

# A Study on the Condition Analysis and Improvement of Domestic Medical $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generators Self-disposal

Chan-Ju Ryu,<sup>1,2</sup> Seong-Jong Hong<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear medicine, Bundang Cha Hospital

<sup>2</sup>Department of Radiological Science, Eulji University

Received: February 12, 2019. Revised: April 26, 2019. Accepted: April 30, 2019

## ABSTRACT

The nuclear medicine department of a domestic medical institution uses  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , a radionuclide, from  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator, to inject radioactive drugs into patients. Among the expired generators, imported from foreign countries, the medical institution implements its own disposal. Each medical institution shall satisfy the permitted in-house disposal concentration of radioactive wastes. The guidelines for self-disposal presented in Korea suggested that self-disposal can be performed 80 days after the generator is used. The purpose of these guidelines is to analyze them by comparing them with the data measured directly with the generator and to study if they are feasible. As a result, the generator with a capacity of 1,000 mCi has the longest half-life, and when tested with a high-radiation Mo(molybdenum) column, the number of days that are below the permitted concentration of body disposal with radioactive waste was 72 days and 71 days that were derived from direct column measurement. The results of the direct study confirmed that the guidelines for in-house disposal in Korea were reasonable, as there were 8 to 9 days of storage compared to the number of in-house disposal days provided in the guidelines.

Keywords:  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator, Self-disposal, Medical radioactive waste

## I. INTRODUCTION

핵의학 분야란 방사성동위원소를 추적자로 사용하여 환자 체내의 형태학적 정보와 함께 생물학적·기능적 정보를 획득하여 질병을 진단하는 분야이다.<sup>[1]</sup> 핵의학 분야에서는 대부분 Milking system 원리(긴 반감기를 가진  $^{99}\text{Mo}$ (모핵종)으로부터 짧은 반감기를 가진  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (자핵종)을 추출)를 이용한  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator를 사용하여  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 를 생산할 수 있어 환자에게 방사성동위원소 주입이 가능하다.<sup>[2]</sup> Generator는 국내 생산되는 것과 국외로부터 수입하여 수입 업체를 통하여 의료기관으로 공급되는 두 가지 방식이 있으며, 국내 의료기관 Generator의 80% 이상이 국외의 Generator를 사용하

고 있다. 현재 의료기관 핵 의학과에서 Generator 사용하는 기간은 평균 일주일이며, 사용이 종료된 후에는 방사선 폐기 시설에 보관한다. 폐기된 국산 Generator의 경우 생산 기관에서 지정한 위탁업체가 Generator 반출시 배출기준과 운반기준을 충족하는 범위에 도달하면 직접 의료기관을 방문하여 수거하여 처분을 시행한다. 국외 Generator 같은 경우에는 제조업체를 통해 생산 국가로 다시 반환이 가능하나 반환 과정에서 방사능이 유출될 우려와 반송 되는 비용과 인력 문제로 인해 현재 국외 Generator 사용하는 의료 기관에서는 원자력 안전 위원회고시 제 2017-65호 ‘방사성 폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정’에 따라 각 의료기관에서 자체 처분을 시행 한다.<sup>[3]</sup> 하지만, 현재 국내의

\* Corresponding Author: Seongjong Hong

E-mail: hongseongj@eulji.ac.kr

Tel: +82-31-740-7185

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator 자체 처분에 대한 지침에서의 Generator 보관 일수와 처분 가능 일수는 직접적인 측정을 통해 제시된 것이 아닌 방사능 감쇠 이론적 계산식을 통하여 내용을 정의하였으므로 자체 처분 지침의 내용의 신뢰도와 정확성 그리고 정당성을 평가할 수가 없다. 또한 방사성폐기물에 대한 측정 방법·절차 및 평가, 보관 기간, 폐기 과정 등에 대한 내용이 포함되어 있지 않다.<sup>[4]</sup> 따라서, 의료기관에서는 Generator를 폐기하지 않거나, 폐기를 하여도 방사선 폐기 시설에 장기간 보관 후 처분을 시행 하고 있다. 이로 인해, 폐기된 Generator 보관 기간은 의료기관마다 상이하며, 장기간 보관으로 인해 방사선 폐기 시설의 저장 공간 또한 부족한 상황이다.<sup>[5]</sup> 본 연구에서는 의료기관에서 사용 후 보관 중인 1,000 mCi  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator를 대상으로 방사능 및 표면 선량률을 측정하여 자체 처분 허용농도 이하가 되는 기준 일을 도출하고, 국내 의료용 Generator의 자체처분 지침의 내용과 비교·분석하여, 국내 의료용 Generator 자체처분에 대한 지침 내용의 타당성을 제시하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 연구 대상 및 방법

본 연구에서는 보관 일수에 따른 자체 처분 가능성을 확인하기 위해 방사선 폐기 시설에 보관 중인 1,000 mCi 용량의 Generator를 수집하여 보관 일수가 측정일 기준으로 최소 10일 부터 최대 94일인 Generator를 모두 분해 하여, 발생되는 방사성 폐기물 중 반감기가 가장 길고, Generator 용량을 결정하는  $^{99}\text{Mo}$  Column의 수집 하여 표면에 보관된 일수를 표기하였다. Generator에서 분리하여 수집한  $^{99}\text{Mo}$  Column은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Storage of the separation columns.

이후, Fig. 2(a)에 제시된 Dose calibrator (Capintec CRC-25R)와 Fig. 2(b)의 Survey meter(IJR-CA-026), Fig. 2(c)의 Digital contamination monitor(S.E. INTERNATIONAL INC. USA)를 이용하여  $^{99}\text{Mo}$  column의 방사능의 측정과 표면 오염도를 측정 하였다. 여기서 측정한 값의 방사능의 단위는 큐리(Ci) 이므로 이를 SI 단위인 베크렐(Bq)로 변환하기 위한 계산을 하여야 한다( $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ).

측정값에서 비방사능(Bq/g)을 구하기 위한  $^{99}\text{Mo}$  column의 질량(g)을 측정하기 위해 전자 저울계(OHAUS valor 1000,USA)를 사용 하였다. 폐기된 Generator를 분리 하여 발생한 방사성 폐기물인  $^{99}\text{Mo}$  column으로부터 10cm 거리에서 survey meter를 이용한 방사능을 측정하는 모습은 Fig. 3과 같다.

또한, 각 Generator 분리 전 5 cc의 생리 식염수를 주입하여  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  용액을 용출한 후, Dose calibrator (Capintec CRC-25R)와 Survey meter(IJR-CA-026)를 사용하여 용출한 용액의 방사능을 측정하였다.

Eq. (1)을 통해 자체핵종( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )의 방사능( $A_2$ )은 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 방사능( $A_1$ )보다  $\lambda_1 N_2$ 만큼 더 높음을 확인할 수 있었다.

$$A_2 = A_1 + N_2 \lambda_1 \quad (1)$$

Eq. (1)에서  $A_2$ 는 용출된 Vial의 방사능,  $A_1$ 은 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 예상 방사능,  $N_2$ 는 자체핵종( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )의 원자수,  $\lambda_1$ 은 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 붕괴상수이다. Eq. (2)를 통해  $N_2$ 와  $\lambda_1$ 를 도출할 수 있다.

$$A_2 = N_2 \cdot \lambda_2, N_2 = \frac{A_2}{\lambda_2}, \lambda_1 = \frac{\ln 2}{T_1} \quad (2)$$

Eq. (2)에서  $T_1$ 은 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ ) 반감기로서, 약 66 h이다. 또한, 일정 시간 경과 후 잔여 방사능을 확인할 수 있는 Eq. (3)을 통해 자체처분이 가능한 방사능까지 방사능이 감쇠되기까지의 시간을 도출 하였다.

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}, t = \ln\left(\frac{A}{A_0}\right) \cdot -\frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

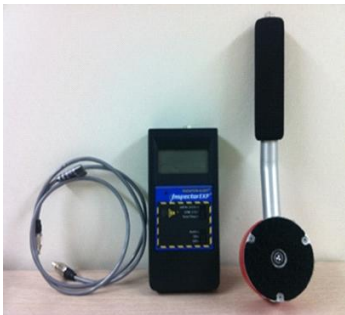
Eq. (3)에서  $A$ 는  $t$  시간 경과 후 방사성 핵종의 방사능,  $A_0$ 는 초기(현재)의 방사성 핵종의 방사능,  $\lambda$ 는 방사성 핵종의 붕괴 상수,  $t$ 는 경과시간이다.



(a) Dose calibrator



(b) Survey meter



(c) Digital contamination monitor

Fig. 2. Radiation measurement instrumentation.



Fig. 3. Measurement of the radioactivity of separated columns.

Generator에서 용출한 자핵종( $^{99m}\text{Tc}$ )의 방사능 측정값과 Eq. (2)를 사용하여 도출한  $N_2$ 와  $\lambda_1$ 을 Eq. (1)에 대입하여 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 예상 방사능을 계산하였다. 이후, 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 예상 방사능을  $^{99}\text{Mo}$

Column의 질량으로 나누어 예상 비방사능(선량 농도)을 도출하였다. 마지막으로, 자체 처분 가능 허용 농도인 10 Bq/g을 만족하기 위해 추가로 보관해야 하는 일수를 Eq. (3)을 사용하여 계산하였다.

### III. RESULT

#### 1. 용출된 자핵종( $^{99m}\text{Tc}$ )으로부터 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 예상 방사능

Generator 용출한 자핵종( $^{99m}\text{Tc}$ )의 방사능 측정값을 바탕으로 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 예상 방사능 및 비방사능(선량 농도)과 자체 처분 가능 허용 농도를 만족하기 위해 추가로 보관해야 하는 일수를 계산하였다. 이후, Generator의 폐기 후 보관 일수(측정 일까지의 보관 일수)에 계산을 통해 도출된 추가 보관 일수를 합산하여 자체 처분이 가능한 총 보관 일수를 도출하였다. 총 보관 일수의 평균값을 산출한 결과, 평균 72일이 경과한 후에는 Generator의 방사능 농도가 자체 처분 허용 농도 기준 이하이므로 Generator의 자체 처분이 가능한 것으로 확인되었다. 계산을 통해 도출된 모핵종( $^{99}\text{Mo}$ )의 예상 방사능, 비방사능 및 총 보관 일수는 Table 1과 같다.

#### 2. 폐기 Generator에서 분리한 $^{99}\text{Mo}$ Column 측정

방사선 계측기 (Dose calibrator, Digital contamination Monitor), 전자 저울계를 이용하여  $^{99}\text{Mo}$  Column의 방사능, 10 cm 거리에서의 표면 방사선량률, 질량을 측정된 결과 값은 Table 2와 같다.

Table 2의 측정 데이터 값의 대하여 측정 시 백그라운드(background)값 (0.002  $\mu\text{Ci}$ )을 감산하여 주고, 방사선 계측기의 기하학적 오차 요인인 검출 효율(0.938) 인자를 고려하여 참값(실제값)을 도출하였고 그 결과 값은 Table 3와 같다.

Table 3의  $^{99}\text{Mo}$  Column의 비방사능 측정값을 바탕으로 보관 일수가 73일 이상인 Generator에서 분리한  $^{99}\text{Mo}$  Column에서는 모두 Background 값이 측정되었으며, 보관일수가 66일 이하인 Generator 분리한  $^{99}\text{Mo}$  Column의 방사능이 자체 처분 허용 농도(10 Bq/g) 이하가 될 때까지의 추가 보관 일수를 계산하였으며 계산 값은 Table 4와 같다.

Table 1. Estimated <sup>99</sup>Mo radioactivity and storage days from eluted vials(1,000 mCi Generator)

Vial dose	<sup>99</sup> Mo Expected radioactivity (A <sub>1</sub> )	<sup>99</sup> Mo radioactive concentration (Bq/g)	Elapsed days from the date of disposal	Additional days for compliance with self-disposal standards	A total of Storage days
0 μCi	0 μCi	-	94, 87, 80, 73, 66	-	-
0.216 μCi	0.196 μCi	6.06×10 <sup>2</sup>	59	16	75
0.703 μCi	0.639 μCi	1.97×10 <sup>3</sup>	52	21	73
3.486 μCi	3.169 μCi	9.75×10 <sup>3</sup>	45	27	72
22 μCi	20 μCi	6.17×10 <sup>4</sup>	38	35	73
132 μCi	110 μCi	3.7×10 <sup>5</sup>	31	33	64
777 μCi	706.4 μCi	2.18×10 <sup>6</sup>	24	49	73
4.7 mCi	4.27 mCi	1.32×10 <sup>7</sup>	17	56	71
27.7 mCi	25.18 mCi	7.76×10 <sup>7</sup>	10	63	73
Average					72

Table 2. Measurement record of the 1,000 mCi <sup>99</sup>Mo column (column weight :12g)

Elapsed days from the date of disposal	Column radiation dose	10 cm surface from column [μSv/h]
94 day	Background	Background
87 day	Background	Background
80 day	Background	Background
73 day	Background	Background
66 day	0.017 μCi	0.121
59 day	0.09 μCi	0.137
52 day	0.12 μCi	1.67
45 day	1.17 μCi	9.21
38 day	15 μCi	15.94
31 day	78 μCi	24.8
24 day	552 μCi	48.6
17 day	2.9 mCi	217.5
10 day	21.2 mCi	887

Table 3. Self-disposal possibility of the 1,000 mCi <sup>99</sup>Mo column (Allowable radioactive concentration of column: 10 Bq/g)

Elapsed days from the date of disposal	Column radiation dose	The background, production value	Dose calibrator correction factor estimation data	The column weight setting [Bq/g]
94, 87, 80, 73,	0 μCi	0 μCi	0μCi	-
66	0.017μCi	0.015μCi	0.0015 μCi	55.5
59	0.09 μCi	0.088 μCi	0.094 μCi	296
52	0.12 μCi	0.118 μCi	0.126 μCi	394.7
45	1.17 μCi	1.168 μCi	1.245 μCi	46.1×10 <sup>3</sup>
38	15 μCi	14.99 μCi	15.99 μCi	4.93×10 <sup>4</sup>
31	78 μCi	77.99 μCi	83.15 μCi	2.18×10 <sup>5</sup>
24	552 μCi	551.9 μCi	588.48 μCi	1.81×10 <sup>6</sup>
17	2.9 mCi	2.9mCi	3.09 mCi	9.53×10 <sup>6</sup>
10	21.2 mCi	21.2 mCi	22.60 mCi	8.36×10 <sup>8</sup>

Table 4. Self-disposal available date of the 1,000 mCi <sup>99</sup>Mo column

Elapsed days from the date of disposal	Concentration of radioactivity in the measured column [Bq/g]	Additional storage days for self-disposal allowable concentration	The storage period of the column after disposal the Generator
94, 87, 80, 73,	-	-	-
66	55.5	6	72
59	296	13	72
52	394.7	14	62
45	46.1×10 <sup>3</sup>	23	68
38	4.93×10 <sup>4</sup>	33	71
31	2.18×10 <sup>5</sup>	40	71
24	1.81×10 <sup>6</sup>	47	71
17	9.53×10 <sup>6</sup>	54	71
10	8.36×10 <sup>8</sup>	72	83
Average			71

#### IV. DISCUSSION

핵의학에서 사용되는 방사성 핵종은 모두 개봉 선원의 형태로 방사선 방호(안전) 관련 규제가 필요할 뿐 아니라 사용 후 폐기 선원도 안전하게 관리 및 처분될 필요성이 있다. 핵 의학과에서 사용되는 방사성핵종 중 <sup>99m</sup>Tc은 반감기가 6시간으로 짧으며, 매 주 의료기관에 공급되는 Generator에서 생산이 가능하고, 매일 핵종을 용출하여 간편하게 사용이 가능하므로 핵의학 체내 검사 시 주로 사용된다. Generator에서 <sup>99m</sup>Tc 핵종을 용출하는 유효기간은 약 일주일 정도이며, 사용이 완료된 Generator는 방사성폐기물로 분류가 되어 방사선 폐기시설에 보관 한 후 각 의료기관에서 자체처분을 수행하고 있다. Generator를 자체처분 시, 반감기가 가장 긴 <sup>99</sup>Mo의 비방사능(방사능 농도)이 자체 처분 허용 농도인 10 Bq/g 이하일 때 Generator의 자체 처분이 가능하다. 하지만, <sup>99</sup>Mo Column의 비방사능이 자체 처분 허용 농도 이하임을 확인하기 위해서는 방사선작업종사자들이 주기적으로 방사능 측정을 수행해야 하며, 이러한 측정 과정에서 불필요한 직업상 피폭이 발생할 수 있다. 이러한 불필요한 직업상 피폭을 감소시키기 위해 국내 규제기관에서는 일정기간(약 80일) 보관 후 자체처분 하도록 권고 하고 있다.<sup>[3]</sup> 본 연구에서 Generator를 직접 측정

을 통한 보관 일수를 도출한 값이 규제 기관에서 제시한 보관일수 보다 더 작은 결과 값이 나왔으므로 Generator 자체처분 시, 방사선작업종사자가 안전하게 자체 처분을 수행할 수 있는 보관일수를 제시하고 있음을 확인하였다. 본 연구에서의 제한점으로는 Generator의 용량은 200~3,000 mCi까지 다양한 용량에 대해 각각의 연구가 시행되어야 하지만 1,000 mCi Generator 용량에 대해서만 연구 되었으며, 향후 이러한 제한점을 보완한 용량별 Generator에 대한 자체 처분 연구를 진행 하였을 때, 용량에 따라 처분 일수가 차이가 있는지에 대한 연구를 진행 할 필요가 있다.

#### V. CONCLUSION

본 연구에서는 1,000 mCi 용량의 Generator 구성 요소 중 반감기가 가장 길며, 방사능이 높은 Mo(몰리브덴) column을 대상으로 방사능 및 표면 방사선량률 등을 측정하여 자체 처분 허용 농도(10 Bq/g) 이하가 되는 일수를 도출하였다. 그 결과, 용출된 <sup>99m</sup>Tc 방사능을 측정하여 도출한 총 보관 일수는 평균 72일이었으며, <sup>99</sup>Mo Column의 방사능을 직접 측정하여 도출한 총 보관 일수는 평균 71일이었다. 하지만, 현재 2017년 3월 한국 원자력 안전 기술원(Korea Institute of Nuclear Safety)에서 원자력 안전법 제 53조에 따른 ‘국내 사용 후 Generator 관리 지

침'의 제 3항의 처분 가능성 내용과 제 4항의 보관 및 자체처분의 지침 내용에 따라 폐기일로부터 80일이 지난 후에는 Generator의 자체처분이 가능하다.<sup>[3]</sup> 따라서, Generator의 직접 측정을 통해 도출된 총 보관일수와 국내 Generator 자체 처분 지침상의 보관일수(80일)를 비교했을 때, 평균 8~9일 정도 빠른 자체 처분이 가능하다는 연구 결과를 도출하였다. Generator의 방사능을 직접 측정하여 유도된 총 보관일수가 이론식을 통해 유도된 총 보관일수에 비해 낮은 원인은 저장 기간 동안에 핵종의 시간적인 붕괴 과정 및 기화로 인한 것으로 사료된다. 하지만, 본 연구 결과를 국내 자체처분 지침상의 Generator 보관 일수를 비교하였을 때, 국내 자체처분 지침상의 Generator 총 보관 일수는 Generator를 안정적으로 처분할 수 있는 기간 범위 내에 속하며, 지침 상 80일 이내에는 자체 처분을 수행하지 않도록 명시하고 있으므로 국내 자체 처분에 대한 지침 내 보관 일수는 타당성이 있다고 판단된다.

## Reference

- [1] Nuclear Medicine Education Research Association, *Nuclear Medicine guides*, 1st ed., The Korean Medicine Publishing co., pp. 1-5, 2009.
- [2] C. S. Ko, *Nuclear medicine*, 7th ed., The Korean Medicine Publishing co., pp. 7-15, 2008.
- [3] Notice of Nuclear Safety and Security Commission, "Regulations for Criteria on the Classification and Clearance of Radioactive Waste" , Notice No. 2017-65(2017).
- [4] J. J. Park, "Guidelines for the use of technetium ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) Generator after use," Korea Institute of Nuclear Safety, 2017
- [5] O. G. Back, "A Study on the Management of Radioactive Wastes in Medical Institution", Master's Thesis, Seoul Yen-sei University, 1998.
- [6] Y. K. Kang, Y. H. Kang, S. M. Kwon, *Textbook of Nuclear Medicine*, 1st ed., Chung-Ku Publishing co. pp. 85-95, 2013
- [7] P. W. Moore, "Technetium-99 in generator systems," *Journal of Nuclear Medicine*, Vol. 25, No. 4, pp. 499-502, 2012.
- [8] C. G. Marco, P. P. Antonio, Q. T. Lina, A.G. Maurizio, B.S. Alessandra, "14 MeV Neutrons for  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Production: Experiments, Simulations and Perspectives," *Molecules*, Vol. 23, No. 8, pp. 187-192, 2018.
- [9] Korea Radioisotope Association, *A Study on Trends in Non - Generation Sectors and Efficient Supply and Demand of Domestic Radioactive Isotopes*, 1st ed., pp. 72-81, 2011.
- [10] H. G. Christopher, "Technetium-99m production issues in the United Kingdom", *Journal of Medical Physics*, Vol. 37, No. 2, pp. 66-71, 2012.

# 국내 의료용 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator 자체 처분 지침 현황 분석 및 개선 방향에 대한 연구

류찬주,<sup>1,2</sup> 홍성종<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>분당차병원 핵의학과

<sup>2</sup>을지대학교 방사선학과

## 요 약

국내 의료기관 핵 의학과에서는 환자에게 방사성 의약품을 주입하기 위해 체내검사의 80% 이상이  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator에서 방사선 핵종인  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  용출하여 사용한다. 사용이 종료된 Generator 중 외국으로 부터 수입한 국외용 Generator는 각 의료기관에서 자체 처분을 시행한다. 각 의료기관에서는 자체처분을 시행 할 때에는 방사성 폐기물이 자체처분 허용 농도 이하를 만족하여야 한다. 국내에 제시된 자체처분에 대한 지침은 방사선 감쇠 계산식으로 도출된 값으로 Generator 사용 후로부터 80일 이후 자체처분이 가능하다는 내용을 제시하였다. 이러한 지침이 직접 Generator를 가지고 측정된 데이터를 통해 비교 분석하여 타당성이 있는지에 대하여 연구하고자 한다. 결과적으로 1000 mCi 용량의 Generator 의 경우 Generator 구성 요소 중 반감기가 가장 길며, 방사능이 많은  $^{99}\text{Mo}$ (몰리브덴) column을 가지고 실험하였을 때, 방사성 폐기물로 자체 처분 허용농도 이하가 되는 일수는  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 을 용출하여 유도한 기간은 72일, 직접 칼럼을 측정하여 도출한 처분 일은 71일이였다. 직접적으로 연구한 결과는 지침의 내용에서 제시한 자체처분 일수보다 8~9일 정도 보관 일수 차이가 있으나, 국내 자체 처분 보관 일수의 범위 안에 속하므로 국내 자체처분에 대한 지침이 타당성이 있음을 확인 하였다.

중심단어:  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator, 방사성 폐기물, 자체처분,  $^{99}\text{Mo}$ (몰리브덴) column

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	류찬주	분당차병원 핵의학과	방사선사
		을지대학교 방사선학과	대학원생
(교신저자)	홍성종	을지대학교 방사선학과	교수