

## Ir-192 고선량을 선원에 대한 공기커마강도의 품질보증

— Quality Assurance of Air Kerma Strength for Ir-192 High Dose Rate Source —

인제대학교 의용공학과·경상대학교 물리학과<sup>1)</sup>·전남대학교 물리학과<sup>2)</sup>

김종언·윤천실<sup>1)</sup>·김성현<sup>2)</sup>

### — 국문초록 —

AAPM TG43 프로토콜에서 선원 강도의 측정은 공기커마강도로 권고하고 있다. 본 연구는 제조사에서 제공되는 공기커마강도의 정확성이  $\pm 5\%$  범위 이내에 있는지 측정으로 검증하는데 목적이 있다. Standard imaging사의 MAX-4001 Electrometer와 HDR 1000 Plus, 그리고 6 french bronchial Applicator를 재료로 사용하여, 이온함의 중심축의 바닥으로부터 10 mm 지점에서 90 mm 지점까지 이온화 전류를 측정하였다. 측정된 이온화 전류 곡선에서 최대 이온화 전류를 나타내는 거리를 교정의 기준점으로 정하고, 이 이온화 전류 측정치로부터 공기커마강도를 구하였다. 이온화 전류 곡선의 정점인 최대 이온화 전류에 대응하는 거리는 50 mm 이었다. 이 거리는 UW-ADCL의 교정 검증서의 선원의 기준점과 완전히 일치하였다. 측정으로 계산된 공기커마강도는 제조사에서 제공된 교정치보다 약 0.5% 더 높게 측정되었다. 제조사에서 제공되는 교정 검증서의 공기커마강도는 신뢰할 수 있는 정확성을 가졌다는 결과를 얻었다. 측정에서 우물형 이온함 안의 dead space의 길이와 선원의 dwell position으로 이동 오차 그리고 산란선의 영향 등을 고려하면, 정확한 측정과 교정의 결과를 얻을 수 있다고 생각된다.

**중심 단어:** 선원의 강도, 공기커마강도, 우물형 이온함

### I. 서 론

근접치료의 High Dose Rate Afterloading System (HDRAS)을 위한 Ir-192 선원의 강도(strength)의 교정은 환자 치료계획의 중요 부분이고, 선원 강도의 측정에서 어떤 오차는 치료되는 각각의 환자에 영향을 미치게 된다. Nucletron사의 HDRAS들의 위한 Ir-192 선원들은 Mallincrodt Medical B.V., Holland에서 제조되며, 제조사에서 독립적인 측정으로 제공되는 교정 검증서(calibration

certificate)의 선원의 강도는 약 10 Ci(407.14 cGym<sup>2</sup>/h)이고  $\pm 10\%$ 의 정확성으로 제공된다고 보고되고 있다<sup>1,2)</sup>. 국제 방사선 단위 측정 위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements)는 치료체적에 전달되는 흡수선량은 전체 오차가  $\pm 5\%$  이내로 권고하고 있다<sup>3)</sup>. 그리고 미국의 원자력 규제 위원회(U.S. Nuclear Regulatory Commission)도 선원의 강도는  $\pm 5\%$  이내로 규정하고 있다<sup>4)</sup>. 따라서 제조사에서 제공되는 교정 검증서의 자료는 직접적으로 임상 적용에 타당하지 않다. 그러므로 사용 기관에서 직접 측정으로 확인하여야 한다.

AAPM TG43 프로토콜에서 선원 강도의 측정은 공기커마강도로 권고하고 있다. 본 연구는 제조사에서 제공되는 공기커마강도의 정확성이  $\pm 5\%$  범위 이내에 있는지 측정으로 검증하고, 일상적인 품질보증과 선원 교체시의 품질

\* 이 논문은 2007년 4월 30일 접수되어 2007년 6월 5일 채택 됨.  
 책임저자: 김종언, (660-702) 경남 진주시 칠암동 90번지  
 경상대학교병원 경남지역암센터 방사선종양학과  
 TEL: 055-750-9212, 휴대폰: 017-858-8218  
 FAX: 017-750-8217

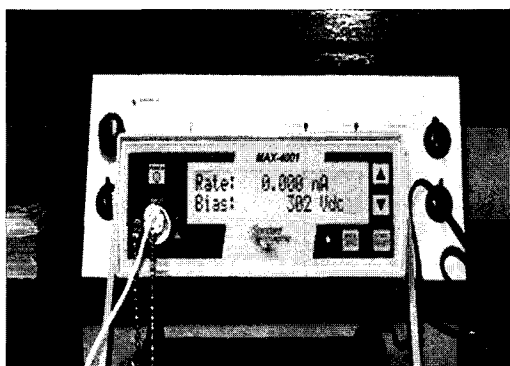
보증의 중요성을 부각시키는데 목적이 있다.

AAPM TG43 프로토콜 기반인 HDRAS의 선원의 강도는 공기커마강도(air kerma strength)이다<sup>5-7)</sup>. 이것은 선원의 교체시기에 치료장치와 치료계획시스템에 입력된다.

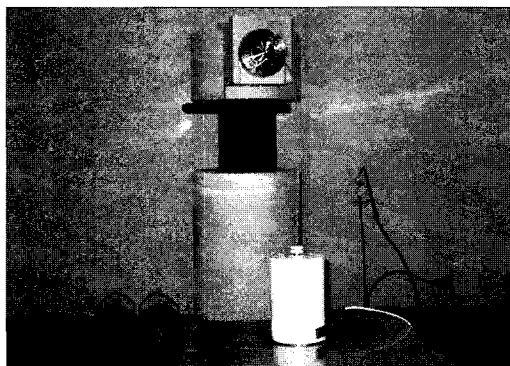
실험은 전기계와 우물형 이온함(re-entrance(well-type) ionization chamber)를 사용하여 이온함의 바닥으로부터 거리의 함수로서 측정되는 이온화 전류 곡선을 얻어서 교정 기준점의 거리를 구한다. 이 교정 기준점의 거리에서 측정된 이온화 전류로부터 공기커마강도를 구하여 제조사에서 제공된 교정 검증서의 공기커마강도와 비교분석한다.

## II. 재료 및 방법

실험의 구성은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이, Standard imaging사의 전기계(MAX-4001 Electrometer)를 조정실, 우물형 이온함(HDR 1000 Plus<sup>1)</sup>)을 치료실에



(a)



(b)

Fig. 1. (a) MAX-4001 Electrometer, and (b) HDR 1000 Plus Reentrant Ion chamber and treatment unit shown in the measurement setup

각각 배치한 다음 Ir-192 HDRAS의 치료장치의 채널 1번과 우물형 이온함의 선원 삽입 홀드에 1,000 mm 길이를 갖는 6 french(2 mmφ) bronchial Applicator를 연결하였다.

### 1. 우물형 이온함과 전기계의 측정 시스템으로부터 공기커마강도의 계산식

공기커마강도는 선원의 중심으로부터 수직 이등분선을 따라 교정 점의 거리의 제곱과 지정된 거리(대개 1 m)에서 자유공간(free space)의 공기커마율의 곱으로서, 단위는  $1 U = cGycm^2/h$ 이다.

교정 기준점의 이온화 전류의 측정으로부터 공기커마강도의 계산식은 식 (1)과 같다<sup>8)</sup>.

$$S_k = N_{S_k} \times ECC \times ER \times C_{T,P} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $S_k$ 는 공기커마강도로서 단위는  $Gym^2/h$ 이고,  $ER$ 는 측정시의 Electrometer Reading으로서 단위는 nA이다.  $C_{T,P}$ 는 측정된 이온화 전류를 우물형 챔버 교정의 기준 환경(기압과 온도)에 대한 보정하는 인자이며,  $ECC$ 는 Electrometer Calibration Coefficient로서 알고 있는 표준 전류치를 전기계에 입력 했을 때 전기계가 나타내는 전류치의 비로서 정의된다.  $N_{S_k}$ 는 공기커마강도 교정계수로서 교정의 기준 온도와 압력에서 공기의 밀도가 보정된 우물형 챔버로부터 수집된 이온화 전류에 대한 선원의 공기커마강도의 비이다. 이온 수집효율은 1로서 보정이 필요 없다.

위스콘신 대학(UW)의 ADCL(Accredited Dosimetry Calibration Laboratory)로부터 받은 전기계와 우물형 이온함의 교정 검증서의 자료들을 살펴보면, 이온함은 선원(교정) 기준점이 이온함의 바닥으로부터 50 mm이고,  $N_{S_k}$ 는  $4.701 \times 10^5 Gym^2/hA$ 이며,  $C_{T,P}$ 는  $(273.15 + T) / 295.15 \times 101.325 / P$ 이다.

전기계의  $ECC$ 는 1 nA/reading(범위 : 0.5-190 nA)이다.

### 2. 실험의 방법

선원을 각각의 dwell position에 배열하기 위해서는 최대 프로그램화 할 수 있는 applicator의 길이를 알아야 한다. Fig. 2은 이 길이를 측정하는 도식을 보여준다.

최대로 프로그램할 수 있는 길이는 선원 위치 모사기(source position simulator)를 사용하여 측정한다. 이

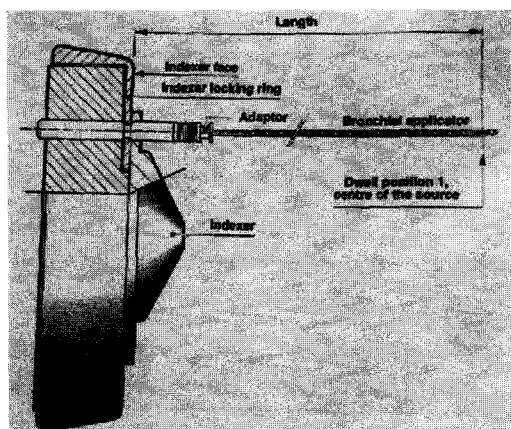


Fig. 2. Schematic diagram to measure the maximum programmable applicator length between indexer face and the dwell position 1 of applicator from the treatment unit

길이는 치료장치의 indexer face으로부터 선원의 진행 방향에서 applicator의 맨 뒤쪽에 위치되는 dwell position 1번까지 거리로서 선원의 중심에 위치된다.

applicator안의 dwell position 1번 위치의 선원 중심으로부터 applicator 끝(tip) 사이는 죽은 공간(dead space)로서 프로그램에 사용할 수 없고, 거리는 5 mm이다. 그리고 applicator의 죽은 공간으로부터 바깥 끝 사이의 거리는 1 mm이다. 이온함의 측정에서 고려해야 할 항목들은 실제적인 죽은 공간과 선원 위치의 오차, 산란선의 영향 등이다. 실제적인 죽은 공간은 applicator의 죽은 공간 5 mm와 죽은 공간과 바깥 끝 사이의 거리 1 mm의 합인 6 mm이다. 그리고 선원 위치의 오차는 프로그램화된 선원의 위치와 실제 선원이 이동하여 머문 위치 사이의 오차를 말하며, 우리의 HDRAS는 실제 선원이 1 mm 더 이동하고 있다. 결과적으로, 이온함의 측정에서 존재하는 죽은 공간의 길이는 실제적인 죽은 공간 길이에서 선원 위치의 오차를 뺀 5 mm이다. 이 죽은 공간 길이를 실험에 적용하였다. 측정치에 산란선이 기여하지 못하게 하기 위하여, 벽과 바닥으로부터 25 cm 이상 떨어진 위치에 이온함을 배치하였다.

1) 이온화 전류 측정

길이가 1,000 mm이고 바깥 직경이 2 mm인 bronchial Applicator에서 프로그램 할 수 있는 최대 길이는 995 mm이다. 실험은 이온함의 중심축의 바닥으로부터 10 mm 지점에서 90 mm 지점까지 이온화 전류를 측정하기 위해서, 990 mm의 길이를 프로그램하여 dwell position 1번으로

정하고 그 다음부터 2.5 mm 간격으로 dwell position 33번까지 선원들을 배열하였다. 각각의 dwell position에서 dwell time은 40 s이다. 이온함에 바이어스 전위를 플러스 302 V를 인가하였고, 전류의 측정은 연속적으로 각각의 dwell position에서 경과되는 dwell time이 20 s로부터 35 s 사이의 안정된 전류를 측정치로 측정하였다. 이 측정 환경에서 온도는 23.9°C, 기압은 101.352 kPa로 측정되었다.

2) 공기커마강도 계산

측정된 이온화 전류 곡선에서 최대 이온화 전류를 나타내는 거리를 교정의 기준점으로 정하고, 이 최대 이온화 전류 측정치를 식 (1)에 대입하여 공기커마강도를 구하였다.

III. 결 과

실험으로 측정된 이온함의 바닥으로부터 거리의 함수로서 측정된 이온화 전류는 Table 1과 Fig. 3에서 보여준다. 최대 이온화 전류에 대응하는 거리는 50 mm이다. 이 거리는 UW-ADCL의 교정 검증서의 선원의 기준점과 완전히 일치한다. 또한 이 거리에서 측정된 전류치는 20.662 nA이다. 이 수치를 식 (1)에 대입하여 공기커마강도 0.9834 cGym<sup>2</sup>/h를 구하였다. 그리고 HDRAS에서 출력된 공기커마강도는 0.9784 cGym<sup>2</sup>/h이었다. 본 실험에서 측정된 측정치가 제조사에서 제공된 교정치보다 약 0.5% 더 높게 측정되었다.

Table 1. Ionization currents measured as a function of distance from bottom of the HDR 1000 Plus chamber

Distance (mm)	Ionization current(nA)	Distance (mm)	Ionization current(nA)
30	20.099	52.5	20.656
32.5	20.235	55	20.633
35	20.352	57.5	20.591
37.5	20.444	60	20.533
40	20.522	62.5	20.456
42.5	20.583	65	20.361
45	20.626	67.5	20.244
47.5	20.653	70	20.114
50	20.662	72.5	19.957

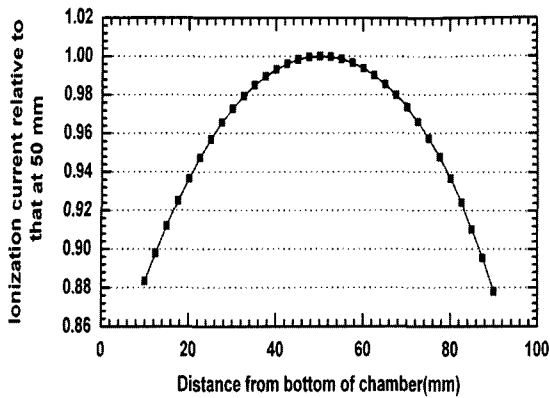


Fig. 3. Relative ionization current versus distance of the source from the bottom of the chamber. The maximum occurs at 50 mm

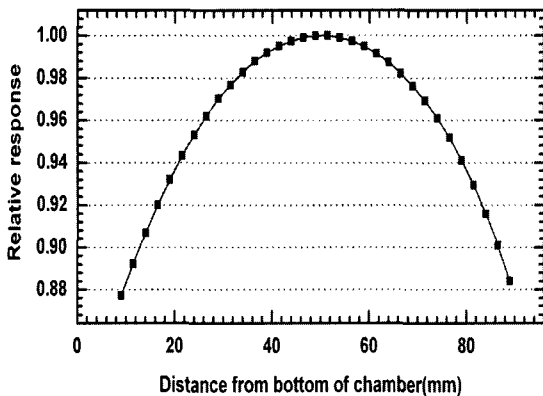


Fig. 4. Relative response versus distance of the source from the bottom of the chamber. The maximum occurs at 51.5 mm

Fig. 3은 이온함의 바닥으로부터 50 mm에 대응하는 전류치로 규격화된 곡선을 나타내고 있다. 이 곡선의 47.5~52.5 mm 범위 안에서 2.5 mm 단계마다 약 0.05% 전류치의 변화를 보여주고 있으며, 그 외 범위에서는 최대 1.65% 전류치의 변화를 보여준다.

Fig. 4는 선원의 dwell position으로 이동 오차를 고려하지 않고 측정된 결과를 보여준다. Fig. 3과 Fig. 4를 비교하여 살펴보면, Fig. 4가 이온함의 바닥으로부터 1.5 mm 더 높이가 이동되었음을 나타낸다. 이렇게 선원의 dwell position으로 이동 오차는 이온화 전류 측정에 기여하게 된다.

## IV. 결 론

선원의 공기커마강도에 대한 품질보증은 고선량을 근접치료에서 일차적으로 가장 중요한 부분이다. 본 실험에서 교정 기준점의 거리는 50 mm를 얻었다. 이 거리는 UW-ADCL의 교정 검증서의 선원의 기준점과 완전히 일치하였다. 측정으로 계산된 공기커마강도는 제조사에서 제공된 교정치보다 약 0.5% 더 높게 측정되었다.

결론적으로, 제조사에서 제공되는 교정 검증서의 공기커마강도는 신뢰할 수 있는 정확성을 가졌다는 결과를 얻었다. 측정에서 우물형 이온함 안의 죽은 공간 길이와 선원의 dwell position으로 이동 오차 그리고 산란선의 영향 등을 고려하면, 정확한 측정과 교정의 결과를 얻을 수 있다고 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Goetsch SJ, Attix FH, Dewerd LA, Thomadsen BR : a New Re-entrant Ionization Chamber for the Calibration of Iridium-192 High Dose Rate Sources, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 24, 167-170, 1992
2. Murali TK Nair, Mei-Chang Cheng : HDR Source Calibration Methods and Discrepancies, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 38(1), 207-211, 1997
3. ICRU Report 24 : Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures, Bethesda, 1976
4. Tortorelli JP, Simion GP, Koslowski SD : a Compilation of Current Regulations, Standards, and Guidelines in Remote Afterloading Brachytherapy, U.S. Nuclear Regulatory Commission, sec 4.2.3, 31-31, 1995
5. AAPM Report 51 : Dosimetry of Interstitial Brachytherapy Sources, American Association of Physicists in Medicine, *Med Phys.*, 22(2), 1995
6. Update of AAPM TG43 Report : A revised AAPM Protocol for Brachytherapy Dose Calculations, *Med Phys.*, 31(3), 2004
7. AAPM TG56 Report: Code of Practice for Brachytherapy Physics, *Med Phys.*, 24(10), 1997

8. UW-ADCL, Appendix3 : Description of Reported  
UW-ADCL Well-Type Ionization Chamber Calibration  
Coefficients, UW-ADCL, 1-6, 2005

---

• Abstract

---

## Quality Assurance of Air Kerma Strength for Ir-192 High Dose Rate Source

Jong-Eon Kim · <sup>1)</sup>Chun-Sil Yoon · <sup>2)</sup>Sung-Hyun Kim

*Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical Sciences and Engineering, Inje University*

*<sup>1)</sup>Physics, College of Natural Science, Gyeongsang National University*

*<sup>2)</sup>Physics, College of Natural Science, Chonnam National University*

AAPM TG43 report has recommended to measure air kerma strength with the strength of source. Main purpose of this study is to verify the accuracy of air kerma strength provided by manufacturer. Materials for this study were MAX-4001 Electrometer, HDR 1000 Plus of the corporation of standard imaging, and 6 french bronchial Applicator with 1000 mm.

we measured ionization current in 10-90 mm range from the bottom of the central axis of chamber. The reference point of calibration displayed by the maximum ionization current in the ionization current curve was measured, and air kerma strength was computed from the maximum ionization current.

we acquired 50 mm distance to correspond with the maximum ionization current in the ionization current curve. Its distance has perfectly fitted to the source reference point of calibration certificate of UW-ADCL.

Air kerma strength computed value has measured about 0.5% more than calibration value provided by manufacturer. Air kerma strength of calibration certificate provided by manufacturer has acquired reliable results.

This study shows that considering the move error of dwell position of source and the dead space length in well-type chamber is a good way to get an accurate result.

---

**Key Words :** Strength of source, Air kerma strength, Well-type chamber