

Original Article

고용량 방사성옥소 치료 병실의 최대치 산출

분당서울대학교병원 핵의학과

이경재 · 조현덕 · 고길만 · 박영재 · 이인원

Maximum Value Calculation of High Dose Radioiodine Therapy Room

Kyung Jae Lee, Hyun Duck Cho, Kil Man Ko, Young Jae Park and In Won Lee

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Gyeonggi-do, Korea

Purpose: According to increment of thyroid cancer recently, patients of high dose radioiodine therapy were accumulated. Taking into consideration the acceptance capability in the current facility, this study is to calculate the maximum value of high dose radioiodine therapy in patients for treatment. **Materials and Methods:** The amount and radioactivity of waste water discharged from high dose radioiodine therapy in patients admitted at present hospital as well as the radiation density of the air released into the atmosphere from the high dose radioiodine therapy ward were measured. When the calculated waste water's radiation and its density in the released air satisfies the standard (management standard for discharge into water supply 30 Bq/L, management standard for release into air 3 Bq/m³) set by the Ministry of Education, Science and Technology, the maximum value of treatable high dose radioiodine therapy in patients was calculated. **Results:** When we calculated in a conservative view, the average density of radiation of waste water discharged from treating high dose radioiodine therapy one patient was 8 MBq/L and after 117 days of diminution in the water-purifier tank, it was 29.5 Bq/L. Also, the average density of radiation of waste water discharged from treating high dose radioiodine therapy two patients was 16 MBq/L and after 70 days of diminution in the water-purifier tank, it was 29.7 Bq/L. Under the same conditions, the density of radiation released into air through RI Ventilation Filter from the radioiodine therapy ward was 0.38 Bq/m³. **Conclusion:** The maximum value of high dose radioiodine therapy in patients that can be treated within the acceptance capability was calculated and applied to the current facility, and if double rooms are managed by improving the ward structure, it would be possible to reduce the accumulated treatment waiting period for radioiodine therapy in patients.

(Korean J Nucl Med Technol 2010;14(1):28-34)

Key Words : High dose radioiodine therapy, Management standard for discharge into water supply, Management standard for release into air

서 론

갑상선암은 특별한 증상이 없고, 아직 그 원인 또한 뚜렷이 밝혀지지 않았으며 여자보다 남자에게 5~10배 정도 많이 발생하는 암이다. 그러나 최근에는 일반인의 건강검진의 일

반화, 검진 장비의 발달 등으로 인해 조기 발견되고 있다. 갑상선암의 치료에는 외과적 수술로 갑상선암 조직을 제거하는 수술요법과 방사성동위원소인 I-131을 이용하는 방사선요법이 쓰이고 있다. 방사성옥소 치료는 생존율이 높고 완치가 가능해 갑상선암의 주된 치료방법으로 이용되고 있다.

방사성동위원소 I-131을 1.11E+9 Bq (30 mCi) 이상 사용하여 치료하는 경우를 고용량 방사성동위원소 치료라 하며, 이 경우 방사성옥소 치료 병실에 입원하여 치료하게 된다. 치료 환자는 2000년부터 해마다 10% 이상 증가하여 2007년에는 8,103명, 2008년에는 9,765명에 이르게 되었으며 앞으로 계속 증가할 전망이다(Table 1).

- Received: March 23, 2010. Accepted: April 7, 2010.
- Corresponding author: **Kyung Jae Lee**
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, 300 Gumi-Dong, Bundang-Gu, Seongnam-Si, Gyeonggi-Do, 463-707, Korea
Tel: +82-31-787-3905, Fax: +82-31-787-4018
E-mail: kjlee@snuh.org

이렇게 갑상선암 치료 환자가 증가함에 따라 고용량 방사성옥소 치료를 필요로 하는 환자 또한 매년 증가하고 있다. 그러나 갑상선암 환자가 늘어나는 만큼 이들을 치료할 수 있는 고용량 방사성옥소 치료 병실이 증설되지 않아 발생하는 갑상선암 환자를 모두 수용하지 못해 환자들의 치료를 위한 대기 기간만 늘고 있는 추세이다. 이는 방사성옥소 치료 병실을 만드는 데 많은 비용과 시간이 들기 때문이다. 따라서 많은 시간과 비용을 들이지 않으면서도 현재의 시설로 많은 방사성옥소 치료 환자를 치료할 수 있는 방법을 생각해 보아야 할 것이다. 이에 분당서울대학교병원에 입원하여 고용량 방사성옥소 치료를 받는 환자를 대상으로 하여 환자에게서 발생하는 오·폐수의 방사능과 정화조에 찬 오·폐수가 배수 중으로 방출 가능할 때까지 걸리는 감쇠 시간 및 방사성옥소 치료 병실에서 배기 filter를 통하여 방출하는 공기 중의 방사능 농도를 계산해 볼 것이다. 또한 계산된 값이 교육과학기술부 고시 제2008-31호 방사선방호 등에 관한 기준에서 제시하는 배수 중의 배출 관리 기준(30,000 Bq/m³=30 Bq/L)과 배기중의 배출 관리 기준(3 Bq/m³)을 만족하는지 알아보하고자 한다.

자체 엑셀계산식(NT1)에서 A는 정화조의 방사능 총량, T는 시간(day), L은 정화조 용량(Liter), Limit (mCi/Liter) 및 Limit (Bq/Liter)는 각각 Liter당 방사능을 mCi, Bq로 나타냈으며, 오·폐수의 유입을 막은 후 자연감쇠의 방법으로 감쇠될 때 Limit (mCi/Liter) 및 Limit (Bq/Liter)를 계산하였다.

복잡한 계산의 자체 엑셀계산식(NT1)을 보완하기 위해 자체 엑셀계산식(NT2)에서는 옥소병실 수와, 정화조 탱크의 용량 및 개수를 입력 시 자동으로 정화조 탱크의 만수 일자, 만수 시 방사능량 및 방출 분율을 계산할 수 있으며, 방출 분율이 100 이하일 경우에는 방류가 가능하도록 하였다.

자체 엑셀계산식(NT1, NT2)을 이용하여 교육과학기술부에서 고시하는 기준을 넘지 않는 범위 내에서 현재의 시설로 추가적으로 치료할 수 있는 병실의 최대치를 산출해 보고자 한다. 또한 분당서울대학교병원 외에 I-131 고용량 방사성옥소 치료를 하고 있는 병원에서 추가적으로 치료할 수 있는 병실의 수를 알아보하고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 대상

분당서울대병원 및 기타 병원의 고용량 방사성옥소 치료 병실에서 발생하는 오·폐수(배수)와 일반 대기 중으로 방출하는 공기(배기)를 대상으로 한다.

2. 방법

1) 방사능옥소 오·폐수의 방사능 계산

방사성옥소 입원 치료 환자의 갑상선으로 흡수되지 않은 I-131은 대부분 환자의 소변으로 배설되며, 일부는 대변, 땀 및 침으로 배설된다. 이렇게 배설된 분비물은 치료 병실에서 사용하는 물과 함께 오·폐수가 되어 방사성옥소를 배출한다. 배출된 방사성옥소는 차폐된 상태로 병원 정화조에서 충분히 자연붕괴된 이후 배출된다. 분당서울대학교병원의 2008년과 2009년 입원 환자 치료 계획에 따르면 월, 수, 금요일에 입원하여 2박 3일 또는 3박 4일 재원하고, 환자 당 7.4E+09-9.25E+09 Bq (200-250 mCi) 투여할 경우 하루에 300 L의 오·폐수를 배출한다(1박 2일 재원으로 2.96E+09 Bq (80 mCi)의 치료도 하고 있으나 2박 3일 재원하여 7.4E+09 Bq (200 mCi)를 치료하는 것보다 방출되는 오·폐수의 방사능이 적으므로 보수적으로 위와 같이 가정한다). 이 가정은 방사성옥소 치료 병실 계획 시 방사선안전보고서에 작성된 가장 보수적으로 접근한 수치로서 실제 치료 시 주입되는 선량은 이보다 낮다.

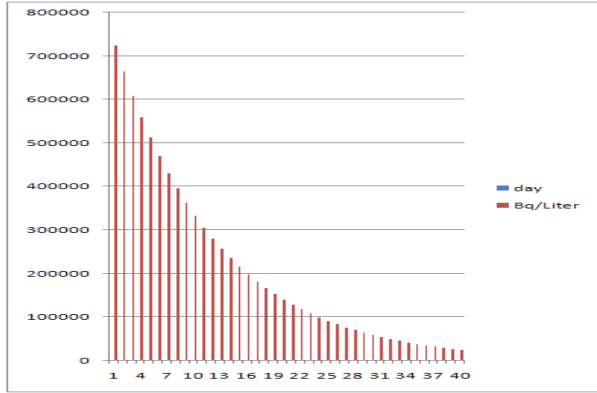
오·폐수의 방사능을 계산하기 위하여 다음과 같이 가정하여 정화조 모델을 수립한다.

- ① 정화조 내의 방사능은 유입되는 방사능에 의해 증가하고, 자연붕괴로 감소한다. 즉, 유입 방사능의 양은 입원 치료 환자로부터 배설물과 함께 배출되는 배출량에 따라 달라지고 증가하며, 감소량은 현재 정화조에 담겨 있는 방사성동위원소의 총량에 대한 자연붕괴에 의해 물리적반감기를 고려하여 감소한다. I-131의 물리적반감기를 고려한 시간-방사능 곡선은 다음과 같다

Table 1. Number of I-131 therapy for each year

| 치료방법 | 2000년 | 2001년 | 2002년 | 2003년 | 2004년 | 2005년 | 2006년 | 2007년 | 2008년 |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 외래 | | | | | | | | | |
| 입원 | 5,588 | 7,218 | 7,742 | 8,818 | 11,710 | 9,228 | 9,060 | 11,599 | 15,120 |
| 합계 | 5,588 | 7,219 | 7,742 | 8,818 | 11,710 | 13,243 | 15,603 | 19,702 | 24,885 |
| 증가율 | - | 29.2% | 7.4% | 13.9% | 32.8% | 13.1% | 17.9% | 26.3% | 26.3% |

Table 2. Time-radioactivity curve of I-131



(Table 2).

- ② I-131 치료를 받는 환자들을 위한 정화조 시설의 탱크들은 독립적으로 존재하고, 탱크 하나가 가득 찬 뒤 다음 탱크를 채운다. 다른 탱크를 채울 때, 이미 가득 찬 탱크에는 방사능 폐수가 더 이상 유입되지 않으며, 따라서 정화조 내 방사능은 다른 탱크가 모두 가득 찰 때까지 자연붕괴한다.
- ③ 정화조는 넘침을 방지하기 위해서 총 용량의 80%까지만 채운다. 80%까지 채워진 정화조는 자연감쇠를 위해 더 이상의 오·폐수의 유입을 차단하고, 다른 정화조에 오·폐수를 채운다. 분당서울대학교병원 정화조의 크기는 53,000 L로서 3개의 정화조를 갖추고 있다.
- ④ 월요일부터 일요일까지 한 주간 입원 치료할 경우 치료 가능한 최대용량은 2.41E+10Bq (650 mCi)였다(2박3일 7.4E+09 Bq (200 mCi)×2, 3박4일 9.25E+09 Bq (250 mCi)X1). 치료량은 주간 입원 계획에 따라 가변적일 수 있으므로 대표적, 보수적 치료량으로 정하였다.
- ⑤ ICRP 94에 의해서 I-131 투여 후, 대략 투여한 방사능의 55%가 치료 후 첫날에, 17%가 둘째 날, 그리고 5%가 셋째 날에 배출된다고 가정하여 입원해 있는 동안 방사성동위원소의 77%가 배출되며 보수적으로 계산하기 위하여 방출된 방사성동위원소의 전량이 오·폐수로 방출된다고 가정한다.
- ⑥ 하루에 발생하는 오·폐수의 양은 300 L이다. 입원 환자에 따라 발생하는 오·폐수의 양이 가변적일 수 있으므로 보수적으로 300 L로 가정한다.
- ⑦ 감쇠 상수는 I-131 반감기 8.021로부터 $\log(2)/8.021$ 로 계산에 넣는다.
- ⑧ 정화조에서 일반배수 증으로 배출하는 오·폐수의 적절한 방사능 농도는 교육과학기술부고시 제2008-31호

방사선방호 등에 관한 기준에 의해 제시된 30,000 Bq/m³ (30 Bq/L) 이하로 제한한다.

2) 공기 중의 방사능 농도의 계산

I-131은 비산성이 있으므로 방사성옥소 치료 환자가 I-131을 섭취 시 비산되어 일반 공기 증으로 배출되는 공기 중의 방사능 농도를 교육과학기술부고시에서 제시하는 기준 미만으로 낮추어 방출해야 한다. 공기 중의 방사능 농도를 계산하기 위하여 다음과 같은 모델을 가정하여 계산한다.

- ① 방사성옥소 치료 병실의 외벽은 밀폐되어 있고, 음압 상태를 항시 유지하고 있으며 공기의 흐름은 출입구에서 배기그릴로 일정하게 흐른다고 본다. 일반 공기증으로 방출되기 전에 RI filter를 거쳐서 방출된다.
- ② 분당서울대학교병원 방사성옥소 치료 병실의 배기량은 3,000 m³/H이다.
- ③ I-131의 일일 최대사용량은 9.25E+09 Bq (250 mCi)이다.
- ④ 3단 1열의 RI filter를 설치하였으며 RI filter를 거쳐서 방출된 공기의 방사능 농도는 투과율(HEPA filter투과율×Charcoal filter투과율)을 고려하여 계산한다.
- ⑤ 방사능 농도는 교육과학기술부고시 제2008-31호 방사선방호 등에 관한 기준에 의해 제시된 3 Bq/m³ 이하로 제한한다.

결 과

1. 배수 관리 기준을 고려한 병실의 최대치 산출

정화조 내 폐액의 방사능 농도는 초반에 급격히 증가하였고, 충분한 시간이 경과한 후에는 방사능 유입량과 방사능 자연 붕괴량이 균형을 이루었다. 분당서울대학교병원의 정화조 1기의 용량은 53톤이지만, 넘침을 방지하기 위해서 80%인 42.5톤까지 채우도록 하였다.

환자 1명을 치료하여 42.5톤까지 정화조가 차는데 141일이 걸렸고, 해당 정화조에 유입 없이 저류 방사능이 자연 붕괴하기 시작하여, 117일이 지나자 안전 규정에 따른 기준 양 30,000 Bq/m³=30 Bq/L보다 작아지는 것으로 계산된다. 위의 정화조 모델을 가정으로 하여 엑셀 계산식(N11)을 이용하여 검증하면 결과는 다음과 같다(Table 3).

환자 2명을 치료하여 42.5톤까지 정화조가 차는 데 70일이 걸렸으며, 125일이 지난 후에 안전규정에 따른 기준 양 30,000 Bq/m³=30 Bq/L보다 작아지는 것으로 계산된다. 위의

정확조 모델을 가정으로 하여 엑셀 계산식(NT1)을 이용하여 검증하면 결과는 다음과 같다(Table 4).

좀 더 편리한 검증과 치료 병실의 최대치를 계산하기 위하여 자체 개발한 엑셀계산식(NT2)을 사용하여 병실의 최대치를 다음과 같이 쉽게 계산할 수 있다(Table 5).

NT2 계산식에 병실 수와 탱크 용량, 탱크 개수 그리고 1일 물 사용량을 입력하면 자동으로 계산되며 방출 분율이 100을 넘지 않는 경우 오·폐수의 방류가 가능하다. 현재의 정확조의 크기와 개수를 고려하였을 경우, 배수 관리 기준을 만족하는 범위 안에서 최대 수용 가능 병실 수는 2.5실 까지 가능한 것으로 계산된다.

2. 배기 관리 기준을 고려한 환자의 최대치 산출

분당서울대학교병원에서 배기 filter를 투과한 공기 중의 방사능 농도는 아래와 같은 식으로 계산된다. 치료 환자 1명이 입원하였을 경우,

$$\text{배기구 평균 농도(Bq/m}^3\text{)} = (\text{최대 비산량(Bq/day)} \times \text{투과율}) / \text{총배기량(m}^3\text{/day)}$$

$$\text{- 최대 비산량(Bq/day)} = \text{최대 사용 예상량(Bq/day)} \times \text{비산율}$$

$$\text{- 총 배기량(m}^3\text{/week)} = \text{배기 능력(m}^3\text{/h)} \times 8(\text{h/day})$$

(교육과학기술부고시 제2002-23호 제6조에 의거 1주간으로 계산)

Table 3. Inspection by NT1

| a(mCi/day)=650mCi×77/7day | lamda=ln2/8.021day | A | T(day) | L(liter) | Limit (mCi/liter) | Limit (Bq/liter) | |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|--------|----------|-------------------|------------------|--------|
| 71.5 | 0.863982 | 68049 | 1 | 300 | 0.228 | 8448127 | |
| | | 131.32 | 2 | 600 | 0.218 | 8098497 | |
| | | 188.95 | 3 | 900 | 0.209 | 7768160 | |
| | | 241.81 | 4 | 1,200 | 0.201 | 7455917 | |
| | | 290.29 | 5 | 1,500 | 0.193 | 7160652 | |
| | | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | |
| | | 827.55 | 139 | 41,700 | 0.0198 | 734284 | |
| | | 827.55 | 140 | 42,000 | 0.0197 | 729040 | |
| | | 오·폐수의 유입을 막고 자연붕괴시작 → | 827.55 | 141 | 42,300 | 0.0195 | 723869 |
| | | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | |
| | | 0.043 | 255 | | 1.032E-06 | 38.2 | |
| | | 0.040 | 256 | | 9.471E-07 | 35.0 | |
| | | 0.036 | 257 | | 8.687E-07 | 32.1 | |
| | | 0.033 | 258 | | 7.968E-07 | 29.5 | |

Table 4. Inspection by NT1

| a(mCi/day)=650mCi×77/7day | lamda=ln2/8.021day | A | T(day) | L(liter) | Limit (mCi/liter) | Limit (Bq/liter) | |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|--------|----------|-------------------|------------------|---------|
| 143 | 0.0863982 | 136.99 | 1 | 600 | 0.228 | 8448127 | |
| | | 262.65 | 2 | 1,200 | 0.218 | 8098497 | |
| | | 377.91 | 3 | 1,800 | 0.209 | 7768160 | |
| | | 483.62 | 4 | 2,400 | 0.201 | 7455917 | |
| | | 580.59 | 5 | 3,000 | 0.193 | 7160652 | |
| | | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | |
| | | 1,650 | 68 | 40,800 | 0.0404 | 1496757 | |
| | | 1,650 | 69 | 41,400 | 0.0398 | 1475409 | |
| | | 오·폐수의 유입을 막고 자연붕괴시작 → | 1,650 | 70 | 42,000 | 0.0393 | 1454643 |
| | | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | |
| | | 0.043 | 192 | | 1.039E-06 | 38.4 | |
| | | 0.040 | 193 | | 9.534E-07 | 35.2 | |
| | | 0.36 | 194 | | 8.745E-07 | 32.3 | |
| | | 0.033 | 195 | | 8.021E-07 | 29.7 | |

Table 5. Maxium value calculation by NT2

| | | 핵종 | I-131 |
|-----------|------------------------------------|----------|----------|
| 기본 정보 | 병실수 | | 2 |
| | 총사용량(mCi/yr) | | 42,900 |
| | 반감기(day) | 8.04 | |
| | 1개 탱크용량(ton) | | 53 |
| | 탱크의 개수 | | 3 |
| | 1일 물사용량(ℓ) | | 600 |
| | 배수중의 방출제한 값(Bq/m ³) | 3.00E+04 | |
| 1차 계산값 | 실탱크 용량(ton) | | 42.4 |
| | 1번 탱크 만수일자(Day) | | 70 |
| | 2,3번 탱크 만수일자(Day) | | 120 |
| | 동위원소 1일 사용량(mCi) | | 143 |
| 2차 계산값 | 1번 탱크 만수시 방사능량(Bq/m ³) | | 1.51E+09 |
| | 2, 3번 탱크 만수 후 1번 탱크 방사능량 | | 3.62E+02 |
| | 방출분율(%) | | 12 |
| | | | |

방출분율이 100이하일 경우 방류가능, 100이상 방류불가

Table 6. Maxium value calculation by NT2

| B병원 | | | C병원 | | |
|-----------|------------------------------------|----------|-----------|------------------------------------|----------|
| 핵종 | | I-131 | 핵종 | | I-131 |
| 기본 정보 | 병실수 | 6 | 기본 정보 | 병실수 | 3 |
| | 총사용량(mCi/yr) | 154285.7 | | 총사용량(mCi/yr) | 44550 |
| | 반감기(day) | 8.04 | | 반감기(day) | 8.04 |
| | 1개 탱크용량(ton) | 100 | | 1개 탱크용량(ton) | 27 |
| | 탱크의 개수 | 3 | | 탱크의 개수 | 3 |
| | 1일 물사용량(L) | 1200 | | 1일 물사용량(L) | 300 |
| | 배수중의 방출제한 값(Bq/m ³) | 3.00E+04 | | 배수중의 방출제한 값(Bq/m ³) | 3.00E+04 |
| 1차 계산값 | 실탱크 용량(ton) | 80 | 1차 계산값 | 실탱크 용량(ton) | 21.4 |
| | 1번 탱크 만수일자(day) | 67 | | 1번 탱크 만수일자(day) | 73 |
| | 2, 3번 탱크 만수일자(day) | 142 | | 2, 3번 탱크 만수일자(day) | 153 |
| | 동위원소 1일 사용량(mCi) | 346.5 | | 동위원소 1일 사용량(mCi) | 148.5 |
| 2차 계산값 | 1번 탱크 만수시 방사능량(Bq/m ³) | 1.94E+09 | 2차 계산값 | 1번 탱크 만수시 방사능량(Bq/m ³) | 3.08E+09 |
| | 2, 3번 탱크 만수 후 1번 탱크 방사능량 | 9.66E+03 | | 2, 3번 탱크 만수 후 1번 탱크 방사능량 | 5.77E+02 |
| | 방출분율(%) | 30 | | 방출분율(%) | 20 |

→ 최대 비산량(Bq/week)=9.25E+09 Bq (250 mCi)×3.7×10⁷ Bq/mCi/day×10⁻³
 총 배기량(m³/week)=3,000 (m³/h)×8 (h/day)
 배기구 평균 농도(Bq/m³)=9.25 (MBq/day)×10⁻³/24,000 (m³/day)=0.385 Bq/m³

0.385 Bq/m³은 교육과학기술부고시에서 제시하는 배기 중의 배출 관리 기준(3 Bq/m³)을 만족하는 값이다. 배기 시설의 경우라면 현재의 시설에서 추가 없이 7병실까지 설치 가능한 것으로 계산되었기 때문에 법적 기준인 배기 관리 기준에 충족하므로 더 이상 배기에 대한 부분은 언급하지 않겠다.

I-131 고용량 옥소 치료 병실을 운영하고 있는 다른 병원들과 비교해 보고자 분당서울대학교병원 이외의 병원에 대하여 고용량 옥소 치료 환자의 최대치를 산출해 보았다. 위와 같은 가정을 하고 엑셀계산식(NT2)을 이용하여 병실의 최대치를 산출하였다(Table 6). 계산된 각 병원의 결과는 다음과 같다(Table 7).

배수 시설만을 고려 할 경우 조사한 4개 병원 모두 현재 운영 중인 병실에 추가하여 운영할 수 있는 여유분을 가지고 있다. 또한 배기 시설은 4개 병원 모두 RI filter를 거쳐서 대기 중으로 공기를 방출하기 때문에 모두 배출 관리 기준(3 Bq/m³)을 만족시키고 있다.

Table 7. Max number of therapy rooms that can accommodate patients

| 병원 | 정화조 용량(ton) | 정화조수 | 방출 오페수량(L) | I-131 치료용량(mCi) | 기존 병실수 | 최대 수용가능 병실수 |
|----|-------------|------|------------|-----------------|--------|-------------|
| A | 40 | 3 | 270 | 200 | 1 | 2 |
| B | 100 | 3 | 200 | 175 | 3 | 6 |
| C | 27 | 3 | 100 | 150 | 2 | 3 |
| D | 50, 50, 25 | 3 | 300 | 150 | 1 | 2 |

고찰 및 결론

연구를 통해 분당서울대학교병원은 자체 치료 현황을 바탕으로 정화조에서 오·폐수를 배출할 때 배수액 방사능 농도 모델을 설정하여 자체 엑셀계산식(NT1, NT2)을 이용하여 현실적인 산출 값을 구한 결과 안전 기준에 부합함을 알 수 있었으며, 기타 병원들도 최대치 산출 결과 법적 기준치보다 많은 여유분을 확보하고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 배기중의 배출 관리 기준을 적용하여도 역시 안전 기준에 부합함을 알 수 있었다.

또한 계산 과정에서 환자가 하루에 사용하는 물의 양에 따라 최대 치료 가능한 환자 수가 유동적임을 알 수 있었다. 정해진 정화조 용량에서 물의 양을 줄이거나 가능한 큰 크기의 정화조를 확보할 수 있다면 폐액 방사능의 자연붕괴 시간을 확보할 수 있어서 안전 기준을 지키면서도 환자 수용 능력을 증가시킬 수 있었다. 또한 한 정화조를 채우고 다른 정화조를 채우는 방식으로 자연붕괴하는 시간을 획득하기 때문에 같은 용량의 정화조라도 여러 개로 나누어 관리하면 더 많은 효과를 얻을 수 있을 것이다. 예를 들면, 100 L의 정화조 3개보다 50 L의 정화조 6개가 보다 많은 자연붕괴 시간을 획득할 수 있어 많은 치료 가능한 환자의 수를 늘릴 수 있다. 따라서 앞으로 고용량 방사성옥소 치료 시설을 설치하는 병원에서는 시설 내의 정화조를 가능한 여러 개로 분리할 필요가 있다.

또한 위의 조사 결과에서 알 수 있듯이 분당서울대학교병원뿐만 아니라 다른 병원에서도 현재의 시설로도 더 많은 병실을 운영할 수 있음을 알았다.

지금까지 배수 설비나 배기 설비의 추가 없이 치료 가능한 고용량 옥소 치료 환자의 수를 자체 엑셀계산식(NT1, NT2)을 이용하여 계산해 보았다. 이는 방사성옥소 치료 병실 설치 시 제출한 방사선안전보고서에 있는 가장 보수적인 값으로 계산한 것으로 실제 사용하는 I-131의 용량과 실제 발생하는 오·폐수의 양을 계산하는 데 적용한 값보다 훨씬 작다. 이는 이론이 아닌 실제에서는 훨씬 더 많은 옥소 치료 환자를 유지할 수 있음을 의미한다. 따라서 위와 같은 계산

으로 병원에서는 현재 치료할 수 있는 방사성옥소 치료 환자의 최대치를 파악하여 교육과학기술부 고시에서 제시한 값을 충분히 만족하는 범위 안에서 환자를 추가적으로 치료할 필요가 있다. 이는 결국 적체되어 있는 방사성옥소 치료 환자의 치료 대기 기간을 단축하는 데 크게 작용할 것이다.

이를 바탕으로 고용량 입원 환자의 대기 기간을 단축시키기 위해 다음과 같이 제안한다.

1. 치료 병실의 다인실화

우리나라는 현재 1인 1실의 옥소 치료가 보편화된 반면, 독일 및 미국 등은 이미 치료 병실을 다인실화하여 운영하고 있다. 국제적인 흐름에 맞게 치료 병실을 다인실화할 필요가 있다. 그럴 경우 입원 치료 대기를 해소하여 환자의 치료기간을 단축시킬 수 있다. 또한 분할 치료를 지양하여 외래 환자를 줄임으로써 환경 방사능량을 저감하는 효과를 기대할 수 있다. 물론 외부 차폐로 인한 방사선의 효과가 없도록 차폐하여야 함은 당연하다.

먼저 치료 병실의 다인실화를 위한 선결 조건에는 환자간의 상호피폭이 정당화되어야 하는 바, 이를 위해 환자간의 상호 피폭을 의료상 피폭으로 인정하거나, 환자를 ‘수시출입자’ 개념에서 평가하고, 일반인의 연간 유효 선량 값의 인정 범위를 재해석하는 방법 등을 강구해야 할 것이다. 방사성옥소 치료 환자는 서로 치료로 혜택을 보는 사람들로서 상대방이 방사선원으로 I-131감마선을 받기는 하지만, 이 감마선 피폭을 일반인의 기준으로 규제하는 것은 불합리하며 거시적인 관점의 ALARA (as low as reasonably achievable)에도 맞지 않는다고 본다.

또한 다인실을 운영하면 환자의 소외감과 고립감을 해소, 완화하는 효과도 기대된다.

2. 배출 기준 조정

현행 우리나라의 배수 중 배출 제한치는 교육과학기술부 고시 제2008-31호 방사선방호 등에 관한 기준에서 정한바와

같이 30 Bq/L이다. 그러나 이 수치는 세계보건기구의 음용수 권고기준인 10 Bq/L에 버금가는 수준으로 너무 높게 설정되어 있다. 미국의 경우는 300 Bq/L을 제시하고 있는 바, 국제적인 기준에 맞게 배출기준을 좀 더 높게 설정해야 할 필요성이 있다.

3. 발생하는 오·폐수의 최소화

우선 치료 병실의 변기와 세면대를 항공기 화장실의 구성으로 바꾼다. 독일의 경우 이미 같은 화장실 구성으로 20개 병상을 80 톤의 정화조로 해결하였으므로 이를 참조한다. 화장실 변기는 진공 흡입식으로, 세면대는 접촉 후 자동으로 물 흐름이 중단되는 방식으로 한다. 이렇게 환자의 물 사용량을 줄이고 이를 일정기간 모니터링하여 실제 물 사용량의 현실적 추정치를 구하고 이 추정치를 바탕으로 본 연구에서 제공한 자체 엑셀계산식(NT1, NT2)을 이용하여 각 병원에 맞는 변수를 대입하여 정화조 배출폐수의 방사능 농도가 안전관리기준을 넘지 않는 최대 환자수와 주간 치료계획을 정한다.

4. 큰 용량의 정화조 확보와 정화조 분리

새롭게 방사성옥소 치료 병실을 운영하고자 할 때는 가능한 큰 크기의 정화조를 확보하여야 오·폐수의 자연감쇠 시간을 길게 확보할 수 있다. 반면, 큰 크기의 정화조라 할지라도 100 L의 정화조 3개보다 50 L의 정화조 6개가 더 많은 자연감쇠 시간을 확보할 수 있다. 따라서 새로 시설을 설치할 때에는 보다 큰 용량의 정화조를 확보하고 분리해서 설치할 것을 제안한다.

요 약

갑상선암 환자가 증가함에 따라 고용량 방사성옥소 치료 환자 또한 적체되고 있는 추세이다. 따라서 현재 시설의 수

용 능력을 고려하여 치료할 수 있는 병실의 최대치를 산출해 보고자 한다.

본원에 입원하는 고용량 방사성옥소 치료 환자의 방출 오·폐수량과 오·폐수의 방사능을 측정하고 고용량 방사성옥소 치료 병실에서 대기 중으로 방출하는 공기 중의 방사능 농도를 측정한다. 측정된 오·폐수의 방사능과 방출하는 공기 중의 농도가 교육과학기술부에서 고시하는 기준인 배수 중의 배출 관리 기준 30 Bq/L 및 배기 중의 배출관리기준 3 Bq/m³을 만족할 때 치료 가능한 병실의 최대치를 계산한다.

가장 보수적인 수치로 계산하여 환자 1명을 치료할 경우 배출되는 오·폐수의 평균 방사능의 농도는 8 MBq/L였으며, 정화조에서 117일의 감쇠 시간을 거친 후의 평균 방사능의 농도는 29.5 Bq/L였다. 환자 2명을 치료할 경우 배출되는 오·폐수의 평균 방사능의 농도는 16 MBq/L였으며, 정화조에서 70일의 감쇠 시간을 거친 후의 평균 방사능의 농도는 29.7 Bq/L였다. 또한 같은 조건일 경우 치료 병실에서 RI 배기 filter를 통과하여 방출된 공기 중의 방사능 농도는 0.38 Bq/m³였다.

수용 능력을 고려하여 치료할 수 있는 고용량 방사성옥소 치료 병실의 최대치를 산출하여 현재의 시설에 적용하고 병실 내 구조개선 등으로 2인실로 운영한다면 적체되어 있는 환자의 치료 대기 기간을 단축할 수 있으리라 사료된다.

REFERENCES

1. 교육과학기술부고시 제2008-31호 '방사선방호등에 관한 기준 고시' 별표5. 핵종별 규제면적 관련 수량 및 농도.
2. 국내 핵의학분야 종사자 중심의 내부피폭 기초자료 획득 및 I-131 방사성의약품 치료시설 실태조사를 통한 이용활성화 연구. *한국원자력안전기술원* 79-103.
3. 우리나라에서 방사성옥소입원치료 관리 최적화. *대한핵의학 회지*, 2008;42:261-266.
4. 교육과학기술부 고시 제2005-35호 의료분야의 방사선안전관리에 관한 기술기준 제12조, 제13조.
5. Valentine, J. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. *Annals of the ICRP* 2004;34:1-79.