

방사성 요오드 치료환자의 환의 및 시트에 대한 재사용주기 평가

단국대학교병원 핵의학과, (주)엔에시¹
김영선 · 서명덕 · 이완규 · 김기준¹ · 송재범

The Evaluation on Reuse Period of Patient's Clothes and Sheet After Radioiodine Therapy

Yeong Seon Kim, Myung Deok Seo, Wan Kyu Lee, Ki Joon Kim¹ and Jae Beom Song
Department of Nuclear Medicine, Dankook University Hospital, NAC¹

Purpose : The patient's clothes and sheet after radioiodine therapy must be disposed of by related regulation. That must be disposed of as radioactive wastes, but that is reusing after radioactivity decay by keeping for the certain period of time. In general, The minimum storage period calculate by standard of take radioactive substance out of radiation controlled area based on measured surface contamination level. But the measurements of surface contamination level are able to differ by measurement method. In this paper, I wish to calculate the minimum storage period of patient's clothes and sheet after radioiodine therapy by measure nuclide concentration offered by the regulation on self-disposal of radioactive wastes. **Materials and Methods** : The whole area of patient's clothes and sheet measured 31 patients(male:9 patients, female:22 patients), who had radioiodine therapy(3.7 GBq:13 patients, 5.55 GBq:16 patients, 7.4 GBq:2 patients) from July 2011 to March 2012. The minimum storage period is calculated by the regulation on self-disposal of radioactive waste(100 Bq/g) and standard of take radioactive substance out of radiation controlled area(4 kBq/m²) **Results** : The minimum storage period of pillow sheet, upper uniform, lower uniform by standard of take radioactive substance out of radiation controlled area were each 4.6 days, 63days, 78 days. The minimum storage period of pillow sheet, upper uniform, lower uniform by the regulation on self-disposal of radioactive waste were each 18.1 days, 43 days, 62 days. **Conclusion** : We can verify that patient's clothes and sheet after radioiodine therapy exists a great deal of radioactive contamination. The minimum storage period calculation of patient's clothes and sheet is better suited to applying nuclide concentration offered by the regulation on self-disposal of radioactive waste. I recommend, To keep for at least 2 months of the patient's clothes and sheet contaminated radioactivity, for prevent contamination and unnecessary radiation exposure. (**Korean J Nucl Med Technol 2012;16(2):12-17**)

Key Words : Radioiodine therapy, Radioactive waste, The minimum storage period

서 론

갑상샘암의 발생이 점차 증가함에 따라 수술 후 방사성 요오드를 이용한 방사성동위원소 치료 또한 증가하고 있다. 방사성 요오드를 1.11 GBq (30 mCi) 이상 사용하여 치료하는

경우를 고용량 방사성동위원소 치료라 하는데, 의료진이나 가족들에게 많은 피폭선량을 야기하게 돼, 보통은 치료병실에 격리시켜 치료를 시행하게 된다. 치료 후 치료병실에서 나온 방사성폐기물(일반 쓰레기, 환의 및 시트, 먹다 남은 음식 등)은 관련 규정에 따라 처리해야 한다. 본원의 경우, 일반 쓰레기는 '방사성폐기물 자체처분에 등에 관한 규정'에 따라 100 Bq/g이 되는 시점에서 보관폐기하며, 먹다 남은 음식은 분쇄하여 배설물과 함께 저장탱크에 저장한 후 배수의 배출 기준이 30 Bq/L이 되는 시점에 처리한다. 환의 및 시트는 일반 쓰레기처럼 처리해야 하지만 사실상 일정기간 보관하여

• Received: July 20, 2012, Accepted: September 27, 2012.
• Corresponding author : **Jae Beom Song**
Department of Nuclear Medicine, Dankook University Hospital 359
Manghyang-ro, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam, 330-715, Korea
Tel: +82-41-550-6958, Fax: +82-41-550-6955
E-mail: jbsong@dkuh.co.kr

방사능을 감쇄시킨 후 재사용하고 있다. 통상 보관기간의 산출에는 표면오염도(Bq/m²)를 기반으로 하는 반출기준을 적용해 왔다. 표면오염도 측정 시 환의 및 시트와 같이 고착성 오염으로 시료채취가 불가능한 경우에는 방사선측정기(pancake probe survey meter)를 사용하여 직접 측정하게 된다. 일반적으로 방사선측정기를 이용하여 단위 면적당 총 방사선량을 구하다 보면 측정방법에 따라 편차와 불확실성이 상당히 커지게 된다. 본 연구에서는 ‘방사성폐기물 자체처분 등에 관한 규정’에서 제시하고 있는 핵종 농도(Bq/g)를 Dose calibrator를 이용하여 직접 측정하여 최소 보관기간을 구함으로써, 환의 및 시트의 정확한 재사용 주기를 산출하고자 했다. 한편, 반출기준으로 산출한 최소보관기간과 비교하여 그 차이를 살펴보았다.

1. 법적 기준

1) 반출기준

방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙[시행 2011.11.11] 제3조(방사선관리구역)②항 4호에 보면 “방사선관리구역으로부터 사람이 되거나 물품을 반출하는 경우에는 인체 및 의복신발 등 인체에 착용하고 있는 물품과 반출하는 물품(그 물품이 용기에 들어있거나 포장한 경우에는 그 용기 또는 포장)표면의 방사성물질의 오염도가 허용표면오염도의 10분의 1을 초과하지 아니하도록 할 것”이라고 규정하고 있다. 또한, 방사선방호 등에 관한 기준 고시[교육과학기술부고시 제2009-37호] 제5조(허용표면오염도)에 보면 “제2조 제10호의 규정에 의한 허용표면오염도는 그 오염을 제거할 수 있는 경우로서 다음 각 호와 같다. 2. 알파선을 방출하지 아니하는 방사성물질에 대하여는 40 kBq/m²”라고 규정하고 있다. 그러므로 반출기준은 허용표면오염도의 1/10인 4 kBq/m²로 정의될 수 있다.

2) 자체처분 규정

원자력안전법 시행령[시행 2012.5.1] 제107조(방사성폐기물 자체처분의 절차 및 방법)①항에 보면 “법 제71조에 따른 원자력관계사업자(이하 “원자력관계사업자”라 한다)는 법 제70조 제3항에 따라 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 방사성폐기물로서 핵종별 농도가 위원회가 정하는 값 미만이 된 방사성폐기물을 소각, 매립 또는 재활용의 방법으로 처분(이하 “자체처분”이라 한다)할 수 있다”라고 규정하고 있다. 또한, 방사성폐기물의 자체처분에 관한 규정[시행 2012.1.20] 제3조(허용기준 및 핵종별 농도)에 보면 “허용기준 및 「원

자력안전법 시행규칙」 제99조에서 원자력안전위원회가 정하는 핵종별 농도는 별표 1과 같다”라고 규정하며, I-131의 핵종별 농도는 100 Bq/g로 정하고 있다.

대상 및 방법

1. 측정대상

본원의 방사성요오드 치료병실에서 2011년 7월부터 2012년 3월까지 I-131을 3.7 GBq (100 mCi) 이상 (3.7 GBq: 13명, 5.55 GBq: 16명, 7.4 GBq: 2명)을 사용하여 방사성요오드 치료를 시행한 환자 31명(남자:9명, 여자:22명)이 사용한 환의와 시트의 방사성 오염도를 측정하여 최소보관기간을 산출하였다. 환자 퇴원 후 제염활동 후에 환의와 침대시트, 담요시트, 베개시트를 비닐봉지에 담아 수거하였으며, 수거한 후 각각 무게를 측정하였다.

2. 측정방법

1) 방사성 오염도(cpm) 측정

방사성 요오드 치료 후 환자가 사용한 환의(상의, 하의) 및 시트(담요시트, 침대시트, 베개시트)를 방사선측정기를 이용하여 방사성 오염도를 측정하였다. 오염도 측정은 환의 및 시트 수거 당일 오전 중에 실시하였고, 측정 장소는 핵의학과 내 Background가 가장 낮은 검사실 예비공간에서 실시하였다. 방사선측정기는 Biodex model 3을 이용하여 최댓값을 측정하였고, 측정단위는 cpm (count per minute)으로 하였다. 측정방법은 직접법으로, 침대시트와 담요시트는 가로와 세로를 100 cm로 접어서 표면에서 측정하였고, 환의와 베개잇은 펼쳐 놓고 표면에서 측정하였다. 측정대상과 검출기 사이의 거리는 1 cm로 하였으며, 표면의 오염된 부위를 3 cm/sec 이하의 속도로 천천히 이동하면서 측정하였다. 측정값 중 최댓값을 나타내는 부위는 반복 측정하여 평균을 냈다.

2) 방사능(Bq) 측정

방사능 측정은 환의 상·하의와 베개시트를 표면오염도 측정 후 핵의학과 저장실에서 Capintec, inc CRC-15R Dose Calibrator를 이용하여 측정하였다. 측정방법은 Dose Calibrator의 BKG correction 후 Differ를 빼내고 상·하 환의와 베개시트를 각각 말아서 비닐에 싼 후 Liner 안에 넣고 측정하였다.

3) 최소보관기간 산출

최소보관기간 산출은 앞서 언급한 바와 같이 표면오염도를 기반으로 하는 반출기준과 자체처분 기준에 따라 각각 4 kBq/m²과 100 Bq/g이 되는 시점을 붕괴식을 이용하여 산출하였다.

(1) 반출기준

방사선측정기를 이용하여 측정된 방사성 오염도를 표면오염도로 변환하기 위해서 검출기 표면면적

15 cm²과 검출효율인 3.35를 대입하였다.

$$\text{측정값 } cpm \times \frac{1}{60} \text{ sec} \times \frac{1}{15} \text{ cm}^2 \times 10,000 \text{ cm}^2 \times 3.35 (\text{검출효율}) = Bq/m^2$$

변환값을 붕괴식에 대입하여 반출기준인 4 kBq/m²이 되는 시점까지의 반감기 n을 구한 후 가중치 1.2와 I-131의 반감기 8일을 곱하여 최소보관기간을 산출하였다.

$$I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$\text{최소보관기간} = n \times 1.2 \times 8 \text{ days}$$

$$I_0 : \text{최초 핵종의 Activity} = \text{측정치의 변환값 } Bq/m^2$$

$$I : n \text{ 반감기 후 Activity} = 4 Bq/m^2$$

n : 핵종의 Activity가 I₀에서 I로 될때까지 반감기

Safe factor = 1.2

¹³¹I 반감기 = 8 days

(2) 자체처분 기준

자체처분 기준인 핵종별 농도(Bq/g)를 구하기 위해서 방사능 측정값을 환의 및 시트의 무게로 나누어 핵종 농도를 산

Table 1. The weight of patient's clothes and sheet

	무게(g)
Pillow sheet	150
Upper uniform	300
Lower uniform	200

Table 2. The surface contamination level of patient's cloths and sheet

	N	허용표면오염도 초과(%)	반출기준 초과(%)	Min (kBq/m ²)	Max (kBq/m ²)	Mean (kBq/m ²)	S.D. (kBq/m ²)
침대/담요시트	51	2.0	47.1	1.5	111.7	7.5	15.1
베개시트	31	9.7	22.6	1.1	4838.9	351.2	1131.9
환의(上)	31	38.7	90.3	1.9	7444.4	485.8	1470.4
환의(下)	31	54.8	100.0	5.6	4094.4	506.8	1019.5

Table 3. The radioactivity measured using dose calibrator

	N	Min (MBq)	Min (MBq)	Mean (MBq)	S.D. (MBq)
베개시트	31	0.004	5.328	0.288	1.040
환의(上)	31	0.037	9.435	0.614	1.695
환의(下)	31	0.030	14.097	1.127	2.537

출한 후, 규정에 따라 최소보관기간이라 할 수 있는 100 Bq/g 이 되는 시점을 붕괴식을 이용하여 산출하였다. 최소보관기간은 반출기준과 같은 방법으로 산출하였으며, 침대/담요시트는 방사능 측정이 불가하여 베개시트의 측정값을 이용하여 유추하였다.

결 과

1. 측정결과

1) 표면오염도(Bq/m²)

침대시트 1 case와 베개시트 3 case에서 반출기준(4 kBq/m²)을 30~1,200배 초과하는 표면오염도가 측정되었을 뿐, 나머지는 모두 반출기준 이하이거나 최대 3배 정도 초과하였다. 베개시트의 경우 환자의 타액에 의한 오염으로 그 흔적을 확인할 수 있었다. 환의(上)의 표면오염도는 3 case를 제외하고는 모두 반출기준을 초과하였으며, 평균 120배, 최대 1,800배까지 높게 측정되었다. 대부분 환의(上)의 앞쪽 하단부분에서 높게 측정되었으며, 일부 어깨부분에서 높게 측정되었다. 환의(下)는 모두 반출기준을 초과하였으며, 모두가 환의의 앞쪽 상단부분에서 높게 측정되었다. 환의의 경우 오염의 위치로 보아 대부분 소변에 의한 것으로 생각된다.

2) 방사능과 핵종 농도

베개시트의 핵종 농도는 표면오염도와 마찬가지로 3 case에서 자체처분 기준의 160~350배 정도로 높게 측정되었으며, 나머지는 자체처분 기준 이하이거나 최대 3배 정도 초과하였다. 환의(上)는 1 case를 제외하고 모두 자체처분 기준을 초과하였으며, 평균 20배, 최대 300배까지 초과하였다. 환의(下)는 반출기준과 마찬가지로 모두 자체처분 기준을 초과하였으며, 평균 50배, 최대 700배까지 초과하였다.

2. 보관기간 산출결과

1) 반출기준

침대/담요시트는 1 case를 제외하고 모두 14.2일 이하였으며, 최대 46.1일로 산출되었다. 베개시트는 3 case를 제외하고는 모두 4.6일 이하였으며, 최대 98.3일로 산출되었다. 환의(上)는 3 case를 제외하고는 모두 63일 이하였으며, 최대 104.3일로 산출되었다. 환의(下)는 3 case를 제외하고는 모두 78일 이하로 산출되었으며, 최대 96일로 산출되었다.

2) 자체처분 기준

베개시트는 3 case를 제외하고 18.1일 이하였으며, 최대

81.3일로 산출되었다. 환의(上)은 2 case를 제외하고 모두 43일 이하였으며, 최대 79.7일로 산출되었다. 환의(下)는 2 case를 제외하고 모두 62일 이하였으며, 최대 90.8일까지 산출되었다.

3) 반출기준과 자체처분 기준 결과의 비교

베개시트의 최소보관기간을 살펴보면 반출기준보다 자체처분 기준이 10일 정도 길게 산출되었고, 환의는 반대로 자체처분 기준이 20일 정도 짧게 산출되었다. 오염도가 낮은 구간에서는 자체처분 기준으로 산출한 보관기간이 더 길었으며, 오염도가 높은 구간에서는 반출기준으로 산출한 보관기간이 더 길었다.

Table 4. The nuclide concentration (Radioactivity according to weight)

	N	자체처분기준 초과(%)	Min (Bq/g)	Max (Bq/g)	Mean (Bq/g)	S.D. (Bq/g)
베개시트	31	77.4	2.5	35520.0	1921.2	6950.6
환의(上)	31	96.8	1.9	31450.0	2048.3	5648.0
환의(下)	31	100.0	5.6	70485.0	5633.6	12864.0

Table 5. The minimum storage period by standard of take radioactive substance out of radiation controlled area

	N	Min (day)	Max (day)	Mean (day)	S.D. (day)
침대/담요시트	51	0.0	46.1	4.9	7.8
베개시트	31	0.0	98.3	9.7	28.0
환의(上)	31	0.0	104.3	33.6	28.6
환의(下)	31	4.6	96.0	41.1	28.1

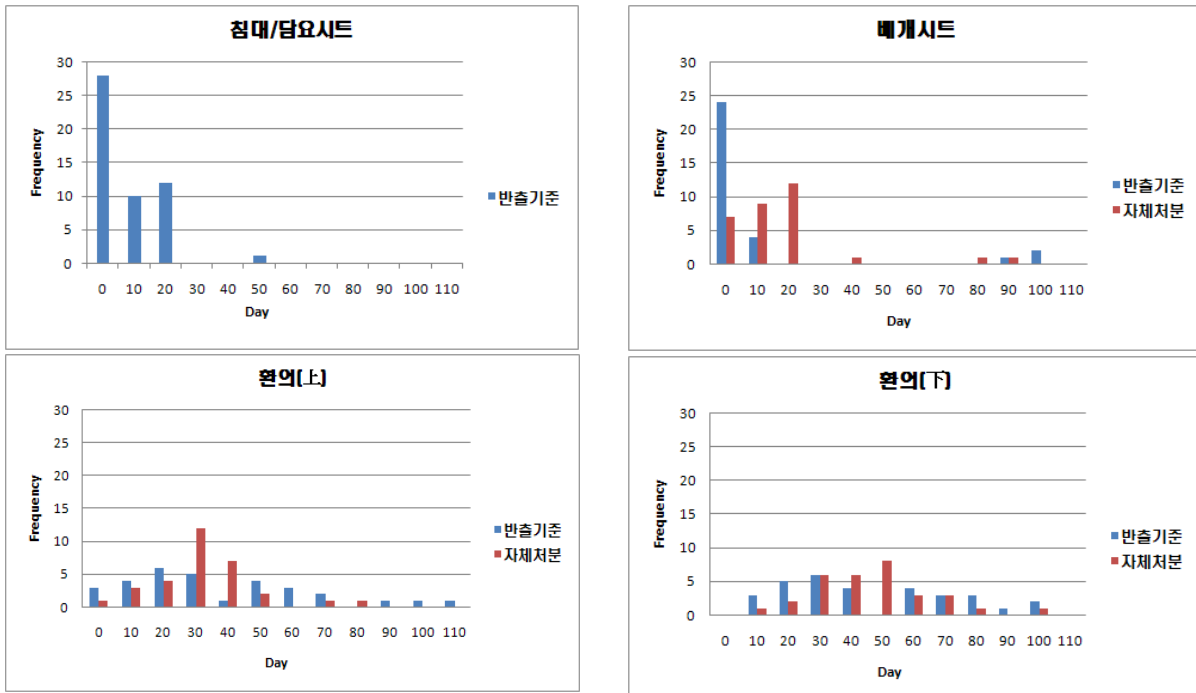


Fig. 1. The comparison between standard of take radioactive substance out and the regulation on self-disposal for the minimum storage period.

4) 상관관계분석

환의와 시트의 표면오염도와 핵종 농도 측정값, 그리고 반출기준과 자체처분 기준으로 산출한 최소보관기간을 상관관계분석을 통해 비교해 보았다. 먼저 표면오염도와 핵종 농도의 상관관계를 살펴보면 베개시트와 환의(上)는 상관관계가 높았으나, 환의(하)는 낮았다. 이는 베개시트와 환의는 방사성오염이 일부분에 국한되어 있어 방사선측정기와 Dose Calibrator의 측정값이 일정한 반면, 환의(下)는 소변에 의한 방사성오염으로 여러 부분에 산재되어 있어 일부 최댓값을 측정하는 방사선측정기와 전체 방사선량을 측정하는 Dose Calibrator의 측정값의 차이로 인해 상관관계가 낮은 것으로 생각되었다. 이는 방사선측정기의 한계를 보여주는 것으로, 핵종 농도를 측정하여 최소보관기간을 산출하는 자체처분 기준이 더 정확하다고 할 수 있다. 반출기준과 자체처분 기준에 의한 최소보관기간의 상관관계는 환의 및 시트 모두 높게 나타났다. 최소보관기간 산출에는 각 기준 이하의 낮은 영역은 제외했기 때문에 환의(하)에서도 두 기준간의 상관관계는 높게 나타났던 것으로 생각된다. 침대/담요시트의 자체처분 기준에 의한 최소보관기간을 유추해 보면, 표면오염도가 베개시트와 거의 비슷하거나 약간 높은 수준이고 무게는 더 무거우므로 최소보관기간은 20일 전후가 될 것으로 생각된다.

고 찰

반출기준과 자체처분 기준에 의해 산출된 최소보관기간의 적정값을 정하는 것은 난해하다. 물론 최소보관기간은 최댓값을 기준으로 정해야 하지만 만일 환자가 토하거나 침대에 소변을 본 경우에는 이보다 훨씬 더 긴 최소보관기간이 산출될 것이다. 그렇다고 해서 측정된 모든 경우에서 최댓값을 보관기간으로 산출하는 것 역시 무리가 따른다. 환의 및 시

트의 특성상 오랜 기간 보관하게 되면 부패로 인한 손상과 악취 등으로 관리하기가 어렵기 때문이다. 빈도분석에서 알 수 있듯이 자체처분 기준에 의한 최소보관기간이 80일을 초과하는 경우는 10%(3 case) 정도였다. 그래서 본 연구에서 적정 최소보관기간을 상위 10%(3 case)를 제외한 하위 90% 수준으로 정했다.

결 론

환의와 시트의 최소보관기간 산출에는 표면오염도를 기반으로 하는 반출기준보다는 핵종 농도를 기준으로 하는 자체처분 기준이 더 적합하다고 할 수 있다. 측정의 정확도 또한 방사선측정기를 이용하는 표면오염도 보다는 Dose Calibrator를 이용하는 핵종 농도가 더 정확하다고 할 수 있다. 실질적으로 방사성 오염도를 측정해 본 결과 반출기준과 자체처분 기준을 상당량 초과하는 방사능이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. ‘방사성폐기물 자체처분 등에 관한 규정’에 따라 100 Bq/g 되는 시점으로 최소보관기간을 산출한 결과 베개시트는 20일, 환의(上)는 40일, 환의(下)는 60일이었다. 이와 같이 방사성 요오드 치료 후 환자가 사용한 환의 및 시트의 최소보관기간을 산출함으로써, 성급한 재사용에 따른 불필요한 방사선평폭 및 오염 확산을 줄일 수 있을 것으로 기대되며, 재사용기간을 합리적으로 산출하고 적용함으로써, 합법적인 운영을 도모할 수 있다고 생각된다.

요 약

방사성 요오드 치료병실에서 나온 환의 및 시트는 본디 방사성폐기물로서 관련 규정에 따라 일반 쓰레기와 동일하게 처리해야 하지만 사정상 일정기간 보관하여 방사능을 감쇄시킨 후 재사용하게 된다. 통상 최소보관기간 산출에 표면오

Table 6. The minimum storage period according to the regulation on self-disposal of radioactive waste

	N	Min (day)	Max (day)	Mean (day)	S.D. (day)
베개시트	31	0.0	81.3	13.3	18.8
환의(上)	31	0.0	79.7	28.1	15.8
환의(下)	31	5.4	90.8	41.7	18.4

Table 7. The comparison of correlation of the minimum storage period

	상관계수(측정값) 표면오염도(Bq/m ²) : 핵종 농도(Bq/g)	상관계수(보관기간) 반출기준 : 자체처분규정
베개시트	0.841	0.913
환의(上)	0.964	0.766
환의(下)	0.202	0.774

염도(Bq/m²)를 기반으로 하는 반출기준을 적용하고 있다. 하지만 방사선측정기를 이용하여 단위 면적당 총방사능량을 구하는 방법은 측정방법에 따라 편차와 불확실성이 상당히 커진다. 본 연구에서는 ‘방사성폐기물 자체처분 등에 관한 규정’에서 제시하고 있는 핵종 농도(Bq/g)를 Dose Calibrator를 이용하여 직접 측정하여 최소보관기간을 구함으로써, 환의 및 시트의 정확한 재사용 주기를 산출하고자 한다. 한편 반출기준으로 산출한 최소보관기간과 비교하여 그 차이를 살펴보았다.본원의 방사성 요오드 치료병실에서 2011년 7월부터 2012년 3월까지 I-131을 3.7 GBq (100 mCi) 이상을 사용하여 방사성 요오드 치료를 시행한 환자 31명이 사용한 환의와 시트의 방사선 오염도를 측정하여 최소보관기간을 산출하였다. 최소보관기간은 핵종 농도를 측정하여 ‘방사성폐기물 자체처분 등에 관한 규정’에 따라 100 Bq/g이 되는 시점과 표면오염도를 측정하여 반출기준에 따라 허용표면오염도의 1/10, 즉 4 kBq/m²되는 시점을 붕괴식에 대입하여 산출하였다.반출기준으로 산출한 최소보관기간은 침대/담요시트는 14.2일, 베개시트는 4.6일, 환의(上)은 63일, 환의(下)는 78일이었으며, 자체처분 기준에 따른 최소보관기간은 베개시트는 18.1일, 환의(上)은 43일, 환의(下)는 62일로 산출되었다. 표면오염도와 핵종 농도의 상관관계를 분석해 본 결과 베개시트와 환의(上)는 상관관계가 높게 나타났으나, 환의(하)는

낮게 나타났다. 이는 베개시트와 환의는 방사성오염이 부분에 국한 되어 측정값이 일정한 반면, 환의(下)는 소변에 의한 방사성오염이 여러 부분에 산재되어 있어 방사선측정기의 측정값이 상대적으로 낮게 측정된 결과로 생각 된다.실질적으로 방사성 오염도를 측정한 결과 반출기준과 자체처분 기준을 상당량 초과하는 방사능이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 환의와 시트의 최소보관기간 산출에는 핵종 농도를 기준으로 하는 자체처분 기준을 적용하는 것이 더 적합하다고 할 수 있다. 방사능에 오염된 환의 및 시트는 최소 60일 정도는 보관해야 성급한 재사용에 따른 불필요한 방사선피폭 및 오염 확산을 방지할 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. 고창순 편저, “핵의학”. 고려의학, 1992. 갑상선.
2. 방사성동위원소 치료병실 운영 절차서. 대한핵의학기술학회. 2012.1.
3. 문재승. 방사성옥소 치료환자의 환의 및 침구류에 대한 표면오염 측정에 관한 고찰. 대한핵의학기술학회. 2008;12:1:3-12.
4. 대한핵의학기술학회. 2008;12:1:91-136.
5. 원자력안전위원회고시 제2012-59호 방사성폐기물의 자체처분 등에 관한 규정 제3조.
6. 원자력안전위원회 규칙 제4호 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙 제3조.