

고선량을 근접치료기의 선원교정과 치료실주변 방사선량 측정

원광대학교 의과대학 치료방사선과학교실, 전주 예수병원 치료방사선과*

이 정 옥·강 정 구*·문 성 록

= Abstract =

Calibration and Radiation Survey of High Dose Rate Remote Afterloading System

Jeong Ok Lee, M.D., Jeong Ku Kang, M.D.* and Sun Rock Moon, M.D.

Department of Radiation Oncology, Wonkwang University, School of Medicine

*Department of Radiation Oncology, Chonju Presbyterian Medical Center**

High Dose Rate Remote Afterloading system was installed at Wonkwang University Hospital in January 1994. In this report, the calibration of a Gammamed 12-i High Dose Rate Remote Afterloading system and the radiation survey around the facility after design and construct a shielding room are discussed. The radiation survey of the facility indicates that the use of ordinary concrete shielding of existing room will provide adequate shielding. Also, the methodologies for performing source calibration are presented.

Key Words: High Dose Rate Afterloading, Radiation survey, Source calibration

서 론

최근의 방사선 치료의 경향은 선형가속기에 의한 외부조사와 병행하여 밀봉선원을 병소부위에 삽입하는 근접치료 방식이 널리 이용되고 있다. 밀봉선원도 저선량을 선원으로부터 고선량을 선원으로 대체되고 있으며 원격조종 아프터로딩 방식이 주류를 이루고 있다. 최근 본원에 도입된 원격조종 아프터로딩 시스템은 Isotopen-technik Dr. Sauerwein GMBH에서 제작된 Gammamed 12-i로써 고선량을 근접치료장치이다. 고선량을 원격조정 아프터로딩을 사용하면 수작업의 저선량을 아프터로딩에 의한 치료방법보다 치료시간이 짧고 분할조사가 가능하며, 치료종사자에게는 방사선 피폭의 우려가 거의 없다는 장점이 있다. Gammamed 12-i 아프터로딩 시스템은 고선량율인

10Ci의 Ir-192를 선원으로 사용하는데, 선원은 길이 3.5mm 지름 0.6mm인 원통형펠렛(pellet)으로 되어 있고 레이저빔으로 가공한 스테인레스 스틸로 쌓여져 있다. 스테인레스 스틸 펠렛은 길이 5.6mm 지름 1.1mm의 크기로 이 펠렛은 쉽게 구부러질 수 있는 와이어의 앞부분에 연결되어 있다. 이 장치의 전면에는 24개의 어플리케이션을 동시에 연결할 수 있도록 24개의 인덱서(indexer)가 배치되어 있다. Gammamed 아프터로딩 시스템의 안전장치로는 여러개의 차단장치에 연결되어 정전이나 치료중 발생하는 긴급상황에서 선원이 자동으로 안전한 저장함에 되돌아가고 그때까지의 모든 정보는 자체 충전배터리가 작동하여 컴퓨터에 입력시키게 되어있다.

저자들은 1994년 1월 원광대학교병원에 도입된 원격조종 아프터로딩 시스템을 안전하게 설치하기 위하여 기존의 지하층에 차폐장치를 보강한 치료실을 설계

하였다. 이에 따라 공사완료후 치료실주변의 누설선량에 대한 방사선탐사를 하였으며 원자력법에서 허용하는 기준선량 이하인지를 확인하고자 하였다. 또한 Ir-192선원의 방사능을 교정하기 위하여 공기커마를 측정하여 방사능을 계산하였다¹⁾.

재료 및 방법

1. 치료실의 설계 및 방사선 누설선량측정

원자력법에서 정하는 차폐물에 대한 허용피폭선량의 규제는 방사선구역이 1주당 1 mSv, 일반 구역은 1주당 0.1 mSv 이하이다²⁾. 이 기준에 맞추기 위하여 다음과 같은 차폐계산에 의해 기존의 건물에 콘크리트로 차폐시설을 하였다³⁾.

$$P = \frac{WUT}{d^2} B, \quad (1)$$

(1)식에서 P는 관심 점에서의 선량, W는 주당 총 사용선량, U는 사용인자, T는 점유도, B는 차폐시설을 필요로 하는 투과인자이고, d는 선원과 관심점 사이의 거리이다. 본 계산에서 적용한 납과 콘크리트의 십가층(TVL)은 각각 20mm, 14.7cm으로 하고 사용인자와 점유도는 1을 취하였다. 계산결과를 Table 1에 나타냈는데, 실제 건축시 납보다는 콘크리트를 사용하여 차폐하는 것이 경제적이어서 콘크리트로 Fig. 1과 같이 건축하였다.

계산에 사용된 선원의 위치는 10 Ci(370 GBq)의

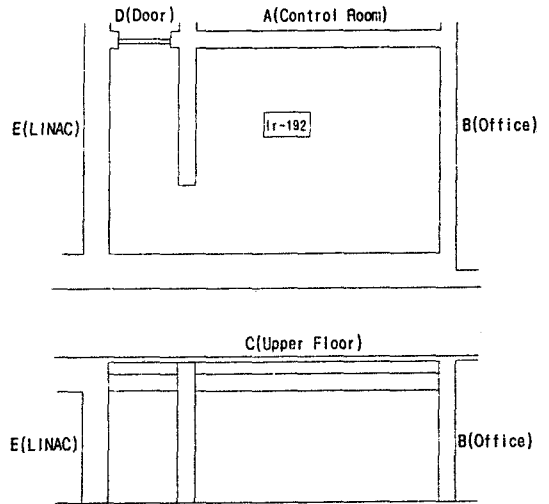


Fig. 1. Schematic diagram of HDR brachytherapy room and survey measurement locations.

Ir-192 선원이 치료실의 바닥에서부터 1m 위의 지점에 있는 Gammamed 12-i의 헤드와 연결된 튜브카테타에 자리잡고 있다. 길이 1300mm 카테타의 한 지점에서 선원을 정지시켜 놓고 교정된 가이거물러 탐사기(GM suvery meter)를 이용하여 Fig. 1에서 표시한 여러 지점의 조사선량을 측정하였다. 선원의 사용시간은 환자당 10 Ci의 선원으로 10분으로 정하고, 주당 60명 즉 일당 12명씩 치료하고 주당 2시간

Table 1. Calculation of Shielding in Treatment Room

Location	Tpb(mm)	Tconc.(cm)	Bt	d(m)	P(mrem/wk)
A	68	50	3.9×10^{-4}	3	2.5
B	68	50	3.9×10^{-4}	3.5	1.9
C	40	12+50	6.1×10^{-5}	3.1	0.4
D	5	50	2.2×10^{-4}	4.6	0.6
E	0	100+50	6.3×10^{-11}	2.8	4.6×10^{-7}

A: Control room, B: Office, C: Upper floor, E: LINAC room, T: Tenth value layer, Bt: Transmission factor, d: Distance, P: Dose

Table 2. Exposure Rate Around the Treatment Room

Location	A	B	C	D	E
Exposure rate(mR/h)	0.4	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Exposure rate(mR/wk)	0.8	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6

Table 3. Ionization Readings and Calculated Activity

Ionization chamber (Calibration factor)	0.6cm ³ Farmer type (5.368R/nC)	0.3cm ³ Rigid stem (11.05R/nC)
Readings(nC/min)	0.3739	0.1832
Activity(Ci)	10.368	10.421

의 선량측정 및 기타 연구를 위한 시간으로 계산하였다. 치료실은 Fig. 1과 같은 구조로 설계되었으며, 또한 방사선 선원이 장착된 아프트로딩 시스템의 누설선량 측정은 시스템에서 1m 떨어진 거리에서 각각 측정하였다.

2. 선원의 측정 및 방사능 계산

밀봉선원의 측정에서는 기하학적 오차가 중요한 인자가 되고 있다. 따라서 측정 시스템의 기하학적 구조와 재현성이 매우 중요하다. 본 실험에서는 Ir-192의 공기 커마울을 측정하기 위하여 Isotopentechnik Dr. Sauerwein사에서 제작한 측정기구를 사용하였다. 이 기구를 이용하여 선원과 전리함의 위치 등의 기하학적인 구조를 일정하게 유지하였다. 선량측정에 사용된 장비는 검교정된 전기계(Victoreen 525)와 PTW의 Rigid stem 전리함(0.3cm³)이었다. 전리함과 튜브카테타 사이는 20cm의 거리를 두고 공기 중에서 평행하게 놓고 측정하였다. 측정시스템의 누설선량은 선원이 없는 상태에서 60초동안 측정하였다. 측정기구는 치료실의 벽이나 바닥, 천정에 의한 산란을 최소화하기 위해 치료실내의 중앙에 설치하였다. 선원과 전리함사이의 거리가 20cm 조사선량율은 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다⁴⁾.

$$X = \frac{R_i C_{10} C_{cal}}{t} \quad (2)$$

(2)식에서 X는 공기 중에서의 조사선량율(R/sec), R_i는 전기계의 측정값에서 누설선량을 제거한 값, t는 측정시간, C₁₀는 온도와 기압의 보정계수, C_{cal}는 전리함의 교정계수(R/C)이다. 공기커마(air Kerma strength)는 (1)식에서 결정된 조사선량율을 이용하여 다음과 같은 식으로 결정하였다⁵⁾.

$$S_k = X \left(\frac{W}{e} \right) l^2 \quad (3)$$

(3)식의 S_k(mGy m²/h)는 공기커마, X(R/h)는 (1)식에서 결정된 조사선량율, (W/e)는 0.876 Gy

/R이고, l은 선원과 전리함사이의 거리이다.

측정한 결과에서 Ir-192선원의 방사능을 계산하기 위해 10 Ci의 Ir-192선원의 공기중 커마울값 40.84 mGy m²/h의 값을 이용하고 식 (2)를 이용하여 계산한 값으로 Ir-192선원의 방사능을 구하였다. 본 연구에서 채택한 Ir-192선원의 공기중 커마울값이 기존에 보고된 값⁵⁾(41.08 mGy m²/h)보다 약간 작은 이유는 본 시스템에 정착된 선원이 스테인레스 스틸로된 캡슐에 쌓여 있기 때문이다.

결 과

1. 방사선 누설 선량측정

원격조종 아프트로딩 시스템을 설치한 근접치료실 주위의 여러 지점에서의 조사선량을 측정 결과를 Table 2에 나타냈다. 측정된 이들의 조사선량율은 원자력법에서 정한 일반구역의 조사선량인 주당 0.1 mSv에 훨씬 못 미침을 알 수 있다. 원격조종 아프트로딩 시스템에서 선원이 저장용기내에 있을 때의 누설선량은 시스템에서 1m 떨어진 거리에서 측정된 결과 0.1 mR/h 이하로 나타났다.

2. 선원의 측정

선원과 전리함 사이의 거리를 20cm로 하여 측정하고 조사선량율을 다음과 같은 조건하에서 계산하였다. 온도는 22.5°C, 대기압은 760.5 mmHg, 0.6cm³ Farmer type 전리함의 교정계수는 5.381×10⁶R/C 일 때의 조사선량율은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$X = \frac{0.3739nC \times 5.381 \times 10^6 R/C}{60sec} \quad (4)$$

$$= 2.014R/min$$

(4)식을 이용하여 선원과 전리함 사이의 거리가 1m일 때의 공기중 커마울을 계산하였고 10 Ci일 때의 공기중 커마울값 40.84 mGy · m²/h를 대입하여 Ir-192의 방사능을 Ci 단위로 다음과 같이 구하였다.

$$S_k = 2.014R/\text{min} \times 8.76\text{mGy}/R \times \left(\frac{20}{100\text{m}}\right)^2 \quad (5)$$

$$\times 60\text{min}/\text{h} = 42.342\text{mGy} \times \text{m}^2/\text{h}$$

$$A = \frac{42.342}{40.84} \times 10\text{Ci} = 10.368\text{Ci} \quad (6)$$

또한 위와 동일한 조건에서 전리함을 체적 0.3cm³의 전리함으로 교체하여 측정하였을 때의 조사선량을, 공기중 커마와 방사능은 각각 2.024R/min, 42.56 mGy · m²/h, 10.421 Ci이었다. Ir-192의 선원에 대해 Isotopentechnik Dr. Sauerwein에서 제작한 측정 시스템에 0.6cm³, 0.3cm³의 전리함을 이용하여 측정된 결과를 Table 3에 나타냈다. 0.6cm³ Farmer type 전리함으로 측정된 값은 10.368 Ci였고 0.3 cm³의 전리함으로 측정된 값은 10.42 Ci였다. 두 전리함으로 측정된 결과 사이에는 약 0.5%의 차이가 나타났다.

고 찰

고선량을 원격조종 아프터로딩 시스템을 사용하기 위하여 치료실을 새로 설계하여 건축할 경우 원자력법에서 정한 규제선량(0.1 mSv/week)이하로 하기 위한 설계모형의 제시가 필요하다. 특히 기존건물에 방사선 차폐시설을 보강하여 치료실로 만들 경우 치료실 주위의 여러 지점에 대한 누설선량의 계산 및 측정이 필요하다. 따라서 본 연구에서 계산한 방식 및 측정방법은 향후 고선량을 아프터로딩 시스템을 설치하는 기관에서 참고가 될 수 있으리라 생각된다. 또한 기존시설의 개조시 납블럭을 이용한 차폐와 콘크리트를 이용한 차폐시의 공사비, 공사기간, 공사의 수월성 등을 사전에 비교하여 볼 수 있어 공사방법의 선택에 유용하리라 생각된다. 실제 본원에서는 납블럭과 콘크리트 보강공법 사이의 선택에서 본 연구에서 행한 차폐계산을 통해 공사비의 상당한 감축효과를 보았다.

밀봉 소선원의 방사능 측정방법은 점차 사용이 확대되어 가는 Ir-192 선원의 교정모델로 여러병원에서 손쉽게 사용할 수 있다. 특히 밀봉선원의 측정에서 기하학적인 배치구조가 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서 사용한 Isotopentechnik Dr. Sauerwein 시스템을 이용한 선원의 강도측정은 앞으로 여러 병원에서 널리 사용할 수 있는 방법이라 생각된다. 실제 본 연구에서도 측정된 결과 재현성이 0.5% 이내로 아주 우

수하였다. 또한 선원의 방사능을 생산자가 검교정한 양과 비교하기 위해 측정된 결과 생산자가 제공한 방사능값과 측정된 방사능값과의 차이는 최대 4.21%이었다. 두개의 전리함을 이용한 결과 3.68%, 4.21%의 차이를 나타내었다. Ezzel은 7개의 기관에서 29개의 선원을 검교정한 결과 생산자가 제공한 방사능값과의 차이는 1.040±0.044의 평균비를 나타낸다고 보고하였다⁶⁾. 그러나 본 연구에서의 차이는 AAPM 등에서 권고하는 5%미만의 오차 범위에 들어가는 차이다⁷⁾. 결국 이 정도의 오차는 임상에서 이용할 때, 선원의 생산자가 제공하는 자료를 이용하거나 각 병원에서 측정하여 이용하여도 커다란 문제는 없을 것으로 사료된다.

결 론

고선량을 원격조종 아프터로딩 시스템을 기존건물내에서 차폐시설을 보강하여 설치하고 치료실 주변의 여러 지점에서 누설선량을 측정된 결과 국내법상의 허용기준치에 훨씬 못 미치는 적합한 치료실을 만들 수 있었다. 또한 10 Ci의 Ir-192 선원의 방사능을 공기커마율을 이용하여 측정된 결과 생산자가 제공하는 자료와 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. Ezzel GA: Evaluation of calibration techniques for the Microselectron. HDR Activity 1989, 1:10-14
2. 과학기술처 고시 제90-11호. 방사선량 등에 관한 규정 제16조. 과학기술처장관. 1990
3. Khan FM: The physics of radiation therapy. 2nd ed. Baltimore, Williams & Wilkins 1994;482-490
4. Kohn ML, Gooch Jr AW, Zajac AJ: Nucletron microselectron calibration and radiation survey. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1991;21:1057-1061
5. Khan FM: The Physics of Radiation Therapy. 2nd ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1994;418-434
6. Ezzel GA: Calibration intercomparison of an Ir-192 source used for high dose rate remote afterloading. HDR Activity 1989;3:13-15
7. American Association of Physicist in medicine, Task Group 24: Physical aspects of quality assurance in radiation therapy. American Institute of Physics, May, 1974