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP. 2002;32(3-4).
- [21] White DR, Griffith RV, Wilson IJ. Report 46. Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements. 2016;os24(1):NP-NP.
- [22] Schwarz AL, Carter LL. MCNP/MCNPX visual editor computer code manual for vised version 24E (Complied withMCNPX version 2.7). Radiation Safety Information Computational Center; 2011.
- [23] Riper V. SABRINA user's guide. LA-UR-93-3696; 1993.
- [24] Theis C, Buchegger KH. SimpleGeo solid modeler4.3. Simple-GeoSimpleGeo; 2011.

구분	성명	소속	직위
제1저자	이동연	동남권원자력의학원	방사선사
교신저자	강영록	동남권원자력의학원	연구원