Journal of Radiation Industry 13(4) : 351~355(2019)

복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램의 개발

윤선영[1] · 정운관[1] · 박병목[2] · 여화연[3,*]

[1]조선대학교 원자력공학과, [2]세안에너텍㈜, [3]남부대학교 방사선학과

Development of a Complex Radionuclide Radiation Dose Rate Assessment Program

Sun Young Yoon[1], Woon Kwan Chung[1], Byeong Mok Park[2] and Hwa Yeon Yeo[3,*]

[1]*Department of Nuclear Engineering, Chosun University, 309, Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 61452, Republic of Korea*
[2]*SAE-AN ENERTECH CORP., 184, Gasan Digital 2ro, Geumcheon-gu, Seoul 08501, Republic of Korea*
[3]*Department of Radiology, Nambu University, 23, Cheomdanjungang-ro, Gwangsan-gu, Gwangju 62271, Republic of Korea*

Abstract - In some cases, it may be necessary to calculate the shielding rate by predicting the radiation dose rate after the shielding due to the maintenance and modification of the shielding area designed for the initial license. Complex radionuclide required complex calculations in the calculation of radiation dose rates compared to single radionuclide. In this study, we can develop a radiation dose rate calculation program that is simple to operate and accessible to users instead of expensive programs or complex calculations, and suggests appropriate radiation management techniques according to the results.

Key words : Radionuclide, Complex radionuclide, Radiation dose rate, Calculation program

서 론

원자력발전소나 사이클로트론, 방사성폐기물 처리/처분 시설 또는 대형 병원 및 연구소에서는 단일 방사성 핵종뿐만 아니라 방사성 핵종이 2개 이상 존재하는 복합 방사성 핵종이 발생하거나 또는 사용된다. 이러한 시설의 방사선관리구역을 차폐하기 위해서 몬텔칼로 방정식에 기반을 둔 전산모사 방법이 널리 활용되고 있다(Seo *et al*. 2004). 그러나 최초 인허가 시 설계되었던 방사선관리구역의 환경에서 차폐에 영향을 줄 만한 변경 사항이 발생한 경우 전문 프로그램을 이용하거나 수(手)계산을 하여 차폐 후의 방사선량률을 예상하고 차폐 계산을 하여야 한다.

* Corresponding author: Hwa Yeon Yeo, Tel. +82-62-970-0157, Fax. +82-62-972-6200, E-mail. yhy@nambu.ac.kr

이때 MCNPX와 같은 전문프로그램은 비용 및 사용자 전문성의 문제가 있으며, 수(手)계산은 복합 방사성 핵종의 특성상 계산 과정이 복잡하게 된다. 본 연구에서는 복합 방사성 핵종의 차폐를 위한 방사선량률을 계산할 수 있는 엑셀 기반의 프로그램을 개발하여 보다 편리하고 간단한 조작으로 차폐 후의 방사선량률 계산이 가능하도록 하고자 하며, 방사선 차폐에 대한 교육용으로도 활용 가능하도록 하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구대상 및 재료

본 연구의 연구대상은 복합 방사성 핵종(복합 핵종)으로, 복합 방사성 핵종이란 방사성 핵종이 2개 이상 존재 하는 핵

종을 말한다. 차폐 전 동일한 선량률이라 하더라도 어떤 핵종으로 구성되었는지에 따라 동일 두께의 차폐 및 시간 경과 후 각각의 반감기의 영향으로 인해 차폐 후 방사선량률이 달라지게 된다(Seon *et al*. 2001). 반감기 외에도 복합 핵종의 핵종별 방사능과 관계되는 변수에는 방출 방사선의 종류, 방출 방사선의 에너지 준위 및 방출률 등이 있다.

복합 핵종의 차폐 선량 계산을 위한 계산프로그램으로는 Microsoft office사의 Excel을 사용하였다. Excel은 널리 보편적으로 사용되고 있으며 사용방법이 간단하다는 장점이 있다(Kim *et al*. 2009).

2. 연구방법

본 연구의 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램에서 적용된 자동연산 항목은 복합 핵종 각각의 현재의 방사선량률, 일정기간이 경과한 후의 방사선량률 및 납 차폐 후의 방사선량률 이며 자동연산에 사용된 공식은 아래와 같다. 또한 복합 핵종의 방사선량률 값은 각 핵종에 해당하는 값을 구한 다음 각각의 값들을 합산하여 복합 핵종의 방사선량률 결과값으로 산출된다.

2.1 현재 방사선량률

선원에서 평가 지점까지의 방사선량률

$$X_0 = \Gamma \times \frac{A_0}{r^2}$$

X_0: 현재(최초) 방사선량률 값
Γ: 유효선량률 상수
A_0: 최초 방사능값
r: 선원에서 평가지점까지의 거리선원에서 평가지점까지의 방사선량률

2.2 일정기간 경과 후 방사선량률

일정시간 경과 후 선원에서 평가지점까지의 방사선량률

$$X_0 = \Gamma \times \frac{A}{r^2}$$

X_0: 현재(최초) 방사선량률 값
Γ: 유효선량률 상수
A: 일정기간 경과 후 방사능값
r: 선원에서 평가지점까지의 거리

2.3 납 차폐 후 방사선량률

방사선차폐 후 평가지점까지의 방사선량률

$$I = I_0 \times e^{-\mu T}$$

I: 차폐 후 방사선량률 값
I_0: 차폐 전 방사선량률(X)
T: 차폐체 두께
μ: 선형감쇠계수 = 질량감쇄계수 × 밀도

결 과

1. 프로그램의 구성

복합 핵종의 방사선량률 계산을 위한 프로그램은 핵종 데이터 입력 부분, 핵종 정보 및 사용 수식 정보를 나타내는

Radioisotope Data Base

Reference 1	Radioisotope DB Nuclide Information
Reference 2	KINS Radiation Safety Management Integrated Information Network
Reference 3	Formula used for automatic calculation

Nuclide	Half-life		Decay constant [day^{-1}]	Main gamma emission energy(kev) and fraction	External exposure Point source -30cm -1MBq	Effective dose rate constant Point source -1m -1MBq	HVL Lead[mm]
Co-58	70.80	days	9.790E-03	511(30%), 811(99%), 1675(<1%)	1.7E-03 mSv/h	1.53E-04 $\frac{mSv \cdot m^2}{MBq \cdot h}$	10
Co-60	5.27	years	3.603E-04	1173(100%), 1333(100%)	3.9E-03 mSv/h	3.51E-04 $\frac{mSv \cdot m^2}{MBq \cdot h}$	16
I-131	8.00	days	8.664E-02	284(6%), 365(82%), 637(7%)	7.3E-04 mSv/h	6.57E-05 $\frac{mSv \cdot m^2}{MBq \cdot h}$	3
Cs-134	2.07	years	9.174E-04	605(98%), 796(86%), 1365(3%)	2.7E-03 mSv/h	2.43E-04 $\frac{mSv \cdot m^2}{MBq \cdot h}$	9
Cs-137	30.20	years	6.288E-05	32(6%), 36(1%), 662(85%)	1.1E-03 mSv/h	9.90E-05 $\frac{mSv \cdot m^2}{MBq \cdot h}$	8
-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

: Please enter

Fig. 1. Radioisotope data base.

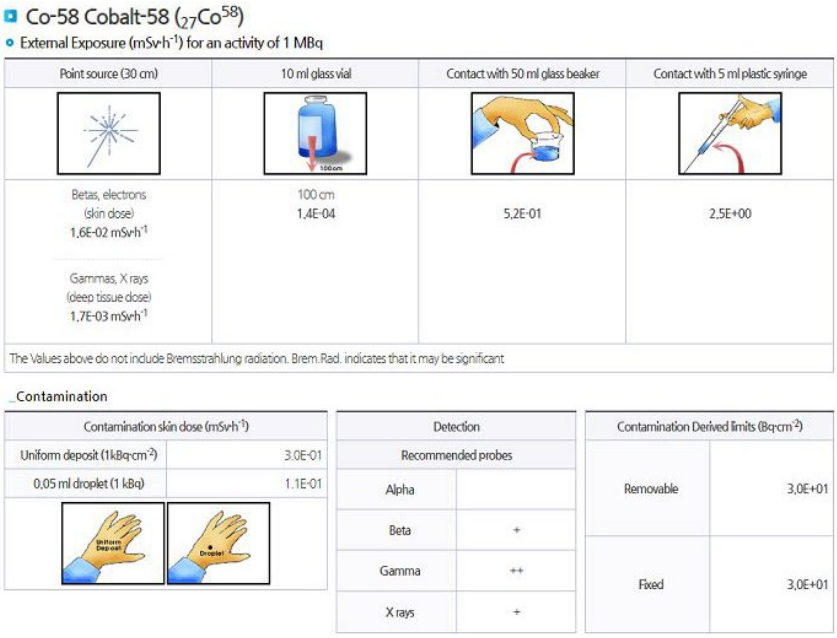

Fig. 2. Linkage of radionuclide information.

Radioisotope Data Base 화면과 입력된 데이터와 수식을 이용해 자동연산되는 복합 핵종 방사선량률 평가 화면으로 구성하였다.

1.1 Radioisotope Data Base

주요 핵종 데이터 베이스는 주요 핵종에 대한 각종 인자를 정리하여 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램에 적용 가능하도록 DB화하였다. 참고자료1에 수록된 내용을 바탕으로 한 DB화 인자로는 핵종별 반감기(붕괴상수), 주요감마방출 에너지/분율, 유효선량률 상수, 반가층이 있다. 복합 핵종 방사선량률 평가 화면에서 복합 핵종에 해당하는 핵종을 입력하면 DB화된 핵종 정보가 자동 입력되도록 하였다.

참고자료2에는 사용된 핵종 정보의 출처가 연동되도록 하여 사용된 핵종에 대한 정보를 확인할 수 있도록 하였다. 핵종 정보는 한국원자력안전기술원 방사선안전관리통합정보망(RASIS)의 핵종 정보를 연동하였다.

참고자료3에는 직접 입력한 인자 값 외 자동연산에 사용된 각종 수식정리를 통해 자동연산의 이해를 돕도록 하였다.

1. 2 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램

복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램의 항목으로는 핵종, 반감기, 붕괴상수, 방사능값, 유효선량률 상수, 선원과 평가지점 거리, 현재 방사선량률, 일정기간 경과, 일정기간 경과 후 방사선량률, 납에 대한 반가층, 납 차폐 두께, 납 차폐 후 방사선량률이 있다. 핵종별 방사능값을 알고 있는 상태에서 현재 방사선량률, 일정기간 경과 후 방사선량률, 납 차폐 후 방사선

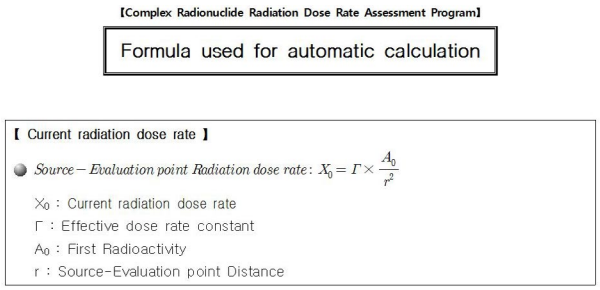

Fig. 3. Formula used for automatic calculation.

량률이 저장된 수식에 의해 자동연산된다. 본 평가 프로그램은 단일 핵종 계산 및 복합 핵종 계산이 가능하며 복합 핵종의 방사선량률 계산은 각각의 핵종 결과값이 표출되며 하단에 복합 핵종의 방사선량률 값이 표출된다.

2. 프로그램을 이용한 계산 절차 및 결과

Radioisotope Data Base 화면에 핵종, 반감기, 주요 감마선방출에너지 및 분율, 유효선량률 상수, 납 반가층과 같은 핵종 정보를 입력한 후, 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램 화면에 해당 핵종을 입력하면 DB화된 핵종 정보가 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램 화면에 자동으로 입력된다. Radioisotope Data Base에 DB화되어 있지 않은 핵종은 계속하여 핵종 정보를 추가 저장할 수 있으므로 계산하고자 하는 복합 핵종에 해당하는 핵종만 입력하면 저장되어 있는 DB에서 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램 화면으로 핵종 정보

Complex Radionuclide Radiation Dose Rate Assessment Program

Nuclide	Half-life		Decay constant [day^{-1}]	Radioactivity [MBq]	Effective dose rate constant [mSv·m^2/MBq·h]	Source-Evaluation point Distance[m]	Current radiation dose rate	Elapsed time [days]	Radiation dose rate after a certain	Lead HVL [mm]	Lead shield [mm]	Radiation Dose Rate after Lead Shielding
Sum							0,000 mSv/h		0,000 mSv/h			0,000 mSv/h

: Please enter
: Automatic enter based on yellow input
: Automatic calculation based on nuclide input

Fig. 4. Complex radionuclide radiation dose rate assessment program form.

Complex Radionuclide Radiation Dose Rate Assessment Program

Nuclide	Half-life		Decay constant [day^{-1}]	Radioactivity [MBq]	Effective dose rate constant [mSv·m^2/MBq·h]	Source-Evaluation point Distance[m]	Current radiation dose rate	Elapsed time [days]	Radiation dose rate after a certain	Lead HVL [mm]	Lead shield [mm]	Radiation Dose Rate after Lead Shielding
Co-58	70,80	days	9,790E-03	2,29E+3	1,53E-04	1,00 m	0,351 mSv/h	1 days	0,348 mSv/h	10 mm	10 mm	0,174 mSv/h
Co-60	5,27	years	3,603E-04	1,00E+3	3,51E-04	1,00 m	0,351 mSv/h	1 days	0,351 mSv/h	16 mm	10 mm	0,228 mSv/h
Cs-137	30,20	years	6,288E-05	1,00E+3	9,90E-05	1,00 m	0,099 mSv/h	1 days	0,099 mSv/h	8 mm	10 mm	0,042 mSv/h
-	N/A	N/A	N/A	0,00E+0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
-	N/A	N/A	N/A	0,00E+0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
-	N/A	N/A	N/A	0,00E+0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sum							0,801 mSv/h		0,797 mSv/h			0,443 mSv/h

: Please enter
: Automatic enter based on yellow input
: Automatic calculation based on nuclide input

Fig. 5. Complex radionuclide radiation dose rate evaluation program calculation result.

가 자동 입력되는 것에는 문제가 없으며 이로 인하여 계산시간의 단축 및 데이터 입력 시 발생될 수 있는 휴먼에러를 방지할 수 있다. 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램 화면에 각 핵종의 방사능값을 입력하고 선원과 평가지점의 거리, 경과시간, 차폐 두께를 입력하면 복합 핵종의 현재 방사선량률, 일정시간 경과 후 방사선량률, 납 차폐 후 방사선량률 값을 얻을 수 있다. 만약 복합 핵종에 대한 방사선량률을 수(手)계산으로 수행할 경우 핵종별 반감기, 에너지 준위 및 방출율이 상이하므로 복합 핵종을 이루는 핵종의 수가 많아질수록 계산에 소요되는 시간의 증가 및 계산 실수 확률이 증가하게 된다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램은 이러한 문제를 해결할 수 있다.

Radioisotope Data Base의 핵종 정보 중 계산하고자 하는 핵종 ^{58}Co, ^{60}Co, ^{137}Cs을 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램 화면에 입력하자 DB화된 핵종 정보가 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램 화면에 자동 입력됨을 확인하였으며 핵종별 방사능값을 입력하고, 거리, 경과시간, 납 두께 입력에 따라 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램 화면 하단에 ^{58}Co, ^{60}Co, ^{137}Cs 복합 핵종의 방사선량률 값이 표출됨을 확인하였다. 이 복합 핵종을 1 m 거리에서 1 day 후 10 mm 두께의 납으로 차폐할 경우, 납 차폐 후 방사선량률은 0.443 mSv·h^{-1}로 나타났으며 이 값은 수(手)계산 결과값과 일치하였다.

고찰 및 결론

최초 인허가 시 설계되었던 방사선관리구역의 차폐 보수, 변경 등으로 차폐 후의 방사선량률을 예측하여 차폐 계산을 해야 할 경우가 있다. 이때 MCNPX와 같은 전문프로그램을 사용하거나 수(手)계산에 의해 차폐 계산을 할 수 있으나 전

문프로그램사용의 경우 고가의 비용이 발생할 뿐만 아니라 사용 시 일정 교육을 통해 프로그램을 구동할 수 있는 능력을 가진 자와 프로그램의 구매가 선행되어야 한다. 또한 수(手) 계산의 경우 단일 핵종이 아닌 복합 핵종의 계산 시 핵종마다 고유한 반감기를 갖게 되므로 핵종이 많아질수록 계산이 복잡하게 되어 어려움이 발생하고 소요시간의 증가 및 휴먼에러 발생의 가능성이 존재한다.

따라서 다양한 기관의 방사선관리구역 차폐 계산을 위한 방사선량률 평가 시 사용이 간편하고, 기관의 특성에 맞게 프로그램 확장이 용이하며, 복합 핵종에 대한 계산도 단시간에 가능할 뿐만 아니라 방사선량률 계산 시 발생할 수 있는 휴먼에러를 최소화할 수 있는 프로그램 개발의 필요성에 따라 개발된 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램은 위의 내용을 모두 만족할 뿐만 아니라 Radioisotope Data Base에 DB화된 핵종 정보 및 관련 수식을 통해 본 프로그램을 사용함에 있어 이해를 돕도록 하였으며 방사선차폐 교육용으로도 활용이 가능하다.

뿐만 아니라 방사선관리구역의 방사선량률 값의 변화에 따라 방사선관리를 위한 다양한 방사선기법을 적용할 수 있는데 본 연구를 통해 개발된 복합 핵종 방사선량률 평가 프로그램은 방사선량률 값의 변화를 단시간에 다양한 변화 즉, 일정 기간 경과 후 또는 납 차폐체의 변화 등 여러 상황을 만들 수 있으므로 최적화된 방사선기법 적용을 통해 방사선작업종사자의 방사선관리구역 출입에 따른 방사선량피폭 제어에 기여할 것이다.

사 사

이 논문은 2019년도 남부대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

Kim GH, Kim JK, Kim JS, Kim JK, Moon SR, Park IK, Shin KC, Oh YK and Jeong DH. 2001. The Study on Dose Calculations for Blocked Fields. *Prog. Med. Phys.* **12**(2):133-140.

Kim SC and Kim JI. 2009. Production and Application of the Dose Calculation Program which used MS EXCEL and Bit System. *J.R.S.T.* **32**(1):39-43.

Seo KS and Kim CH. 2004. Shielding Calculations of Accelerator Facility for Medical Isotope Production using MCNPX Code. *Prog. Med. Phys.* **15**(4):210-214.

Seon KI, Nam UW, Kong KN, Kim CK, Lee DM and Lee SK. 2001. Radioassay of Multiple Beta-Labeled Mixtures using Least-Square Method. *J. Korea Asso. Radiat. Prot.* **26**(4):375-384.

Received: 21 September 2019
Revised: 5 October 2019
Revision accepted: 30 October 2019