

시험선원을 이용한 기준 전리함의 감도변화와 임상필드전리함의 성능 안정성 비교

계명대학교 의과대학 의공학과

최 태 진

치료효과를 보증하기 위해서는 조사선량의 5% 이내의 선량오차가 방사선생물학적 의미가 높은 것으로 잘 알려져 있다.

따라서 중앙치료를 위한 강내조사 선원이나 선형가속기의 고선량율의 선량 평가는 정확하고 안정적 평가가 이루어져야 된다.

선량을 평가 교정하기 위해 전리함의 교정 인정기관의 교정상수를 유지하기 위해 선진국에서는 기하학적으로 고정된 표준선원과 전리함의 사용을 오래 전부터 권고해 왔다.

본 연구는 전리함의 감도 변화를 측정할 수 있는 Sr-90 시험선원을 이용한 임의의 기준 전리함의 장기간 안정성이 1.00 ± 0.01 의 오차 범위에 있음을 알 수 있었고, 고선량을 원격강내조사선원인 Co-60 선원에 대한 기준전리함의 출력선량에 대한 임상측정용 전리함의 출력선량은 평균 0.997 ± 0.01 의 오차범위에서 평가될 수 있었으며, 최대오차는 예상선량에 -2.5% 였다.

이 실험을 통해 반감기가 긴 시험선원을 이용하여 임상 측정용 공기전리함의 안정적 성능을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

중심단어 : 방사능 표준선원, 검출기 감도

서 론

치료용 방사선 장치의 출력선량은 다량의 방사선을 환부에 조사하고, 치료효과를 보증하기 위해서는 조사선량의 5% 이내의 오차를 IAEA 에서는 권고하고 있고, 5%의 선량오차가 방사선생물학적 의미가 높은 것으로 알려져 있다¹⁾. 따라서 선형가속기의 고선량율의 선량 평가는 더욱 정확하고 안정적 평가가 이루어져야 된다고 본다.

임상필드에서 비교적 정확한 선량을 교정하고 평가하기 위해서 선진국에서는 기하학적으로 고정된 표준선원과 전리함을 사용해 교정계수의 확인을 오래 전부터 권고해 왔다.

표준선원에 의한 기준 전리함에 대한 정기적 점검은 전리함의 교정 인증기관(Accredited Dosimetry Calibration Laboratory, ADCL)에서 인정한 초기 교

정계수의 안정적 유지를 확인하고, 출력선량 측정용 전리함의 선량감도 보정에 응용된다. 표준선원은 장기적 안정되게 방사선을 방출하는 선원을 이용하며, 정상상태에서는 변화가 없는 것으로 생각하여 사용되고 있다.

선진국 미국에서는 ADCL과 Nuclear Regulatory Commission 위임을 받은 기관과 국립방사선방호계측위원회(NCRP)은 방사선치료 교정에 쓰이는 전리함은 2차표준기관(ADCL이나 국립표준기술기관 NIST)에서 매 2년마다 교정을 받기를 권장하고 있으나, 표준선원을 이용하여 전리함의 감도의 변화가 $\pm 1\%$ 이상인 경우 교정받도록 권장하고 있다.²⁾

국내에서는 국립보건원 방사선표준과와 대전 한국에너지표준연구소에 전리함의 교정절차가 있으나 활성화되기는 90년대 중반부터 활성화되기 시작한 것으로 본다.

국내에서는 의학물리학회에서 방사선표준선량평가

를 위해 94년부터 IAEA 277과 TG-21을 근거로 국내 표준측정법을 발표하였다.^{3,4,5)}

1999년대 후반부터 선형가속기의 선량평가에 관심이 높아져 지역 병원기관별 그룹을 만들어 선량을 평가하는 운동이 일어나 정확한 선량평가를 위한 노력을 볼 수 있어 고무적이다.

본 연구자는 선량 감도에 영향을 줄 수 있는 고정밀 회로로 구성된 전원계의 장거리 이동에 따른 위험을 줄이고, 전위계에 영향을 줄 수 있는 계기감도 변화 및 교정기간 중 선량평가의 지속성을 위해 표준선원을 이용한 기준전리함의 감도를 측정 한 후, 비교 전리함을 원격 강내조사 선원인 Co-60 감마선에서 검출기의 안정성을 측정하기 위해 두 전리함을 플라스틱 Jig의 동일거리에 설치하여 필드 전리함에 대한 선량감도의 안정성을 발표하고자 한다.

대상 및 방법

본 원에서 장기간 선량안정성을 유지하기 위해 사용한 전리함은 2개이며, 기준선량을 위한 전리함은 PR-05(Capintec Inc, NJ)와 전위계 Farmer2505A이며, 방사선장에 이용되는 전리함은 IC-10 전리함과 Capintec 192(Capintec Inc, NJ)으로, 물리적 규격은 Table 1과 같다.

장기간 검출기의 감도변화는 원격강내조사 선원인 Co-60 선원(1.32Ci, 1988)의 선량 측정을 통해 확인하였다.

표준선원은 Sr-90(Nuclear Enterprises,Ltd, England Model 2503)으로 강도는 33MBq (0.892mCi)이며, PR-05 기준전리함을 지그에 고정하여 측정하였다. 표준선원의 조사시간은 전위계의 전리량 계측의 변화를 고려하여 10 분간 조사되었으며, 시간은 Farmer 2505A의 설정시간으로 정해졌다. 선량은 5회 측정하여 평균하였으며, 교정된 기압과 온도를 이용하여 전리량의 보정을 시행하였고, 선량평가는 선량규정 TG-21을 따랐다. 기준 전리함의 선량은 초기 측정값 S_0 을 기준으로 장기간 검출기의 감도를 조사하고, Co-60 방사선장에서 필드 전리함의 감도를 비교하였다.

기준 전리함은 년 1회 표준선원을 감도측정을 시행

Table 1. Characteristics of reference chamber(PR-05) and IC-10 ion chamber

Chamber	Diameter (mm)		Volume (cc)	Wall material	Wall Thickness (mm)	N_x (nC/R) at 22°C
	outer	inner				
PR-05	6.4	4.0	0.14	Air eq. Plastic	1.2	0.0420
IC-10	6.4	6.0	0.147	C-552	0.4	0.0467

하였으며, 측정감도변화를 10년 장기간 조사하였다.

표준선원에 대한 표준전리함의 계기는 S_t 는 시간에 따라 붕괴하므로 잘 알려진 입자붕괴 함수인

$$S_t = S_0 e^{-\log 2 \times t/T} \quad (1)$$

과 같이 구하여 보정한다. 여기서 S_0 는 초기 감도의 계기치이며, S_t 는 t 일을 경과한 선원의 계기치이며, T 는 표준선원의 반감기(28.1년)을 적용하였다.⁶⁾

코발트-60 강내조사선원(1.32Ci)을 중심으로 좌우 20cm 거리에 0.5g/cm² 두께의 Build-up 쉘을 씌운 기준전리함과 필드전리함을 고정할 수 있는 플라스틱 지그를 설치하여 동시측정을 통해 감도를 비교하였다. Co-60 선원의 전리량은 기온기압보정과 반감기는 5.26년을 적용하여 두 전리함의 감도를 얻었다.

필드 선량계측에 이용된 전리함의 모델은 IC-10(Wellhoph, 독일)과 전위계는 Capintec -192를 사용하였다. 전리함 IC-10은 10년 사이 2회 교체되었으며, 교체 구입될 때 ADCL의 교정을 필요하였다.

방사선장의 선량계의 선량감도는 초기 도입시 공인된 교정계수를 이용하여 기준 전리함의 단위선량당 전리량을 구한다. 이때 방사선장의 출력선량은 TG-21규정에 따랐다.⁵⁾

기준 전리함과 필드 전리함을 코발트-60 감마선에 동시적으로 조사하여 각각 M_s 와 M_f 를 얻었을 때, 두 전리함 중 어느 한 전리함의 공인된 보정계수가 있는 경우 나머지 한 전리함의 교정계수를 비교 값으로 구할 수 있다.

본 실험에서는 필드 전리함의 공인된 조사선량보정계수를 N_f 라 하고, 임의의 방사선장의 동일 기하학적 조건에서 두 전리함의 계기치를 각각 M_s 와 M_f

라 둘 때, 기준전리함의 조사선량보정계수 N_{xS} 는

$$N_{xS} = (M_S / M_F) \times N_{xF} \quad (R/nC) \quad (2)$$

와 같이 된다.

장기간 기준전리함의 감도는 시험선원의 초기 감도에 대한 검사시기의 감도의 비와 비례하여 변하게 된다. 따라서 N_{xS} 의 시험선원에 대한 보정 C_{ref} 은 다음과 같이

$$C_{ref} = St/S_o \times N_{xS}(R/nc) \quad (3)$$

구하여 감도비교의 근거로 삼았다. 일정 기간 t 이 경과한 후, N_{xS} 는 표준전리함의 시험선원에 대한 감도를 얻어 방사선장에 사용하는 전리함의 교정계수가 변함 없이 유지될 수 있는 지를 알 수 있다.

전리함을 코발트-60 감마선의 장에서 전자평형을 유지한 조사선량교정계수 N_{gas} 는

$$N_{gas} =$$

$$\frac{N_x \cdot K \cdot (W/e) A_{ion} A_{wall} \beta_{wall}}{\alpha (L/\rho)_{gas}^{wall} (\mu_{en}/\rho)_{air}^{wall} + (1-\alpha) (L/\rho)_{gas}^{cap} (\mu_{en}/\rho)_{air}^{cap}} \quad (4)$$

와 같이 구한다. 여기서 $(L/\rho)_{gas}^{wall}$ 는 기체의 저지능에 대한 벽물질의 저지능비를 말하며, cap 은 고에너지광자에 의한 전자평형을 유도하는 Buildup cap 재질을 나타내고, μ_{en}/ρ 은 방사선 에너지에 따른 평균 질량에너지흡수계수를 의미한다.

N_{gas} 는 방사선의 에너지와 전리함의 벽물질과 전자평형 재질 및 흡수체의 재질에 따라 차이가 난다. 따라서 본 실험에 이용된 중요 변수의 값은 Table 2 와 같이 주어졌다.

전리함 IC-10의 벽재질은 Shonka C-552 이며 밀도 1.76으로 질량 구성비율은 H 2.473 %, C 50.161 %, O 0.453 %, F 46.529 % 및 Si 0.384 %로 구성되어 공기등가벽으로 단위질량당 전자수를 공기와 비교하였다.

IC-10 전리함의 이온 수집율 A_{ion} 은 0.995, 전리함 변위 A_{wall} 은 0.989를 얻었다.

표준전리함에 대비한 방사선장의 전리함의 선량감도

Table 2. Parameters of IC-10 ionization chamber in Co-60 gamma rays

Fraction of chamber wall	$(L/\rho)_{gas}^{wall}$	$(\mu_{en}/\rho)_{air}^{wall}$	$(L/\rho)_{gas}^{cap}$	$(\mu_{en}/\rho)_{air}^{cap}$
0.53	1.000	1.000	1.103	0.925

* The nomination is referred to text.

는 NCRP 의 권고안에 따라 ± 1 % 이상의 오차가 있을 때 전리함의 교체를 추진하였다.

결과 및 토의

표준전리함의 측정은 Sr-90 (33MBq, 1987 교정) 반감기 28.1년으로 안정된 베타선원이 든 표준선원 용기에 알미늄 파이프 Zig(#23239) 에 삽입고정하면 항상 선원에서 동일 위치에 고정 설치되는 기하학적 구조로 이루어져 있다.

선량감도는 시험선원의 지수함수적으로 붕괴감쇠되는 양을 보정하여 초기 측정일을 기준으로 일정 시간이 경과한 후 예상되는 전리량을 기준으로 측정 전리량을 비교하였고, 기준전리함과 필드 전리함의 감도를 동시 측정하였다.

표준전리함으로 이용된 PR-05 전리함은 외경은 6.4 mm, 내경 4.0 mm, 공기함 길이 11.5 mm이고 전리함의 길이는 31 mm 이며 공기 흡배기 홈이 있다.

방사선장에 이용될 전리함은 조사선량교정계수 N_x 가 필요하며, N_x 는 조사선량이 알려진 Co-60 표준선원에 대한 전리함의 계기치(nC)로부터 $N_x = XM^{-1}(R/nC$ 또는 R/C -at $22^\circ C$) 을 얻는다.

방사선장의 전리함은 IC-10 전리함은 단위질량당 전자밀도는 3.02×10^{23} 개로 공기의 3.01×10^{23} 에 비해 거의 같은 공기등가벽임을 확인하였다.

전리함 IC-10(Serial No. 241, 독)은 구입시 제조국의 인정서를 갖추었으며, Co-60 선원에 대한 감도는 0.047 nC/R-at $20^\circ C$ 이었고 조사선량교정계수 N_x 는 21.3 R/nc-at $20^\circ C$ 였다.

TG-21 규정에 따른 사용자의 전리함의 공동-기체 교정계수 N_{gas} 는 기온 $22^\circ C$ 를 기준으로 구한 결과 $18.3cGy/nC$ 를 얻었다.

흡수체med의 흡수선량 $D(cGy)$ 은 $D(cGy) = M N_{gas} (L/\rho) \frac{med}{air} P_{wall} P_{ion} P_{repl}$ 과 같이 구할 수 있다. 여기서 M 은 기준기온기압(22°C, 760 mmHg)에 보정된 계기치이며, $(L/\rho) \frac{med}{air}$ 는 에너지에 따른 공기의 저지능에 대한 흡수체의 저지능의 비로 코발트-60에너지에서는 1.134 이다. 또 P_{wall} , P_{ion} 및 P_{repl} 은 벽물질 과 이온재결합 및 선량기울기보정계수이며 코발트-60에서는 각각 0.99, 0.995 및 1.000 를 적용하였다.

시험선원을 이용하여 10년간 기준 전리함의 감도변화는 Fig1과 같이 초기 감도에 비해 $\pm 0.5\%$ 이내의 감도변화를 보였으며, 고선량을 강내조사 선원인 코발트-60 감마선장에서 기준전리함과 필드 전리함을 비교한 결과 Fig.2 와 같이 $\pm 2.0\%$ 이내 있어 선량안정성이 유지됨을 확인할 수 있었으며, 최대오차는 -2.5% 를 보였다. 두 전리함의 감도는 초기치와 거의 동일 하였다.

방사선장에서 장기간 선량안정은 방사선치료선량결정과 예후에 중요한 역할을 하며, 치료 전 과정의 오차를 ICRU에서는 5% 이내로 권고하고 있다.

Fletcher 등(1966)은 NSD(Nominal Standard Dose) 의 10% 를 줄였을 때 supraglottic 상피암의 제어확률이 70% 에서 10% 로 감소되었다는 보고를 한 바 있으며⁷⁾, Stewart와 Jackson(1975)는 종양선량 $\pm 5\%$ 의 차이에서 여러명의 환부에서 재발이 발생되었다고 보고한 바 있다⁸⁾.

Wambersie(1969)는 임상에서 $7-10\%$ 의 오차 범위의 선량오차에서 현저한 방사선생물학적 변화가 있음을 밝힌 바 있어 선량평가의 중요성을 강조하였다⁹⁾. 이외에도 임상 결과의 보고는 종양선량의 적은 오차에서도 재발이나 방사선부작용의 증가를 볼 수 있다는 발표가 많다. 일부 학자는 종양선량을 정상 조직의 내용선량의 5% 차이로 근접해 치료할 수 있다고 강하게 주장하고 있다.¹⁾

ICRU 24 보고서에서는 환부내 한 지점이 아닌 여러 평가지점의 종양선량이 $\pm 5\%$ 범위내의 흡수선량이 정확하게 도달해야 한다고 결론을 내고 있다.

종양내 $\pm 5\%$ 의 흡수선량은 종양치료선량이 균등분포를 얻어야 한다는 것도 암시하고 있다고 본다.

더욱, 일부 학자는 $\pm 2\%$ 오차를 요구하는 경우가 있으나, ICRU에서는 실질적으로 여러 오차요인이 있어 그 요구를 달성하기 쉽지 않다고 결론에 덧붙이

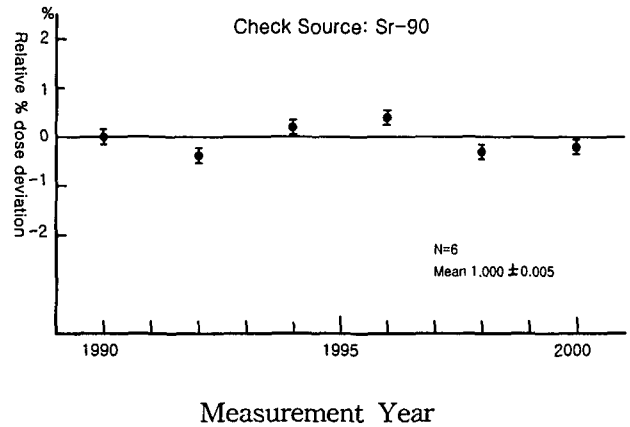


Fig.1. Relative percent dose deviation of the reference ion-chamber in a radioactive check source for a long term stability

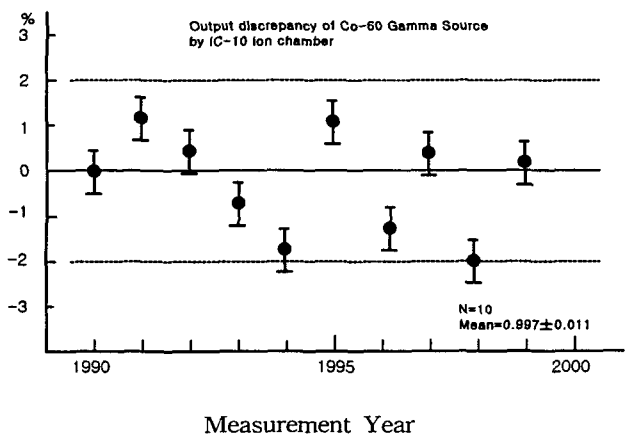


Fig.2. The % dose discrepancy of Co-60 gamma source of Buchler 3K unit. The maximum error showed by 2.5% lower than expected dose but the average discrepancy showed 0.997 within 1.1% uncertainty.

고 있다.

종양선량의 오차는 시술자의 미묘한 선량 결정폭과 기계적 선량오차 및 미지의 변수와 인위적으로 제어될 수 없는 오차, 방사선물리학자의 오판과 부정확한 물리적 변수의 이해가 선량평가에 큰 영향을 주게 되어 일어난다. 따라서 많은 오차요인 중에서 특히 장기적이고 전 방사선치료환자에게 선량오차가 전해질 수 있으며, 보이지 않는 방사선물리학자의 선량평가는 정확성과 안정성이 유지되어야 하고, 방사선치료 구조상 선량평가의 오차는 평균 $\pm 2\%$ 이내로 강조되어야 한다고 본다.

이 기준을 유지하기 위해서는 방사성 반감기가 긴 안정된 시험선원을 이용하는 방법과 국가 표준기관을 이용하는 방법과 전리함 제작국의 표준기관의 선량교정을 취득하는 방법 중에 하나를 이용하는 방법이 있다.

선량평가는 전리함과 신호케이블, 전위계의 안정성이 종합된 평가와 오차범위를 유지할 필요가 있다. 본원에서는 정밀한 전위계의 장거리 운반이동과 신호케이블의 보안성을 고려하여, 시험선원 Sr-90과 필드 선원으로 코발트-60 선원을 이용하여 기준 전리함과 방사선장의 전리함의 성능유지 및 검사를 시행비교하고 평균 $\pm 2.0\%$ 이내의 안정성이 확인되었으며, 선형가속기의 펄스형 방사선장에 안심하고 이용할 수 있었다.

NCRP 에서는 표준선원과 기준전리함의 오차범위를 $\pm 1\%$ 이내로 정하고 있어 본원의 기준전리함의 오차범위는 적합한 것으로 생각한다.²⁾

본 연구에서 조사된 바 10년간 2회의 전리함 교체가 있었고, 3회의 신호케이블을 교체한 바가 있으며, 코발트-60 선원의 강도가 작아서 계기오차를 줄이기 위해 충분한 측정 시간동안 나타나는 Back ground 교정이 필수적이었다.

방사선장에 사용되는 전리함은 주로 선형가속기의 방사선측정용 매주 측정하게 되므로 신호케이블의 설치와 회수과정에 신호케이블의 꺾임이나 눌림에 의한 손상을 발견하는 경우가 있었으며, 교체가 불가피하였으며, 연결시 접촉저항의 차이 등이 있어 전리함과 전위계의 안정의 중요성에 못지 않게 신호케이블의 안정도 매우 중요하므로 빈번한 사용에 대비한 고정된 설치가 바람직할 것이다.

결 론

방사선치료에 적용되는 오차는 선량계획에서부터 선량계측 및 전 치료과정에서 일어날 수 있으므로, 방사선치료결과 및 예후에 크게 영향을 미치는 선량평가의 오차는 가능한 한 $\pm 2\%$ 이내로 줄이는 노력이 필요하다.

본 연구에서는 정확한 선량을 평가하기 위해 Sr-90시험선원과 지그에 삽입되는 임의의 기준전리함을 정하여 Sr-90 시험선원에 대한 선량감도를 측정 결과 10년간 $\pm 0.5\%$ 이내의 감도오차를 보였으나

무작위적 분포를 보여 경향성은 확인되지 않았다.

임상 방사선장에 이용되는 필드 전리함은 코발트-60 감마선 장에서 기준전리함과 동일한 측정위치에서 선량을 평가하고 비교한 결과 $\pm 2\%$ 내의 오차범위를 보이므로, 시험선원과 기준전리함을 이용하여 안정적이고 장기적인 선량평가를 기대할 수 있었다.

참고문헌

1. ICRU REPORT 24: Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or Gamma rays in radiotherapy procedures. ICRU Report (1976)
2. Barish RJ and Lerch IA: Long-term use of an isotope check source for verification of ion chamber calibration. Med. Phys. 19(1):203(1992)
3. 한국의학물리학회: 방사선량의 표준측정법. 의학 물리. 2(1):38(1991)
4. An International Code of Practice: Absorbed dose determination in photon and electron beams. IAEA. (1987)
5. Task Group 21. Radiation Therapy Committee: Protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams: Med.Phys. 10(6):741(1983)
6. Bureau of Radiological Health: Radiological Health Handbook. US department of Health, Education and Welfare.(1970)
7. Fletcher GH: Tongpoon W et al: Whole pelvis irradiation with 4000 rads in stage I and stage II cancers of the uterine cervix. Radiology 86: 436(1966)
8. Stewart JG and Jackson AW: The steepness of the dose response curve both for tumor cure and normal tissue injury. Larynscope 85: 1107 (1975)
9. Wambersis A, Dutreix J, dutreix A: Precision dosimetry requires an radiotherapy. J Belge Radiology 52:94(1969)

Comparison the reference ion chamber in using the radioactive check source and field ion chamber for output dose for Co-60 source of remote afterloading system

TaeJin Choi, Ph.D

Keimyung University, School of Medicine, Taegu

It is well known that assurance of the radiation therapy needs for an accuracy of $\pm 5\%$ in the delivery of an absorbed dose to target volume. Therefore, the dose evaluation of brachytherapy source and/or linear accelerate beam must be a stability with accuracy. In an advanced country, they recommended to use the radioactive check source for reference air ionization chamber for a stable response of radiation field chamber.

In this experiments, the radioactive source Sr-90 and PR-05 air ionization chamber were used for standard source and reference ion chamber.

The response of reference ion chamber showed as an 1.000 ± 0.010 uncertainty for 10 years long and the evaluation of dose discrepancy of clinical field ion chamber showed as 0.997 ± 0.011 in a ^{60}Co brachytherapy source.

In our experiments, we can assurance the long half-life standard source is reliable to preserve the calibration factor of reference chamber in stability.

Key words: Radioactive check source, chamber sensitivity