

식품의약품안전청의 치료방사선 선량보증과 측정불확도

식품의약품안전청 의료기기평가부 방사선표준과

정희교 · 이현구 · 김귀야 · 양현규 · 임천일

식품의약품안전청은 1978년 12월 방사선 분야의 국가교정검사기관으로 지정되어 현재까지 Co-60 선원을 이용 치료준위 방사선측정기에 대한 교정을 수행하고 있다. 식약청의 에어커마와 물 흡수선량 측정값은 국제도량형국(BIPM)과 측정소급성을 유지하고 있으며, 교정계수의 확장불확도는 0.9 %($k=2$)이다. 식약청에서는 외부방사선에 대한 선량보증의 일환으로 1999년 전리함을 이용하여 방사선치료기관의 선량측정을 수행하였으며, 2002년부터 열형광선량계(TLD)를 이용한 선량측정체계를 확립·운영하고 있다. TLD 판독에 대한 측정 불확도는 1.6 %($k=1$)이며, 측정불확도를 감안하여 선량보증의 허용한계를 $\pm 5\%$ 로 설정하였다. TLD 판독값을 선량으로 전환하는 과정에서 선질, 비선형성, 흡수사용 등의 영향을 보정하기 위한 보정정수를 사용하였다. 2003년도 치료방사선 선량보증사업에는 53개 기관(71개 선질)이 참여하였다. 선량보증 결과 71개 선질 중 63개 선질(89%)이 1차 측정에서 허용한계를 만족하였다. 허용한계 초과기관에 대해서는 재측정을 수행하였고, 그 결과 모두 허용한계 이내의 값을 나타냄을 확인하였다.

중심단어: 방사선치료, 열형광선량계, 선량보증, 측정불확도

서 론

방사선치료시 정확한 선량을 환자의 환부에 전달하는 것은 환자를 보호하고 치료효과를 증진시키기 위한 필수조건으로서, 의료용 방사선 중 치료방사선의 선량이 가장 크기 때문에, 오차로 인한 불필요한 선량은 환자에게 심각한 영향을 초래할 수 있다. 일반적으로 환자에게 사용되는 치료방사선의 정확도 기준은 ICRU(국제방사선측정위원회)에서 권고한 $\pm 5\%$ 가 널리 인정되고 있으나, 이보다 훨씬 높은 정확도가 필요하다는 주장도 있다. 환자에게 선량을 전달하기 위해서는 많은 단계를 거치게 된다. 이때 각각의 단계에서는 5%보다 훨씬 높은 정확도가 필요하게 된다. 예를 들어 방사선치료분야에서 선량전달과정을 세 단계(tumor localization, dose calculation 및 machine calibration)로 분류한다면, 각 단계에서 선량의 정확도가 3% 미만이어야만 국제권고기준을 달성할 수 있다. 실제로 이러한 정확도 요건은 상당히 엄격한 것이며, 외부기관과 비교측정을 통해 선량측정에 대한 정확도를 확인하는 절차가 반드시 필요하다. 2004년 현재 국내에는 54개의 방사선치료기관이 Co-60 감마선원 또는 선형가속기를 이용하여 암 치료를 수행하고 있다. 식약청에서는 우리나라 치료방사선의 정확도를 국제적으로 권고되고 있는 수준으로 향상 및 유지시키기 위하여 1999년 전리함을 이용하여 방사선치료기관의 선량측정을 수행하였으며, 2000년부터 TLD를 이용한 선량측정체계를 준비하여 2002년 측정체계를 확립하고 국내에서 운영되고 있는 방사선치료기관을 대상으로 선량보증사업을 연차적으로 수행하고 있다.

재료 및 방법

선량보증을 위한 측정시스템은 크게 TLD, 방사선 조사장치, 판독장치 등 3가지로 구분할 수 있다. 선량보증 사업에 사용하는 TLD는 밀도가 2.64 g/cm³이며 유효원자번호 Z_{eff} 가 8.2인 파우더 형태의 TLD-700(LiF:Mg,Ti, 99.96% Li-7, 0.04% Li-6)이다. LiF 선량계의 특성은 결정의 크기 및 균일도에 밀접히 연관되어 있으므로 80~200 μ m의 크기를 갖는 분말만을 선별적으로 사용하게 된다. 선량계는 열처리를 통하여 선량의 조사 전 또는 후에 선량계의 특성을 균질하게 할 수 있다. 현재 알루미늄 재질의 열처리 판에 선량계 분말을 담고 건조로를 사용하여 400 °C에서 1시간, 80 °C에서 24시간 동안 순차적으

로 열처리를 수행하고 있다. 열처리된 TLD 분말은 한 번에 40 mg 정도의 양을 재현성 있게 분배할 수 있는 분배기 (Dispenser)를 이용하여 외경 5 mm, 내경 2 mm, 전체 길이가 29 mm인 테프론(PTFE) 재질의 캡슐(Capsule)에 약 160 mg 정도 채워서 선량보증을 신청한 의료기관에 발송하게 된다. TLD를 발송 후 의료기관의 조사시간에 맞춰 식약청에서도 선량계에 기준선량(2 Gy)을 조사한다. 기준선량을 조사하기 위해 Co-60 선원이 내장된 감마선 조사장치(Eldorado-6 Teletherapy unit)가 사용한다. 감마선 조사장치의 선량은 현재 방사선치료기관의 방사선측정기 교정에 사용하는 기준전리함(NE 2561 chamber)으로 측정한다. 기준전리함은 국제도량형국(BIPM)에서 교정되어 국제적인 측정소급성을 유지하고 있다. 의료기관에서 조사된 TLD의 판독은 Fimel사의 PCL 3 모델을 사용하여 수행하였다. 분말 형태의 TLD를 판독하기 위해 분배기를 사용하여 알루미늄 재질의 컵(Cupel)에 32 mg 정도의 분말을 재현성 있게 옮겨 담는다.

TLD의 판독값을 선량으로 전환하기 위해서는 교정계수이외에도 흡수선량별 반응도의 비선형성, Co-60 감마선과 선형가속기의 x-선간의 에너지 차이, 홀더 사용의 영향 등을 보정하기 보정정수를 추가로 적용한다. 다만, TLD의 퇴행(Fading) 보정은 의료기관과 같은 시기에 기준선량을 조사함으로써 따로 보정인자를 적용하지 않는다. 교정계수 결정과 보정인자 적용에 따르는 요인별 불확도 및 합성불확도를 표 1과 표 2에 각각 나타내었다. 선량보증의 허용한계는 ± 5 %로서 상대적 편차가 허용한계 이내의 값을 갖는 경우 선량보증서를 발급한다. 허용한계를 초과한 병원에 대해서는 TLD를 재차 송부하여 2차 측정을 수행하며, 2차 측정결과 역시 허용한계를 초과할 경우 직접 병원을 방문하여 선량을 측정한다.

표 1. 식약청 TLD 시스템의 교정계수 결정과 관련된 불확도

Component	Uncertainty (%)		
	Type A	Type B	Combined A, B
1. 전리함을 이용한 Co-60 물 흡수선량 결정	-	0.40	0.40
2. 조사중 캡슐의 위치	-	0.23	0.23
3. 선량계 판독	0.79	-	0.79
합성불확도	0.79	0.46	0.91

표 2. 고에너지 광자선에 대한 TLD 판독으로부터 물흡수선량 결정과 관련된 불확도

Component	Uncertainty (%)		
	Type A	Type B	Combined A, B
1. 선량계 판독	0.79	-	0.79
2. 교정계수	0.79	0.46	0.91
3. 흡수선량별 반응도 비선형성 보정	0.68	-	0.68
4. Fading 보정	-	0.5	0.50
5. Holder 보정	-	0.5	0.50
6. 에너지 보정	0.22	-	0.22
합성불확도	1.33	0.84	1.57

판독이 완료되면 식약청의 판독 값(KFDA measured dose)과 병원에서 조사하였다고 표기한 값(User stated dose)을 이용하여 다음 식과 같이 상대적 편차를 구하게 된다.

$$Deviation (\%) = \frac{(User\ stated\ dose - KFDA\ measured\ dose)}{KFDA\ measured\ dose} \times 100 \quad \text{----- (식 1)}$$

상대적 편차 계산결과 편차가 양수일 경우는 의료기관에서 표기한 선량이 판독된 선량보다 높다는 의미이다. 즉 병원에서 사용하고 있는 방사선량은 실제선량보다 적게 조사되고 있음을 나타낸다. 1996년에서 2001년까지 국제원자력기구 (IAEA)에서는 약 1,000개의 Co-60 감마선과 약 600개의 고에너지 엑스선에 대하여 TLD를 이용한 선량보증을 수행하였다.

그 결과 259개의 선질이 1차 측정에서 허용오차를 벗어났다. 그 허용한계 초과와 원인들을 분석한 결과 선량계 설치시 SAD(Source Axis Distance)와 SSD(Source Surface Distance)를 혼동하여 발생하는 오차가 약 29 %로 가장 많이 발생하였으며, TLD가 선량최대 깊이에 위치한 것으로 계산하여 PDD(Percentage depth dose) 또는 TMR(Tissue Maximum Ratio)을 사용하지 않은 경우가 오차 발생요인의 약 16 %를 차지하였다. 이러한 경우 10~25 %까지 측정오차가 발생할 수 있다.

식약청은 선량보증체계의 점검을 위해 IAEA에서 전세계 2차 표준기관들을 대상으로 수행하는 전리함 교정계수 비교측정 및 TLD 선량보증에 매년 참여하고 있다. IAEA에서 2003년 상반기와 하반기로 나누어 수행한 선량보증에는 전세계에 분포되어 있는 52개의 2차 표준기관이 참여하였으며, 총 84개 선질(Co-60 감마선 57개, 고에너지 엑스선 27개)에 대한 평가가 이루어 졌다. 그 결과 한 개 기관의 Co-60 감마선이 허용한계를 초과하였을 뿐 모든 기관이 허용한계 이내의 값을 나타내었다. 식약청의 선량보증 결과를 표 3에 나타내었다. IAEA의 측정불확도는 1.8 % (k=1)이며, 2차 표준기관들을 대상으로 수행하는 선량보증의 경우 측정값과의 차이에 대한 허용한계는 ± 3.5 %이다. 식약청의 측정결과는 허용한계 이내에서 IAEA의 측정값과 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

표 3. 국제원자력기구에서 수행한 식약청의 2003년도 열형광선량계 측정결과

Beam	Radiation unit	KFDA stated dose (Gy)	IAEA measured dose (Gy)	% deviation relative to IAEA mean dose	IAEA mean dose / KFDA stated dose
Co-60	Eldorado 6	2.00	2.01	-0.2	1.00
		2.00	1.98		
		2.00	2.01		

결 과

2003년도 치료방사선 선량보증사업 수행결과 53개 방사선치료기관의 71개 선질에 대한 선량보증을 완료하였다. 2003년도 치료방사선 선량보증 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 확인할 수 있는 바와 같이 53개 방사선치료기관의 71개 선질 중 1차 측정에서 허용한계 이내의 측정값을 얻은 선질은 63개로서 약 89 %에 해당된다. 11 %에 해당하는 8개의 선질은 허용한계인 ± 5 %를 초과하여 재측정을 수행하였으며, 그 결과 7개 선질은 허용한계 이내의 값을 나타내었다. 2차 측정에서도 허용한계를 초과한 기관은 1개 기관이었으며, 이 기관에 대해서는 측정결과를 바탕으로 발생한 오류원인을 점검하고 재측정을 수행함으로써 허용한계 이내의 측정값을 얻을 수 있었다.

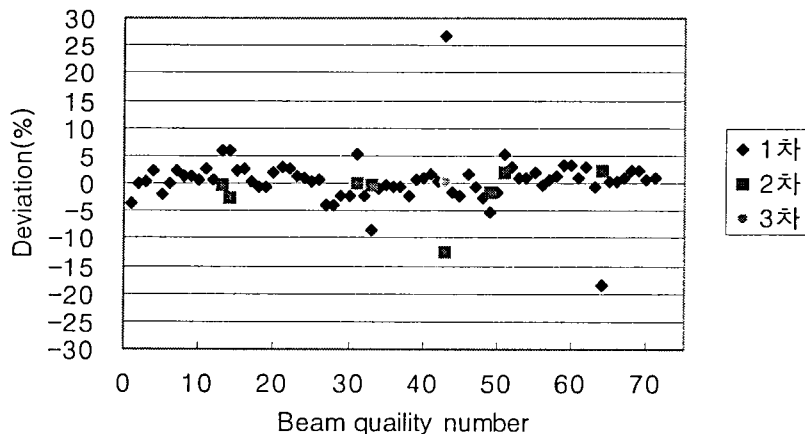


그림 1. 2003년도 열형광선량계를 이용한 치료방사선 선량보증 결과

결 론

2003년도 선량보증 결과 허용한계 초과와 주요원인은 측정절차를 정확히 이해하지 못하였거나 선량계 설치과정의 실수 등으로 추정된다. 이러한 오차는 환자에게 실제로 전달되는 선량과는 차이가 있으나, 선량측정 및 방사선 조사의 중요성을 인식시키는 계기가 된다. 선량보증 사업은 치료방사선량 전달과정에서 발생할 수 있는 다양한 오류들을 사전에 점검할 수 있는 기회를 제공함으로써 국내 방사선치료기관의 선량 정확도를 국제적인 관리기준으로 향상 유지시키고 있다. 신뢰성 있고 지속적인 사업이 되기 위해서는 의료기관들의 적극적인 참여가 요구된다.

참 고 문 헌

1. International Atomic Energy Agency (IAEA), "Absorbed dose determination in photon and electron beams," Technical Report Series 277, IAEA, Vienna (1987)
2. International Atomic Energy Agency (IAEA), "Absorbed dose determination in external beam radiotherapy," Technical Report Series 398, IAEA, Vienna (2000)
3. American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Task Group 45, "Code of Practice for Radiotherapy Accelerators," AAPM report 47 (Reprinted from Medical Physics, Vol. 21, Issue 7) (1994)
4. Horowitz, Y. S. : Thermoluminescence and Thermoluminescence Dosimetry Vol. II, 2-35, 1984.
5. Stanislav Vatrinsky and Joanna Izewska, Reason for deviations outside the acceptance limits in the IAEA/WHO TLD audits for radiotherapy hospitals, SSDL Newsletter No. 46, 24-26 2002.

KFDA TLD Dose Quality Audit and Measurement Uncertainty

Hee-Kyo Jeong, Hyun-Ku Lee, Gwe Ya Kim, Hyun Kyu Yang, Chunil Lim

Medical Devices & Radiation Health Department, Korea Food and Drug Administration

Korea Food and Drug Administration(KFDA) has performed the calibration of therapy level dosimeters for Co-60 radiation since 1979. The reference standard ionization chamber has been calibrated at BIPM in France. The uncertainty on the KFDA calibration coefficients is 0.9 %($k=2$) for air kerma and absorbed dose to water. Since 1999 a national quality audit program for ensuring dosimetry accuracy in Korea radiotherapy centers has been performed by the KFDA. The uncertainty associated with the determination of the absorbed dose to water from the TLD readings for high energy x-ray is 1.6 %($k=1$). The correction factors for energy, non-linearity dose response, and TLD holder are used in the dose determination. Agreement between the user stated dose and KFDA measured dose within $\pm 5\%$ is considered acceptable. KFDA TLD postal dose quality audit program was performed for 71 beam qualities of 53 domestic radiotherapy centers in 2003. The results for quality assurance showed that 63 out of 71 beam qualities (89 %) satisfied the acceptance limit. The second audit was carried out for the centers outside the limit and all of them have been corrected.

Key Words: Radiotherapy, TLD, Quality audit, Dosimetry, Uncertainty