

Air Density Correction of Ionization Chamber using ^{90}Sr Radioactive Check Device

Sung Y. Park^{*,†}, Woo C. Kim^{*}, Dong O. Shin[†], Young H. Ji[†], Soo I. Kwon[†],
Kil D. Lee[†], Young K. Cho^{*} and John J. Loh^{*}

^{*}Department of Radiation Oncology, Inha University

[†]Department of Physics, Kyonggi University

^{90}Sr 방사성 동위원소를 이용한 전리함의 대기 보정계수 측정

박성용^{*,†} · 김우철^{*} · 신동오[†] · 지영훈[†] · 권수일[†] · 이길동[†] · 조영갑^{*} · 노준규^{*}

^{*}인하대학교 의과대학 방사선종양학교실

[†]경기대학교 이과대학 물리학과

(1998년 11월 20일 접수, 1999년 2월 12일 채택)

Abstract - It is required to measure air density correction factor at the time of absorbed dose calibration or measurement. In general, thermometer and barometer are widely used for air density correction. However, this can be done using the radioactive check device with better accuracy. The measurements of air density correction were performed by using the radioactive check device, Unidos electrometer, and 0.6 cc Farmer-type ion chamber of PTW under the different environmental conditions. Above experiments were repeated with thermometer and barometer. By comparing the two methods, they were within the difference of 0.2 %. The overall uncertainty for the dose found in thermometer and barometer was 1.2 - 1.6 %, depending upon either one step or two, whereas the overall uncertainty for the radioactive check device was 1.02 %. This method may reduce the possible error which could occur when thermometer and barometer are not calibrated at regular basis.

Key Words : air density correction, Sr-90 radioactive check device, temperature, pressure, dose calibration

요약 - 전리함을 사용한 흡수선량 측정시 대기 보정계수의 측정은 필수적인 요소이다. 일반적으로는 기압계 및 온도계를 이용하여 대기 보정계수를 얻고 있는데 본 실험에서는 ^{90}Sr 방사성 동위원소를 사용하여 보정계수를 얻고 그 값들을 비교하고자 한다. PTW 사의 Radioactive Check Device, Unidos Electrometer 및 0.6 cc Ion Chamber를 이용하여 각각의 다른 환경 조건하에서 대기 보정계수를 구하고 온도계와 기압계를 사용하여 구한 대기 보정계수를 비교해 본 결과 그들은 0.2 % 이내로 잘 일치하였다. 이론적으로 온도계 및 기압계를 사용할 경우 전체 선량의 불확정도는 $\pm 1.2 - 1.6$ % 인데 반하여 ^{90}Sr 방사성 동위원소를 사용할 경우 전체 선량의 불확정도는 ± 1.02 %로 계산할 수 있다. ^{90}Sr 방사성 동위원소를 사용한 방법은 온도계 및 기압계의 정기적인 검교정이 없을 경우 발생할 수 있는 오차를 줄일 수 있으며 보다 정확한 보정계수를 얻을 수 있다.

중심어 : 대기 보정계수, ^{90}Sr 방사성 동위원소 측정기구, 온도, 기압, 선량 교정

서론

현재 방사선 치료시 거의 대부분은 의료용 가속기의 고 에너지 X선과 전자선을 이용하고 있다. 국제방사선단위위원회(ICRU)는 방사선 투여선량의

$\pm 5\%$ 는 방사선 치료 성적의 성패에 직접적인 관계가 있으므로, 방사선 투여선량의 정확도는 2% 이내로 높여야 하고 방사선치료의 전체적인 불확정도는 5%를 넘지 않도록 권고하고 있다.[1] 그러므로, 방사선량의 정확한 측정은 방사선치료의 기

본이 되는 매우 중요한 요소이며, 방사선의 종류, 에너지, 조사범위에 따른 정확한 선량 측정이 요구되고 있다.[2,3,4,5] 인체 조직에 조사되는 방사선량은 전리함, 반도체 등의 방사선 검출기를 이용한 간접적인 측정만이 가능하고, 인체 조직내 깊이 따른 선량분포는 조직등가 팬텀을 이용하여 예측되어야 하므로, 흡수선량의 정확도는 인체 조직과 조직등가 팬텀의 구성 성분의 차이에 대한 보정인자를 잘 적용하는데 있다.

방사선치료를 위한 선량 측정시에 사용되는 선량계로는 전리함 선량계가 일반적이고, 광범위하게 사용되고 있다. 이것은 취급이 용이하고, 측정의 재현성이 우수할 뿐 아니라 여러 가지 측정 상황에도 적용할 수 있는 광범위한 적응 능력을 가지고 있기 때문이다. 그러나 그 적응 한계, 즉 취급상의 주의사항을 숙지하고 있어야 한다. 대부분의 전리함은 외부와 서로 통해서, 외부 대기 조건과 빨리 평형이 되도록 설계되어 있다.[6,7,8] 따라서 전리함 공기의 밀도는 주위 온도 및 기압에 따라 변화하므로 흡수선량 측정시 대기 보정계수의 측정은 필수적인 요소라고 할 수 있다. 선진 각국 및 각 학회의 표준측정법[2,3,4,5] 에서 전리함 교정시 기준 조건은 온도 20°C 혹은 22°C, 기압 1013.2 hPa(혹은 760 mmHg)을 권고하고 있으므로 선량 측정시 이 기준 조건에 대한 보정을 해주어야 한다. 일반적으로 전리함내 공기의 온도 및 기압에 대한 밀도 변화를 보정하기 위하여 기압계 및 온도계를 사용하여 보정계수를 얻고 있는데 본 연구에서는 점검선원으로 사용하는 방사선원으로 ⁹⁰Sr 과 ¹³⁷Cs 등의 반감기가 긴 핵종 중에서 ⁹⁰Sr 방사성 동위원소를 사용하여 대기 보정계수를 얻고, 그 값들을 기압계 및 온도계를 사용하여 얻은 보정 계수 값과 비교하고자 한다.

재료 및 방법

전리함을 이용한 선량 측정시 전리함 선량계의 중요한 취급 항목중 전리함내 공기의 온도 및 기압에 의한 밀도 변화를 보정하기 위하여 ⁹⁰Sr Radioactive Check Device(Type PTW 48002, 독일), 전기계(PTW Unidos Electrometer, 독일), 원통형 전리함(PTW 30001, 0.6cc Farmer-type Ion Chamber, 독일) 및 정도 관리된 온도계, 기압계를 사용하였다.

본 실험에서 사용한 PTW사의 Radioactive Check Device는 방사능이 33.3 MBq이며, 반감기가 28.7년인 ⁹⁰Sr을 방사성 동위원소로 사용하고

있으며 각 전리함별로 별도의 어댑터가 있어 전리함의 측정점과 ⁹⁰Sr 선원간의 거리가 일정하게 유지되고 매 측정시 재현성이 있도록 설계되어 있다.(그림). 측정원리는 Radioactive Check Device를 측정환경조건과 평형상태로 한 후에 측정하고자 하는 전리함의 어댑터를 Radioactive Check Device에 설치하고 전리함을 어댑터에 삽입한다. 전리함을 전기계에 연결하고 측정시간을 전리함의 시험 성적서에 있는 측정시간과 동일하게 하여 ⁹⁰Sr 선원에 대한 전리량을 측정한다.

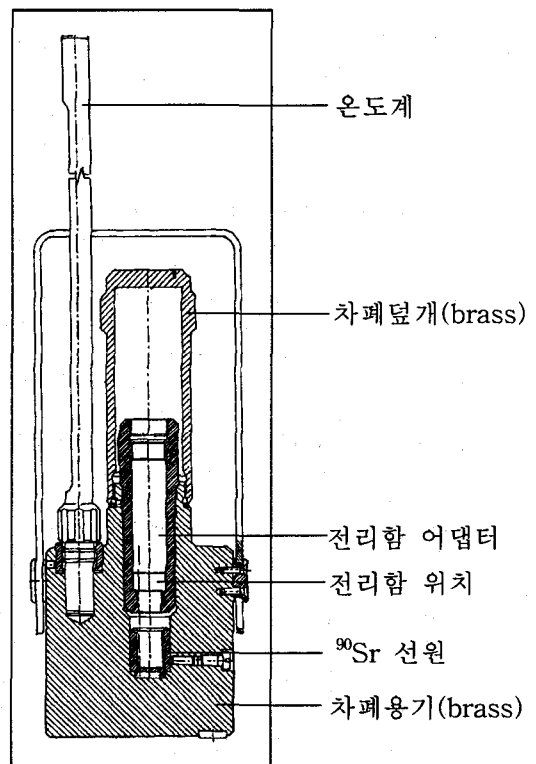


Fig. Schematic diagram of radioactive check device

교정된 온도계와 기압계를 사용할 경우 선진 각국 및 각 학회의 방사선량 표준 측정법에서 권고하고 있는 대기 보정계수에 대한 기준 조건식 [6,7,8]인 $C_{TP} = \frac{273.2+T}{273.2+T_0} \times \frac{1013.2}{P}$ 를 이용하여 대기 보정계수를 계산하였다.

여기서 C_{TP} 는 대기 보정계수, T는 측정시 온도(°C), T_0 는 기준온도 20°C 혹은 22°C, 그리고 P는

Table. Comparison of air density correction factors for using radioactive check device vs. thermometer and barometer.

Environmental condition (°C, hPa)	Radioactive Check Device	Thermometer and Barometer	% difference
24.0, 1026.0	0.994	0.992	0.2
20.9, 1014.5	1.002	1.002	0.0
21.9, 1018.0	1.002	1.003	0.1
23.5, 1022.5	1.004	1.003	0.1
21.8, 1012.5	1.005	1.006	0.1
22.7, 1015.0	1.008	1.007	0.1
22.4, 1013.0	1.008	1.009	0.1
23.6, 1015.5	1.010	1.011	0.1
23.1, 1014.0	1.010	1.012	0.2
22.9, 1012.0	1.010	1.011	0.1
24.1, 1016.5	1.013	1.011	0.2
22.8, 1010.0	1.013	1.013	0.0
24.0, 1013.0	1.015	1.014	0.1
24.4, 1014.0	1.014	1.014	0.0
23.8, 1011.0	1.015	1.015	0.0
23.7, 1009.0	1.018	1.017	0.1
25.1, 1014.0	1.018	1.019	0.1
22.9, 1005.0	1.020	1.019	0.1
24.0, 1005.0	1.023	1.022	0.1
24.4, 1004.0	1.024	1.024	0.0
25.7, 1005.0	1.029	1.028	0.1
Average			0.09±0.0625

측정시 기압(hPa)이다. 본 연구에서는 식품의약품 안정청 및 국제원자력기구 기술보고서 277[2]에서 권고하고 있는 온도 20°C, 기압 1013.2 hPa을 기준 조건으로 함으로 T₀는 20°C로 하여 계산을 하였다.

⁹⁰Sr 점검용 선원에 의한 대기 보정 방법은 원통형 전리함을 측정조건과 평형상태로 만든 후에 전기계에 연결하여 측정을 하였다. 전리함을 60초 동안 Radioactive Check Device에 조사시켜 얻은 측정값을 기준조건하에서 얻은 교정계수의 값과 비교해서 보정 계수를 얻었다.

위 실험을 각기 다른 측정 환경 즉 다른 온도, 기압 하에서 측정 및 계산을 하였고 ⁹⁰Sr 방사성 동위원소의 반감기를 고려하여 측정값의 보정을 하였다.

이 론

국가 표준기관에서 사용자의 선량측정기는 기준 선량측정기와 비교해서 교정을 한다. 먼저 전리함을 전하량에 대하여 조사선량으로서 교정하고, 전기계를 표시값에 대하여 전하량으로서 교정하는

방법을 고려하면 조사선량 D는 다음과 같은 식으로 간단히 표시할 수 있다.

$$D = MA_E A_C K_{A,D} \quad (1)$$

여기서, M은 표시값, A_E는 전기계에 대한 교정계수, A_C는 전리함에 대한 교정계수, 그리고 K_{A,D}는 대기압 보정계수이다. 각각의 교정계수는 ±1%의 불확정도를 가지는데, 이 불확정도는 사용자에 의해서 확인할 수는 없고, 단지 제작사로부터 알 수가 있다. 대기압 보정계수는 온도계 및 기압계를 사용해서 얻을 수가 있는데, 만약 이 기기들이 좋은 상태라면 보통 ±0.5% 정도의 불확정도를 갖는다. 따라서 전체 선량의 불확정도는 $\pm \sqrt{1^2 + 1^2 + 0.5^2 + 0.5^2} = \pm 1.6\%$ 로 계산할 수 있다.

위의 방법을 직접 표시 값에 대하여 조사선량으로서 교정하면 (1)식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$D = MA_{E,C} K_{A,D} \quad (2)$$

이때 전체 선량의 불확정도는 $\pm \sqrt{1^2 + 0.5^2 + 0.5^2} = \pm 1.2\%$ 로 계산할 수 있다.

위의 방법들과는 달리 Radioactive Check Device

를 사용할 경우 (2)식은 다음과 같이 쓸 수가 있다.

$$D = MA_{EC} R^{Cr}/R^c \quad (3)$$

여기서 R^{Cr} 은 기조 조건 (20°C, 1013hPa)하에서 규격화한 값이고, R^c 는 주어진 환경 조건하에서 얻은 값이다. R^{Cr} 의 불확정도는 $\pm 0.2\%$ 이고, R^c 의 불확정도는 $\pm 0.1\%$ 인데 이 값들은 제작사로부터 얻은 것이다.

따라서, 전체 선량의 불확정도는 $\pm \sqrt{1^2 + 0.2^2 + 0.1^2} = \pm 1.02\%$ 로 계산할 수 있다.

그러므로 온도계 및 기압계를 이용한 방법과 비교하여 불확정도를 최대 0.5%까지 감소시킬 수 있다.

결과 및 논의

방사선치료에 있어서 방사선 치료 성적을 높이기 위하여 정확성이 높은 흡수선량 측정이 요구되고 있어 취급이 간단하고, 정밀도가 높은 장점을 가진 공동전리함 선량계를 사용하여 흡수선량을 측정하고 있다. 그러나 공동전리함 선량계에 대한 취급시 전리함내의 온도 및 기압의 변화에 따른 밀도의 보정은 중요하다.

표는 Radioactive Check Device[9]와 온도계 및 기압계를 사용했을 때의 대기 보정계수를 비교한 것이다. ^{90}Sr 방사성 동위원소를 이용하여 구한 대기 보정계수 방법과 온도계 및 기압계를 이용해서 대기 보정계수를 구한 방법을 비교해 본 결과 그들은 평균 0.09%로 잘 일치하였고 본원의 온도계와 기압계가 잘 교정되어 있음을 알 수 있다.

대부분의 전리함의 전리용적(ionizing volume)은 외부와 서로 통하도록 되어 있으므로 전리함의 전리용적은 주위 온도 및 기압에 따라 공기 분자수가 달라진다. 전리함의 전리용적에 존재하는 공기 분자 수와 대기 기압 혹은 온도와의 관계식은 이상기체법칙에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PV = nRT \quad (4)$$

여기서 P는 대기압, V는 전리용적, n은 용적에 있는 몰(mole) 수, R은 이상기체상수, 그리고 T는 용적의 온도를 나타낸다.

온도와 기압의 변화에 따른 보정계수식은 다음과 같이 유도할 수 있다. 두 가지 다른 환경 조건하에서 (4)식을 아래 첨자 1과 2로 구분해서 표시하면

$$P_1V_1 = n_1RT_1 \quad (5)$$

$$P_2V_2 = n_2RT_2 \quad (6)$$

방사선 출력계수 측정은 동일한 전리함을 사용

하고 매 측정시 측정조건이 다르므로 V_1 과 V_2 는 같다. (5)식과 (6)식으로부터

$$P_1/P_2 = n_1T_1/n_2T_2 \quad (7)$$

$$\text{또는 } P_1T_1/P_2T_2 = n_1/n_2 \quad (8)$$

만약 전리함 교정시 기준 조건을(STP)을 P_1 은 1013.2 hPa이고 T_1 은 293.2°K 라 하면 (8)식은 대기 보정계수에 대한 기준식인

$$C_{TP} = \frac{273.2 + T}{293.2} \times \frac{1013.2}{P} \quad (9)$$

으로 나타낼 수 있다.

여기서 C_{TP} 는 n_{STP}/n 과 같다. 식(9)는 실제로 두 가지 다른 온도와 기압조건하에서 전리함의 전리용적에 존재하는 몰 수의 비이다.

국가표준기관에서 채택하고 있는 기준온도는 나라마다 다르게 적용하고 있다. 예를 들면 유럽에서는 20°C를 기준온도로 정하고 있는데 반하여 미국에서는 22°C를 기준온도로 정하고 있다. 그러므로 방사선 선량측정 또는 선량교정시 표준 측정법에 있는 기준온도로 변환을 하여야 하며 기준온도를 잘못 적용할 경우(예를 들면 20°C를 22°C로 적용)에는 대기 보정계수값이 0.7%의 오차를 가져오고 전체선량에도 영향을 미치므로 주의할 요한다.

전리함을 이용한 방사선량 측정시는 (9)식을 사용하여 전리함의 대기 보정 계수를 얻는데 일반적으로 사용하는 온도계와 기압계가 정기적으로 교정 되어있지 않을 경우와 특히 기압계의 지시값이 해수면에 대하여 규격화 되어있는 경우에 온도계와 기압계의 지시값을 가지고 대기 보정계수를 계산하면 전체선량의 오차를 가져온다. 그러나 이론에서 언급했듯이 온도계와 기압계를 이용한 대기 보정계수 측정방법과 비교하여 radioactive check device를 이용한 방법은 불확정도를 최대 0.5%까지 감소시킬 수 있다. 그러나 전리함의 반응감도는 일반적으로 장기간에 걸쳐 변화하므로 적어도 1년에 한번정도 전리함의 교정시 이에 대한 보정이 필요할 것으로 생각되며 전리함의 감도가 일정한 단기간 내에서는 정확한 측정값을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

결론

일반적으로는 전리함내 공기의 온도와 기압에 대한 밀도 변화를 보정하기 위하여 기압계 및 온도계를 사용하여 보정계수를 얻고 있는데 본 연구에서는 점검선원으로 사용하는 방사선원으로 ^{90}Sr 방사성 동위원소를 사용하여 대기 보정계수를 얻

었고, 그 값들을 기압계 및 온도계를 사용하여 얻은 보정 계수 값과 비교하였고 그 차이는 평균 0.09 ± 0.0625 %로 작았다. 원래 점검선원의 주된 목적은 기준 선량계의 경시 변화와 고장의 유무 등의 점검에 이용하는 방사선원이며 ⁹⁰Sr과 ¹³⁷Cs 등의 반감기가 긴 핵종이 이용되고 있으나 ⁶⁰Co 원격 치료기를 사용해도 무방하다. 이것으로 정기적인 기준 선량계의 감도 측정으로 다음 교정 주기까지 기준 선량계의 감도 변동 및 고장의 발견이 가능하다. 그러나 본 연구에서는 전리함의 밀도 보정의 새로운 접근 방법으로 점검선원을 사용하였고 점검 선원인 ⁹⁰Sr 방사성 동위원소를 사용한 전리함내 공기의 온도 및 기압에 대한 밀도를 보정하는 대기보정방법은 온도계 및 기압계를 이용한 방법과 비교하여 불확정도를 최대 0.5 % 줄일수 있으며 온도계 및 기압계의 정기적인 검교정이 하지 않을 경우에 발생할 수 있는 오차를 줄일수 있다.

또한 대기보정계수의 측정은 공동전리함을 이용한 절대흡수선량 결정에 중요한 영향을 미치므로 정확한 측정이 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. International Commission on Radiation Units and Measurements, *Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or Gamma rays in Radiotherapy procedures*, ICRU Report No. 24(1976).
2. International Atomic Energy Agency, *Absorbed dose determination in photon and electron beams*, Technical reports series no. 277(1987).
3. Nordic Association of Clinical Physics, "Procedures in external radiation therapy dosimetry with electron and photon beams with maximum energies between 1 and 50 MeV." *Acta Radiol., Oncol.* 19, 55(1980).
4. American Association of Physicists in Medicine, "A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams." *Med.Phys.*, 10, 741(1983).
5. Hospital Physicists Association, "Revised code of practice for the dosimetry of 2 to 35 MV X-ray, and of caesium-137 and cobalt-60 gamma-ray beams." *Phys.Med. Biol.*, 28, 1097-1104(1983).
6. F.M. Khan, *The Physics of Radiation Therapy*, 2nd ed., pp. 116-117, Williams & Willkins, Baltimore(1994).
7. F.H. Attix, *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*, pp. 326-327, John Willey & Sons, New York(1986).
8. H.E. Johns, J.R. Cunningham, *The Physics of Radiology*, 4th ed., pp. 233, Charles C. Thomas, Springfield(1983).
9. P. Pychlau, E. Schuele, "The exposure rate of a radioactive check device." *Phys.Med. Biol.*, 31(11), 1291-1293(1986).