

고선량 Ir-192 선원 교정기의 제작 및 특성

울산대학교 의과대학, 아산재단 서울중앙병원 치료방사선과학교실

이 병 용 · 최 은 경 · 장 혜 속

High Dose Rate Ir-192 Source Calibration Method with Newly Designed Calibration Jig

Byong Yong Yi, M.S., Eun Kyung Choi, M.D. and Hyesook Chang, M.D.

Department of Therapeutic Radiology, Asan Medical Center, College of Medicine, University of Ulsan, Seoul, Korea

Authors have developed highly reproducible calibration method for the Micro-Selectron HDR Ir-192 system (Nucletron, Netherland). The new jig has a 10 cm radius circular hole in the 30 cm×30 cm×0.2 cm acrylic plate, and 5F flexible bronchial tubes are attached around the hole. The source moves along the circle in the tubes and the ionization chamber is placed vertically at the center of the circular hole (center of the jig).

Dose distribution near the center was derived theoretically, and measured with the film dosimetry system. Theoretical calculation and measurement show the error margin below 0.1% for 1 mm or 2 mm position deviation. We have measured at 12 and 24 points of circle with 1, 6, 11 and 21 second dwell time of source in order to calculate the activity of the source.

Measurements have been repeated daily for 50 days. The accuracy and the reproducibility are below 1% error margin. The half life of the source from our measurement is estimated 73.4±0.4 days.

Key Words: High Dose Rate Ir-192, Calibration

서 론

근접치료에 있어서 Ir-192선원의 사용은 널리 친숙해져 있으며, 특히 고선량 Ir-192 선원을 이용한 치료기가 근래에 국내에 보급됨으로 인해 선원의 교정방법이 주목받게 되었다.

저선량 Ir-192 선원의 교정에 관해서는 표준 선원과 우물형 이온상자(well type ionization chamber)를 이용하여 교정하는 방법이 권고된 바가 있지만¹⁾ 고선량 Ir-192 선원의 교정에 관해서는 기술적인 어려움으로 인해 실제 측정에 많은 제약과 받고 있다.

선원의 교정에서 가장 중요한 요소는 선원과 측정기 사이의 거리(SCD)와 조사 시간인데, 특히 매 측정시 정확한 SCD를 유지하는데 기술적 어려움이 있고, 이것의 미소한 오차로 인해 측정치에 미치는 영향이 크므로 SCD의 오차에서 오는 영향력을 줄이기 위해 여러 방법의 교정기가 소개되었다²⁻⁴⁾.

위의 방법들로 1~3%의 좋은 정밀도를 얻었지만, 제

작상의 어려움과 사용상의 번거로움으로 인한 문제를 갖고 있으며, 특히 재현성을 검증할 수 있는 주요 수단으로서의 반감기 측정에 대한 언급이 없다.

이에 저자들은 정밀하면서 간단히 제작할 수 있으며, 사용이 간편한 교정기의 필요성을 느끼게 되어 본 병원의 근접 조사 치료 장비인 Micro-Selectron HDR (Nucletron, Netherland)에서 사용하는 약 10 Ci 방사능을 갖는 Ir-192 선원의 교정을 위해서 직경 20 cm인 원형 교정기를 고안 제작하였으며, 이에 그 특성을 보고한다.

재료 및 방법

1. 새로운 교정기의 이론적 배경

방사선 선원의 방사능은 일반적으로 아래와 같은 식으로 구해진다.

$$A = \frac{M \times N \times R^2}{I \times T} \dots\dots\dots(1)$$

단 M : 측정기 판독값

N : 측정기 교정인자

R : SCD
 Γ : 감마상수
 T : 시간

(1)식에서 중요한 인자는 SCD, 즉 R값으로 이 값의 변화는 방사능에 제공의 변화를 준다. 이 인자로 인한 오차를 줄이기 위해 Fig. 1.a와 같이 원형의 교정기를 고안하였다. 선원이 원둘레에 끌고루 분포한다고 가정하고 단위길이당 방사능을 m이라 할 때 원중심에서의 조사율은

$$\dot{X}_{center} = C \int mR/R^2 d\theta$$

$$= 2\pi Cm/R \dots \dots \dots (2)$$

단, C : 상수
 m : 단위길이당 방사능
 R : 원의 반지름

측정용 이온함이 항상 원의 중심에 놓여지는 것은 아니며, Fig. 1.b와 같이 중심에서 d만큼 떨어진 곳에 놓여질 수도 있다. 이때의 선량율은 아래와 같다.

$$\dot{X}_{offcenter} = C \int mR/R^2 d\theta$$

$$= C \int_0^{2\pi} mR/(R+d^2-2Rd\cos\theta) d\theta$$

가 되고, 이 적분은 적분포에 의하여 ⁵⁾,

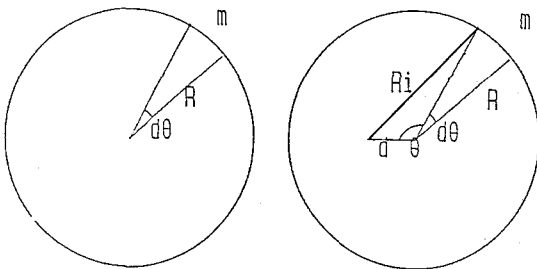
$$= \frac{2\pi CmR}{R^2-d^2} \dots \dots \dots (3)$$

식 (2)와 식 (3)에서 선량율 차이는

$$\dot{X}_{offcenter}/\dot{X}_{center} = \frac{1}{1-(d/R)^2} \dots \dots \dots (4)$$

가 되며, 한편 거리의 역제곱 법칙이 고려되는 교정기에서 SCD가 R일때 d만큼의 위치 오차가 있다면 선량율의 차이는

$$\dot{X}_{R\pm d}/\dot{X}_R = \left(\frac{R\pm d}{R}\right)^2 \dots \dots \dots (5)$$



ION CHAMBER AT CENTER ION CHAMBER AT OFF-CENTER

Fig. 1. Ion chamber and source distribution.

가 되어 식 (4)로 표현되는 새로운 교정기에 의한 오차가 상당히 줄어들게 된다.

2. 새로운 교정기의 제작

각변의 길이가 30cm인 2mm 두께의 아크릴 판 중앙에 반경 10cm의 원형 구멍을 뚫고, 원주를 따라서 5F 기관지 삽입용 tube를 장치하여 그 속을 Ir-192 선원이 움직일 수 있도록 하였다. 교정기 중앙에 정확히 이온함이 놓일 수 있도록 윗 판을 만들었으며, 정확한 원의 반경을 알기 위하여 8지점 이상의 지름을 측정하여 평균을 구하였다. 두꺼운 종이판에 교정기의 반경과 동일한 원을 그려 그 중심에 구멍을 뚫어 이온함이 언제나 교정기 중심부에 오도록 확인할 수 있는 장치를 만들었다. 본원이 보유하고 있는 선원은 Mallinckrodt Diagnostica (Netherland) 제품이며 지름 0.5mm×길이 3.5mm 크기(active dimension)의 약 10Ci Ir-192 선원이다. 측정에 사용된 장비는 PTW Farmer type 0.6CC 이온함, Victoreen 500 미소전류계, Multidata film scanning system 등이다.

3. 새로운 교정기에 의한 측정 방법

(4) 식의 타당성 검토와 함께 교정기 중심부의 선량을 측정하기 위하여 우선 film을 사용하여 중심부 선량을 측정하고 그것을 (4) 식과 비교하여 보았다. 실제로 사용된 선원은 원둘레의 24지점을 선택하여 각지점마다 선원이 5초씩 머물게하여 교정기 바로 밑에 film을 장착하여 판독함으로써 선량 분포를 측정하였다.

이온함을 이용하여 (1) 식에 의해 선원의 방사능을 측정하였고, 이것을 50일간 반복함으로써 반감기를 구해냈다.

선원이 원둘레의 24지점에 대해 1초씩 머물때의 측정값, 6초씩 머물때의 측정값, 11초씩 머물때의 값들을 각각 구하고 time end 효과와 선원이 이동할 때 이온함에 미치는 영향, 즉 배경 잡음의 효과를 제거하였다. 12지점에 대해서도 동일한 방법으로 측정하여 24지점의 결과와 비교하였다. 측정은 사용한 측정기의 특성에 따라 build-up Cap없이 시행하였다²⁾.

결 과

원둘레 24지점을 선원이 5초간 머물때의 선량 분포

에 대한 film dosimetry 결과를 Fig. 2에서 보여주고 있다. 교정기 중심을 종단하는 선량분포에서 양쪽 두개의 최대 선량지점은 선원이 머무는 지점을 나타내고 교정기중심부에서는 선량 변화가 대단히 적음을 발견할 수 있다. 이 결과와 이론적으로 선량분포를 유도한 (4) 식과 Ezzell²⁾ 등이 사용한 모형에서의 오차율인 (5) 식과의 비교를 Table 1에 나타내었다. Ezzell의 교정기에는 거리역자승 법칙이 성립하므로 약간의 위치 변화에도 큰 오차를 보임을 알 수 있으나, 새로운 교정기는 이론적 계산식에서나 측정 결과에서나 모두 위치 오차에 대해 측정오차가 크게 줄어 들을 알 수 있다.

Table 1에 의하면 새로운 교정기는 위치오차 1~2 mm에 대해 측정 오차는 미소하여 무시할 수 있다.

저자들은 이런 결과를 토대로 (1)식을 적용하여 방사능을 측정하였다. 24지점에 대해 각각 1초, 6초, 11초, 21초 머물때의 측정값 결과가 Fig. 3에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 24지점이나 12지점 사용방법 모두 뛰어난 직선성을 갖고 있다. 이 측정을 50일간 반복한 결과를 Fig. 4에 로그 좌표로 나타내었다. Fig. 3과

Fig. 4에서 보듯 24지점, 12지점 선택하는 방식 모두가 동일한 결과를 보여줌을 알 수 있으며, Fig. 4의 측정값

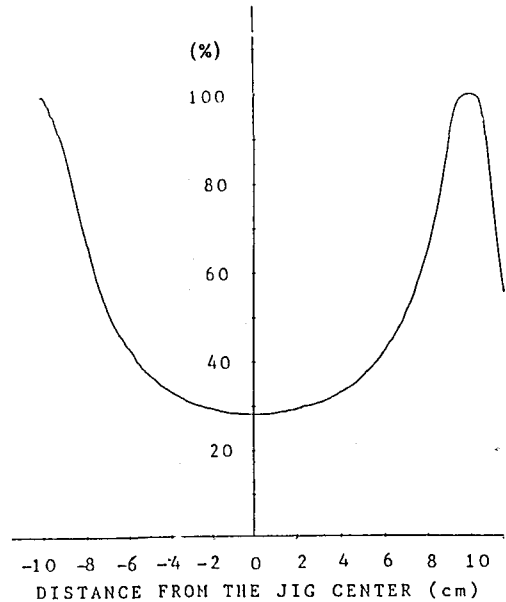


Fig. 2. Central Dose profile of the new jig system.

Table 1. Error from Position Deviation

POSITION DEVIATION (mm)	1	2	5	10	20
EZZELL SYSTEM (%)	2	4	10	21	44
NEW JIG (THEORY) (%)	0.01	0.04	0.25	1.00	4.90
NEW JIG (MEASURE) (%)	0.1	0.1	0.1	0.5	4.3

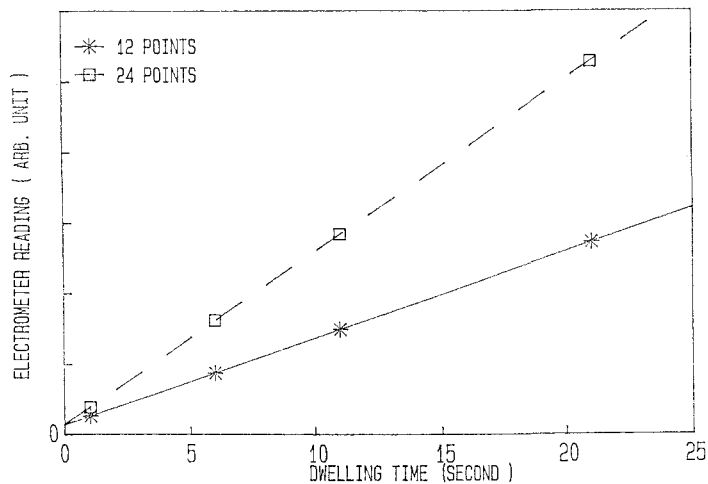


Fig. 3. Electrometer Reading according to dwelling time variation.

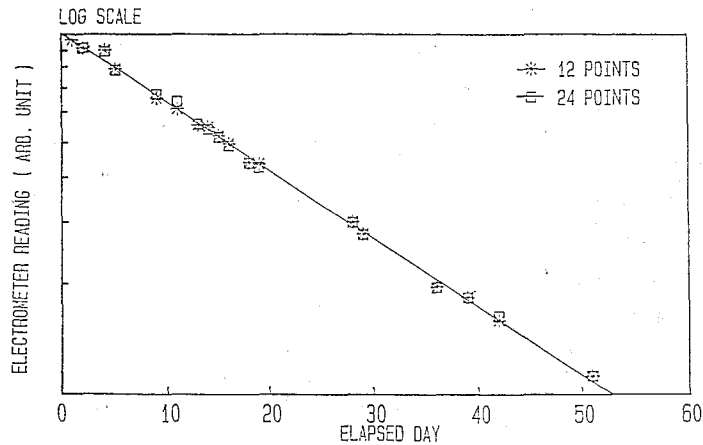


Fig. 4. Activity changes as days pass.

들의 직선성 관계는 선원의 붕괴가 정확히 지수 함수 형태로 이루어짐을 보여준다. Fig. 3의 결과로부터 새로운 교정기의 정밀도는 1%이내이며, Fig. 4의 결과로부터 재현성 1%이내, 반감기 73.4 ± 0.4 임을 알 수 있어 기존의 보고값과 일치하였다⁶⁾.

고 찰

선원 교정시 SCD는 대단히 민감한 요소가 된다. 측정값은 SCD에 대해 거리 역자승 법칙을 따르므로 SCD가 큰 교정기일수록 이에 의한 오차는 줄어들지만, 이에 따라 공기에 의한 산란 요소, 측정기 누설전류의 기여도 증가등으로 인해 오차가 커진다²⁾. 즉 일반적 측정기의 누설 전류가 0.5×10^{-12} C/min이라고 할때 10Ci선원에 대해 SCD 30cm교정기의 측정값은 PTW 0.6CC 이온함에서는 10^{-10} C/min의 전류계 판독값을 갖게 되므로 누설전류에 의한 기여도를 무시할 수 없게 된다. 공기에 의한 산란 효과도 SCD 50cm에서 3%이상으로 보고되고 있어²⁾ SCD를 증가시키는 제한요소가 된다. 반면 SCD를 줄일 때 위의 문제는 해결되지만 전술한 거리 역자승의 문제와 함께 이온함 체적을 무시할 수 없다는 새로운 문제가 제기된다. 즉 SCD가 작을때는 이온함을 하나의 점으로 간주할 수 없으므로 그것에 의한 효과를 고려해야 한다⁶⁾.

이런 이유로 적절한 SCD를 10~20cm로 설정하고 있는 경향이^{2,3,4)} 본원의 새로운 교정기도 10cm의 SCD를 선택하였다. Ezzell이 보고한 1%의 재현성은 그 방법 자체가 갖는 고유의 결함에도 불구하고 매우

정밀한 장비임에는 틀림이 없으나 매측정마다 SCD를 X선 film을 통해 확인해야 하는 등 불편함을 갖고 있다²⁾.

저자들이 고안한 새로운 교정기는 손쉽게 제작되며, 이용이 간편하고 1%이내의 정밀도 및 재현성을 유지할 수 있는 장점이 있다.

측정용 이온함의 교정은 Ir-192에 대해 하는 것이 가장 이상적이나 국내 2차 표준국에서의 교정이 불가능하므로 280 Kvp와 Co-60에 대해 교정한 값을 Ir-192 감마선 평균에너지(0.38 MeV)에 해당하는 에너지에서의 교정값으로 내삽법을 이용 계산하여 내었다. 제작사의 특성 보증에 의하면 Co-60에서의 교정상수를 1이라할때 280 Kvp (148 KeV)는 0.971이 되므로 Ir-192에서의 교정값은 Co-60교정에 대해 0.977의 에너지 반응을 차이를 고려한 값을 사용하였다.

결 론

고선량 Ir-192 선원 방사능 교정용 교정기는 원형으로 고안, 제작하여 그 특성을 분석하였다. 교정기의 중심 부근은 반경 5mm 안에서 0.3%이내의 등선량 분포를 유지하고 있었으며, 이 방법에 의한 측정은 정밀도와 재현성이 각각 1%이내의 좋은 결과를 보여주었다. 반복 측정에 의해 구해진 반감기는 73.4 ± 0.4 임을 알았다. 새 교정기는 제작의 간편함과 측정의 용이함, 그리고 결과의 정확함으로 인해 고선량 Ir-192 선원 교정기로 적합함을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. **AAPM Task group 32**: Specification of brachytherapy sources strength. AAPM Report No 21, 5, 1987.
 2. **Ezzell G**: Evaluation of calibration techniques for the Micro-Selectron HDR. Activity 1:10-14, 1989
 3. **Jones CH, Bidmead AM**: Dose rate calibration of the Micro-Selectron HDR system in "Proceedings Brachytherapy working conference 5th international Selectron user's meeting" 54, 1988
 4. **Jones CH, Bidmead AM**: Calibration of the Micro-Selectron HDR system in "Proceedings 4th international Selectron user's meeting" 75-82, 1989
 5. 수학교재연구회 : 미분적분학, 광림사(서울) 421, 1982.
 6. **NCRP**: Protection against radiation from brachytherapy Sources. NCRP Report No 40, 41, 1972
 7. **Kond S, Randolph ML**: Effect of finite size of ionization chambers on measurements of small photon sources. Rad Research 13:37-60, 1960
-