

고선량률 근접조사치료용 이리듐-192 방사성동위원소의 교정방법 비교연구

*†인하대학교 의과대학 방사선종양학교실, †국립암센터 양성자치료센터,
§이화여자대학교 의과대학 방사선종양학교실, †경희대학교 의과대학 방사선종양학교실,
†경기대학교 의학물리학과, †가천의과대학 방사선종양학교실

허현도*† · 박성용† · 이레나§ · 신동오^{||} · 권수일† · 노준규* · 최진호[¶]

본 연구는 국내에서 이용되고 있는 고선량률 근접치료기에 사용되는 Ir-192 선원에 대하여 Farmer type 전리함과 우물형 전리함을 이용하여 선원의 세기를 측정하여 제조사에서 제공된 값과의 오차를 확인하고 두 장비간의 오차를 비교하였다. 동일한 Ir-192가 장착되어 가동 중인 6개의 병원의 고선량률 근접치료기(microSelctron, Nucletron, Netherlands)를 대상으로 선원의 모델별로 구분하여 상품화된 교정 Jig와 우물형 전리함 시스템을 이용, 선원의 세기를 측정하고 제조사에서 제공된 값과 비교하여 오차를 구하였다. 교정용 Jig를 이용한 선원 세기의 오차범위는 -2.40~+3.12%이고 우물형 전리함의 경우 오차범위는 -3.31~0.00%를 나타내었다. 측정 결과 두 장비 모두 제조사에서 제공된 값과 비교하였을 때 ±5%의 오차를 넘지 않았으므로 임상 적용에는 문제가 없다. 외국의 사고 사례 보고에 따르면 계산 값에 의존하지 말고 새로운 선원이 교체될때 반드시 치료에 사용되기 전에 측정 도구를 이용하여 방사능의 세기를 측정하고 계산된 값과 비교하여 오차범위 내에서 일치하는지에 대한 확인 절차과정을 거치는 것이 필요하다.

중심단어: 선원 세기, Ir-192선원, 교정용 Jig, 우물형 전리함

서 론

고선량률 근접방사선치료에 주로 사용되는 Ir-192는 상대적으로 작은 반감기(73.83일)로 인하여 매 3~4개월마다 교체된다. 현재 국내에서 사용하는 고선량률 근접치료기는 총 37곳에 설치되었고 그 중 순수하게 Ir-192 선원을 사용하는 기관은 29곳이다. 초기 방사선량의 세기는 약 370 GBq (10 Ci) 정도이다. Ir-192 선원은 국내에서 제조되는 것이 아니라 Mallinckrodt Medical B.V., Holland에서 제조되어 공급된다. 새로운 선원들이 교체되어 설치될 때마다 항상 문제 되는 것은 신뢰할 수 있는 국내 표준 기관에서 검증을 통하지 않고 제조사에서 제공되는 검증서(±5%)에 의존하여 임상에 적용하는 경우와 국내에서 검교정이 불가능한 우물형 전리함으로 점검하여 치료에 적용하는 경우이다. 또 하나 국제 방사선 단위협회(International Commission on

Radiation Units and Measurements)는 외부 치료 시 치료부위에 조사되는 흡수선량은 총 오차 ±5% 범위 이내를 권고하고 있다.¹⁾ 근접치료는 선원 제조 시 선원세기의 오차범위가 ±5% 이내로 제시되고 있다.

근접 치료기기 정도관리 프로그램은 기계적 동작, 전기적 동작, 선원 관리, 차폐 그리고 종사자 교육 등으로 이루어져 있는데 새로운 선원이 교체될 때 선원을 검교정하는 것이 매우 중요한 정도관리 프로그램 절차 중에 하나로 권고되고 있다.²⁾ 미국의학물리 학회에서는 정도관리 프로그램을³⁾ 제시하고 있으나 한국 의학물리학회에서는 표준화된 정도관리 프로그램을 제시하지 않고 있기 때문에 대부분 국내 병원에서는 미국의학물리학회에서 제시한 프로그램에 의존하고 있다. 또한 국내 병원에서 사용되고 있는 선원의 세기를 검증할 수 있는 측정도구가 Farmer type chamber를 이용하는 교정용 Jig와 시스템과 우물형 전리함을 이용하여 측정하는 두 종류로 조사되고 있다. Farmer type 전리함의 경우 국내 전리함 검교정 기관에서 Ir-192에 대한 N_x값을 제공하지 않고 있고 또한 우물형 전리함은 교정조차 실시하지 않고 있어 제조사에서 제공된 인자를 그대로 적용하고 있어 표준이 되는 장비가 없다.

본 연구는 국내에서 이용되고 있는 고선량률 근접치료기

이 논문은 2004년 10월 9일 접수하여 2004년 11월 20일 채택되었음.
책임저자 : 최진호, (405-835) 인천광역시 남동구 구월동 1198번지
가천의과대학교 길병원 방사선종양학과
Tel: 032)460-3874, 3030, Fax: 032)460-3029
E-mail: jinhoc@ghil.com

의 Ir-192의 동일한 선원에 대하여 Farmer type 전리함과 우물형 전리함을 이용하여 선원의 세기를 측정하여 제조사에서 제공된 값과의 오차를 확인하고 두 장비간의 오차를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 선원

Ir-192 선원이 장착되어 가동 중인 microSelctron-HDR (제조사: Nucletron, Netherlands)은 20곳에 설치되어 있다. 이들 중 6개 병원을 선택하여 측정하였다. Fig. 1에서 나타낸 것처럼 사용된 선원은 총 길이 4.5 mm, 지름 0.9 mm의 새로운 모델(A)과 5.0 mm, 1.1 mm의 구 모델(B) 두 종류이다. 근접치료기에 선원 설치 시 초기 방사능의 세기는 대략 10 Ci 정도이었다.

2. 측정 장비

1) 교정용 Jig

Fig. 2에서처럼 선원으로부터 10 cm 거리에 전리함 중심을 놓았다. 전리함은 Farmer type 0.6 cc (PTW, Germany) Co-60 buildup cap과 미소전류계 UNIDOS (PTW, Germany) 등을 사용하였고 측정 방법과 계산식들의 적용인자들은 여러 문헌을 참고 하였다.³⁻⁷⁾ Farmer type 전리함의 N_x (불확도 $\pm 2.3\%$) 값이 국내 표준기관에서 Ir-192에너지에 해당하는 값이 제공되지 않으므로 Co-60 에너지에서 교정한(식품의약품 안전청) 값을 그대로 사용하였다. 선원과 전리함의 중심위치는 radiograph film 등을 이용하여 결정하였다. 선원의 순간 이동 효과를 제거하기 위하여 185초 동안 조사하여 측정된 값(nC)과 5초 동안 조사하여 측정된 값(nC)의 차이 값을 구하였고, 1번 channel catheter와 2번 channel catheter에서 각각 측정된 값(nC)의 평균값(nC)을 구하였다.

$$D1 \text{ (nC)} = (\text{reading value (nC)} / 185\text{초}) - (\text{reading value (nC)} / 5\text{초}) - (\text{leakage } 180\text{초})$$

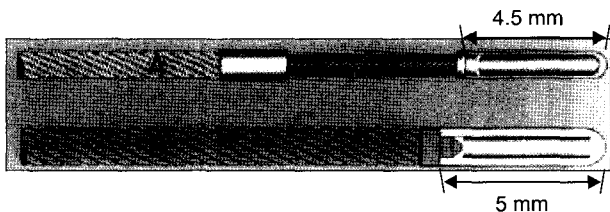


Fig. 1. Schematic diagram of Ir - 192 source. It was installed microSelctron HDR (Nucletron, Netherlands). (A) new model source, (B) old model source.

$$\text{D2 (nC)} = (\text{reading value (nC)} / 185\text{초}) - (\text{reading value (nC)} / 5\text{초}) - (\text{leakage } 180\text{초})$$

$$\text{Net reading (M)} = (D1 + D2) / 2 \text{ (nC)}$$

Room scatter correction과 exposure gradient correction은 0.999, 1.006을 각각 적용하였다.^{2,5)} 식 (3)을 식 (4)에 대입하여 조사율(X)(R/nC/s)을 계산하고 식 (5)에서 Ir-192선원의 감마상수를 적용하여 선원의 세기(S)를 최종적으로 계산하였다. 또한 조사 시 직접적으로 전리함에 도달 하는 감마선과 측정 방에서 산란되어 도달하는 감마선이 오차의 요인이 되기 때문에 실험 시행 시 동일한 기학적 구조를 유지하였다. 표준온도(섭씨 22도)와 기압(101.325 kPa)의 상대적인 온도 기압 보정도 적용하였다.

$$\text{조사율 } (\dot{X}) : (M \times N_x \times C_{room} \times C_{grad} \times C_{TP}) / \text{Time}$$

C_{room} : the room scatter correction

C_{grad} : the exposure gradient correction

N_x : the calibration factor for the ion chamber(R/nC)

C_{TP} : the conventional temperature and pressure correction for ion chambers

M : the accumulated charge (nC)

$$S = \dot{X} / (0.466 / (\text{R/hr/Ci}))$$

2) 우물형 측정기

Fig. 3처럼 우물형 전리함은 공기로 차 있고 대기압과 통하도록 구멍이 있다.⁸⁾ 선원은 catheter로 연결하여 얇은 알

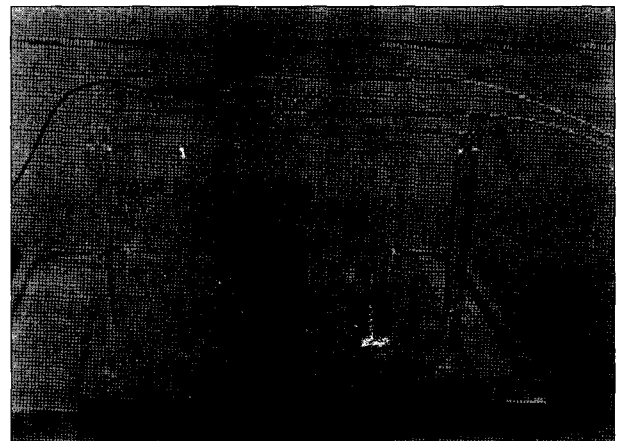


Fig. 2. Ir-192 air calibration Jig output is measured in the air for microSelctron HDR unit was mounted on acrylic mounter to avoid the scatter contribution.

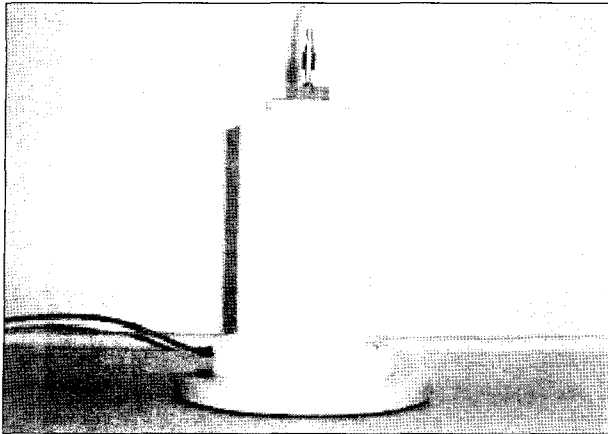


Fig. 3. Well-type chamber system, Nucletron SDS With PTW UNIDOS, applied Voltage : 300 V.

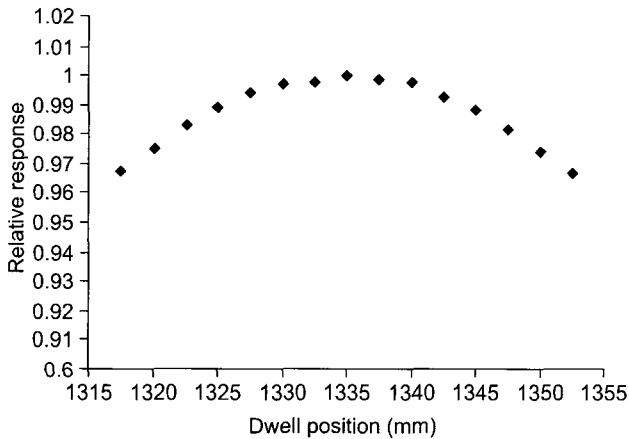


Fig. 4. Relative ionization versus distance of the source from machine.

루미늄 중심축을 통하여 삽입되도록 설계되어 있다. 선원과 전리함의 이온 수집볼륨 사이에는 전자 평형이(0.31 g/cm²) 이루어지도록 아크릴로 설계되어 있다.⁵⁾ 또한 우물형 전리함은 UNIDOS (PTW, Germany) 미소 전류계로 연결되어 300 V의 분극 전압이 공급되고 있다.

Fig. 4에서처럼 우물형 전리함의 최대측정 점을 구하기 위하여 미소전류계의 전류 모드에서 2.5 mm 간격으로 이동하여 상대적인 최대 전류 값을 구하였다. 2.5 mm 간격으로 선원을 상 하 이동시 약 0.1% 정도 감소하였다. 최대로 측정된 전류 값을 다음 식 (6)에 대입하여 선원의 세기를 구하였다.

$$S = M \times N_x \times P_{ion} \times C_{TP} \dots\dots\dots(6)$$

P_{ion} : the correction for the collection efficiency of the

Table 1. The measuring equipment used microSelectron HDR in Korea.

Equipment	No. of sites
Calibration Jig	7
Well-type chamber system	10
N/A	3

Table 2. Discrepancy of source strength expressed as difference between measured and calculated value with the the Calibration Jig.

Site	1	2	3	4	5	6
Measured (Ci)	8.76	5.77	4.96	4.80	3.00	1.06
Calculated (Ci)	8.55	5.95	4.93	4.90	2.94	1.09
Difference (%)	-2.40	+3.12	-0.60	+2.0	-2.00	+2.83

Table 3. Discrepancy of source strength expressed as difference between measured and calculated value with the well-type chamber.

Site	1	2	3	4	5	6
Measured (Ci)	8.76	5.77	4.96	4.80	3.00	1.06
Calculated (Ci)	8.47	5.67	4.96	4.80	2.95	1.04
Difference (%)	-3.31	-1.73	0.00	0.00	-1.67	-1.89

electrometer/chamber

M : current value (nA)

N_x : apparent activity calibration factor (Ci/nA)

C_{TP} : the conventional temperature and pressure correction for ion chambers

결 과

국내 고선량률 근접치료 장비를 보유하고 있는 37개 병원 중 microSelectron-HDR을 사용하고 있는 20개 병원이었고 그중 우물형 전리함을 보유하고 있는 병원은 10곳, 교정용 Jig를 이용하는 병원은 7곳, 측정 장비를 보유하지 않은 곳은 3곳이었다(Table 1).

총 6개의 선원 중 구 모델은 두 곳, 새로운 모델은 네 곳이었다. 각기 선원에 대한 세기 오차는 측정 도구를 가지고 측정된 값과 제조사에서 제공된 값을 비교하여 오차를 구

Table 4. Difference of source strength between of the Calibration Jig and the well-type chamber.

Site	1	2	3	4	5	6
Zig phantom (%)	-2.40	+3.12	-0.60	+2.00	-2.00	+2.83
Well-type (%)	-3.31	-1.73	0.00	0.00	-1.67	-1.89
Difference (%)	0.91	4.85	0.60	2.00	0.33	4.72

하였다. 오차는 계산 값을 참값으로 하여 {오차(%)=(측정값-계산값)/계산값} 백분율로 구하였다. 교정용 Jig의 경우 오차는 -2.40%로, +3.12%, -0.60%, +2.0%, -2.0%, +2.83%로 각각 나타내었다(Table 2).

Table 3에서 나타낸 것처럼 우물형 전리함에서 오차는 -3.31%, -1.73%, 0.00%, 0.00%, -1.67%, -1.89%로 각각 나타내었다. Table 4와 Fig. 5에서 나타낸 것처럼 두 장비의 간의 차이는 최대 4.85%였다.

고찰 및 결론

두 장비를 이용한 측정 결과 모두 제조사에서 제공된 값과 비교하였을 때 ±5%의 오차를 넘지 않았으므로 임상 적용에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 그렇지만 사용상에 장단점은 있다. 교정용 Jig 경우 설치 및 측정에 걸리는 시간이 많이 요구된다. 숙련되고 인정된 의학물리학자에 의하여 측정되는 것이 설치 및 측정의 오차를 줄일 수 있다. 우물형 전리함의 경우 설치 및 측정의 편리함과 오차를 줄일 수 있지만 국내에서 전리함의 검교정이 이루어지지 않고 있다.

근접치료에 사용되는 선원의 방사능량 변화는 환자의 종양 및 인접장기에 미치는 영향이 매우 크므로 방사능 값의 오류는 환자의 치료에 심각한 영향을 줄 수 있다. 선원이 교체될 경우 제조사에서 제조된 날짜와 설치 날짜의 차이로 인하여 전산화 치료계획 장비에 입력하여 계산하거나 또는 의학물리학자가 손으로 계산하여 수정된 값을 사용하게 된다. 이때 시차 및 날짜 계산의 잘못으로 계산상의 오류가 발생할 수 있다. 그리고 인증서 값 자체가 잘 못 제공될 가능성도 배제할 수 없다. Conen L, Shalek R 등^{9,10)}의 보고에 따르면 Co-60의 초기 설치 시 실질적 출력의 측정 없이 잘못된 붕괴를 계산만으로 임상에 적용하여 426명의 환자에게 처방 선량보다 10~50% 이상의 선량이 과도하게 조사되었다. 이런 사례를 볼 때 측정으로 검증하지 않고 계

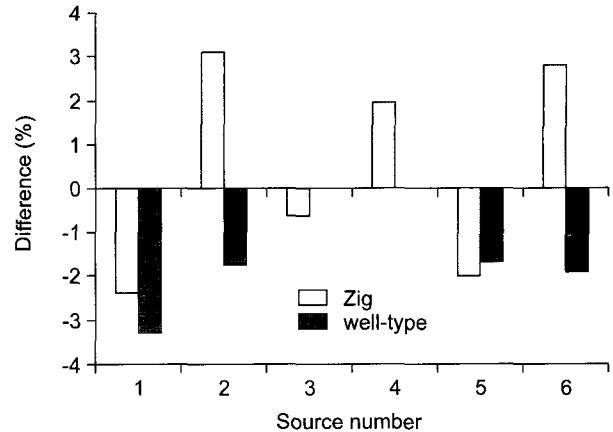


Fig. 5. Difference between the Zig phantom and the well-type chamber system.

산되어진 값에만 의존하여 환자 치료에 적용하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 새로운 선원이 교체 될 때 치료에 사용되기 전 반드시 측정 도구를 이용하여 방사능의 세기를 측정하고 계산된 값과 비교하여 오차범위 내에서 일치하는지에 대한 확인 절차과정을 거치는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 과학기술부, 원자력 중장기 과제 M20330010001-03A0724-00111의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. ICRU Report 24: Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of x- or gamma-rays in radiotherapy procedures. International Commission in Radiation Units and Measurements (1976)
2. AAPM Report 41: Remote afterloading technology. American Association of Physicist in Medicine (1993)
3. Ezzell GA: Calibration intercomparison of an Ir-192 source used for high dose rate remote afterloading. Activity 3: 13-14 (1989)
4. Nair MT K, Cheng MC: HDR source calibration method and discrepancies. Int J Radit Oncol Biol Phys 38:207-211(1997)
5. Goetsch SJ, Attix FH, Pearson DW, Thomadsen BR: Calibration of Ir-192 high-dose-rate afterloading systems. Med Phys 18(3):462-467 (1991)
6. Ezzell GA: Calibration & quality assurance. Activity 7:15-24 (1995)
7. Dimos B, Konstantina G, Dipl I: Comparison of calibration

- procedures for Ir-192 High dose rate brachytherapy sources. Int J. Radiat Oncol Biol Phys 43:653-661 (1999)
8. **Goetsch SJ, Attix FH, Dewerd LA, Thomadsen BR:** A new re-entrant ionization chamber for the calibration of Ir-192 high dose rate source. Int J Radit Oncol Biol Phys 24:167-170 (1992)
9. **Cohen L, Schuktheiss TE, Kennaugh RC:** A radiation overdose incident: Initial data. Int J Radit Oncol Biol Phys 33: 217-224 (1995)
10. **Shalek RJ, Gooden DS:** Medical Physicists and Malpractice. Medical physics Publishing, Madison (1996), pp. 55-59

Comparison of Calibration Methods of ^{192}Ir Sources for High Dose Rate Brachytherapy

Hyun Do Huh^{*†}, Sung Yong Park[†], Rena J Lee[§], Dong Oh Shin^{||},
Soo Il Kwon[†], John J K Loh^{*}, and Jinho Choi[¶]

^{*}Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Inha University, [†]Proton Therapy Center, National Cancer Center, [§]Department of Radiation Oncology, Ewha Womans University Hospital, ^{||}Department of Radiation Oncology, College of Medicine, KyungHee University, [¶]Department of Medical Physics, Kyonggi University,
[¶]Department of Radiation Oncology, Gachon Medical School, Gil Medical Center

The activity of Ir-192 sources for high dose rate (HDR) Brachytherapy in Korea were measured by using the well-type chamber and using the calibration Jig with the Farmer-type ionization chamber to compare the manufacturer certificated source strength which is supplied with each new Ir-192 source. The activity of two different source models used in six hospitals were measured. The range of measured activities to the manufacturer's suggested ones was -2.40% to +3.31% for the calibration Jig and -3.12% to 0.00% for the well-type chamber system. The source strength values given by the manufacturer for the 6 sources were within $\pm 5\%$ for the two different measuring equipment. Our results demonstrate that well-type chamber as well as Farmer-type chamber system are appropriate system for the routine source calibration procedures in HDR brachytherapy. Whenever a new source is installed to use in clinics, a source calibration should be carried out.

Key Words: Strength of source, Ir-192 source, Zig phantom system, Well-type chamber