

물 흡수선량 표준에 기반한 선량교정 프로그램 개발

경희대학교 의과대학 방사선종양학교실*, 의학과†, 해부학교실†, 신경외과§
 한양대학교 의과대학 방사선종양학교실^{||}, 국립암센터 양성자치료센터^{||}, 가천의과대학 방사선종양학교실[#]

신동오*† · 김성훈^{||} · 박성용^{||} · 서원섭[§] · 이창건*
 최진호[#] · 전하정^{||} · 안희경[†] · 강진오* · 홍성언*

최근 선량측정의 정확성을 향상시키기 위하여 기존의 공기커마 교정인수에 기반한 표준측정법에서 물 흡수선량 교정인수에 기반한 표준측정법으로 변환하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 미국의학물리학회 AAPM TG-51과 국제원자력기구의 IAEA TRS-398 표준측정법에 대한 선량교정 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 윈도우 환경에서 사용이 용이하도록 비주얼 C++언어를 사용하여 각각의 표준측정법에서 권고하고 있는 방법 및 절차에 따라 사용자의 편의성을 고려하여 개발하였다. 이 프로그램은 이온함에 대한 정보와 물리적인 자료에 대한 표와 그래프 값들을 수식화하여 데이터베이스화함으로써 수작업으로 인해 발생할 수 있는 실수 및 오차를 줄일 수 있다. 개발된 프로그램의 활용을 통하여 국내 실정에 적합한 물 흡수선량 표준에 기반한 표준측정법 개발에 토대를 마련하는데 있어 기여할 것으로 사료된다.

중심단어 : 물 흡수선량 교정인수, 광자선, 전자선, 표준측정법

서 론

국제방사선단위위원회(International Commission on Radiation Units and Measurement, ICRU)에서는 중앙에 투여되는 선량이 계획된 처방선량의 $\pm 5\%$ 이내로 정확하게 조사되어야 한다고 권고하고 있다.¹⁾ 이러한 오차범위는 치료 전과정을 통한 오차로 선량측정 단계에서 $\pm 2.5\%$ 이하의 정확성이 유지되어야 하며, 이들 필요충분조건을 충족시키기 위하여 선진각국의 국가표준기관 및 각 학회에서는 선량측정 이론 및 기술의 고도화로 인해 지속적인 발전을 거듭하여 왔다.¹⁻⁸⁾

현재까지 발표된 고에너지 광자선 및 전자선에 대한 표준측정법은 크게 3가지 범주로 구분할 수 있다. 첫번째 범주는 1980년 이전에 발표된 것들로 국가표준기관으로부터 공기중에서 기준선질에 교정받은 이온함의 조사선량(Exposure) 교정인수와 광자선 및 전자선에 대한 조사선량-흡수선량 변환계수를 사용하는 방법이다. 두번째 범주는 물 흡수선량을 결정하기 위하여 공기중에서 이온함에 대하여 공기커마(Air Kerma) 혹은 조사선량(Exposure) 교정인수에 토대를 두고 있는 표준측정법으로 현재까지 전 세계적으로 가장 많이 사용하고 있다.²⁻⁶⁾ 이들 표준측정법은 공기중에서의 물리량을 물 속에서의 물리량으로 변환해야 하기 때문에 수식체계가

복잡하고, 각각의 변환 및 보정계수의 물리량들에 대한 불확정도가 커서 정확성을 개선하는데 한계가 있다. 마지막으로 임상에서 직접 필요로 하는 물리량인 새로운 개념의 물 흡수선량 표준에 토대를 두고있는 표준측정법으로 미국의학물리학회(American Association of Physicists in Medicine, AAPM) 및 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)에서 최근 발표하였다.^{9, 10)}

현재 국내의 일부 의학물리학자는 선량측정 절차상 혹은 계산상의 실수를 줄이면서 기준점에서 물 흡수선량을 신속 정확하게 계산하기 위하여 범용으로 사용되고 있는 스프레드시트 소프트웨어인 엑셀(Microsoft, 미국)을 이용하고 있다. 그러나 이들 선량교정 프로그램은 특정 표준측정법에 대하여 개발되었다.^{11, 12)} 선량측정의 정확성을 향상시키기 위하여 본 저자들은 이미 고에너지 광자선의 표준측정법에 대한 선량교정 프로그램을 개발하여 보고한 바 있다.¹³⁾ 본 연구에서는 고에너지 광자선 및 전자선에 대하여 미국의학물리학회의 AAPM TG-51과 국제원자력기구의 IAEA TRS-398에 대하여 선량교정 프로그램을 객체지향형 모듈별로 개발하여 통합하였다. 이들 프로그램은 비주얼 C++ 언어를 사용하여 윈도우 환경에서 개발하였으며, 사용자 병원의 특성에 적합한 표준측정법을 선택할 수 있고, 표준측정법간의 출력선량 상호 비교 및 분석이 용이하다.

이 논문은 2003년 7월 15일 접수하여, 2003년 8월 5일 채택됨.

책임저자: 신동오, (130-702) 서울시 동대문구 회기동 1

경희대학교 의과대학 방사선종양학교실

Tel : 02)958-8665, Fax : 02)958-8663

E-mail : ohsd@khmc.or.kr

대상 및 방법

선량교정 프로그램에 사용된 표준측정법은 미국의학물리학

회의 AAPM TG-51과 국제원자력기구의 IAEA TRS-398이다. 이들 표준측정법에서 권고하고 있는 고 에너지 광자선 및 전자선에 대하여 기준점에서 물 흡수선량을 결정하기 위한 수식체계는 다음과 같다.

1. AAPM TG-51

- 고에너지 광자선

$$D_{D,w}^Q = M k_Q N_{D,w}^{Co-60} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 M 은 온도 및 기압, 극성효과와 이온재결합 등에 대해 완전히 보정된 이온함 측정값이며, k_Q 는 선질변환계수이고, $N_{D,w}^{Co-60}$ 는 기준선질 ^{60}Co 에서의 물 흡수선량 교정인수이다.

- 고에너지 전자선

$$D_w^Q = M P_{gr}^Q k'_{R_Q} k_{ecal} N_{D,w}^{Co-60} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $P_{gr}^Q k'_{R_Q} k_{ecal}$ 는 선질변환계수 k_Q 에 해당한다. 교정기관에서 받은 $N_{D,w}^{Co-60}$ 값을 기준 전자선에서의 물 흡수선량 교정인수 $N_{D,w}^{Co-60}$ 값으로 바꾼 후, 다시 사용자 선질에서의 물 흡수선량 교정인수 $N_{D,w}^Q$ 값으로 바꾼다.

2. IAEA TRS-398

- 고에너지 광자선

$$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 M_Q 는 AAPM TG-51처럼 완전히 보정된 이온함 측정값이며, k_{Q,Q_0} 는 기준선질 Q_0 와 사용자 선질 Q 사이의 차이 효과를 보정하는 인수이며, N_{D,w,Q_0} 는 표준기관에서 구한 선량계의 물 흡수선량 관점에서의 교정인수이다.

- 고에너지 전자선

$$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} \dots\dots\dots (4)$$

기준점에서 물 흡수선량을 계산하기 위한 수식체계에 있어 AAPM TG-51은 광자선과 전자선의 수식체계가 다르지만, IAEA TRS-398은 광자선과 전자선의 수식체계가 동일하다.

개발된 선량교정 프로그램은 이들 표준측정법에서 사용되고 있는 물리적인 변수와 수식체계를 엄격히 적용하였다. 기준점에서의 물 흡수선량 측정시에 사용되는 선량측정기에 대한 정보와 선량계산 수식체계에 적용되는 모든 물리적인 변수에 대한 그래프 값 등은 수치화하여 데이터베이스화하였다. 사용자가 윈도우 환경에서 사용이 용이하도록 비주얼 C++ 언어를 사용하였으며, 사용자 편의성을 고려하여 사용자가 표준측정법을 선택할 수 있도록 그래픽-사용자 인터페

이스를 구축하였다. Fig. 1은 이들 표준측정법에 대하여 개발된 선량계산 프로그램의 흐름도를 보여 준다. 사용자는 AAPM TG-51과 IAEA TRS-398중 원하는 프로토콜을 선택할 수 있다. 물 흡수선량 교정인수, 측정조건, 사용된 이온함 정보, 선질 등 흡수선량 계산에 필요한 기본 정보 등의 입력과 이온함의 측정값을 입력한다. 개발된 선량교정 프로그램은 기본적인 물리적인 인자가 수록된 표 및 그래프에 대해 수치화된 데이터베이스로부터 선형 내삽법에 의해 해당되는 값을 읽어 기준점에서의 물 흡수선량 값을 계산하고 이 흡수선량 값을 최종적으로 최대 선량 깊이에서의 흡수선량 값으로 자동 변환한다. 사용자가 임상에서 사용하고 있는 표준측정법에 대한 선량교정 프로그램을 선택할 수 있도록 하여 각각의 표준측정법에서 권고하고 있는 절차 및 방법에 따라 수행하므로써 고에너지 광자선 및 전자선에 대한 기준점에서의 물 흡수선량 계산 결과를 상호 비교 분석할 수 있다.

결과 및 토의

고에너지 광자선 및 전자선에 대한 선량측정법은 방사선

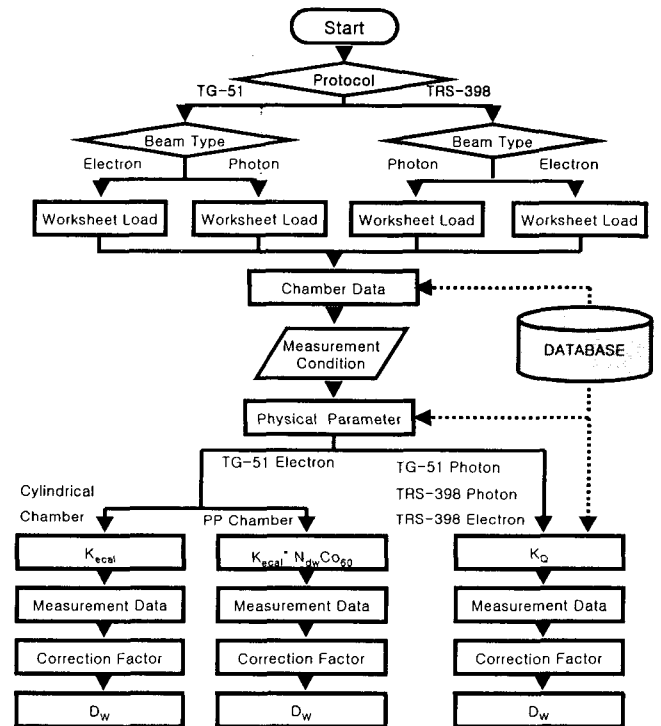


Fig. 1. Flow diagram for calculating the absorbed dose to water according to the AAPM TG-51 and the IAEA TRS-398. Either one may be chosen to the user's discretion. After all information needed to calculate an absorbed dose are entered, the absorbed dose is calculated automatically through the database and formalism already contained in the program.

자료 성적에 있어 중요한 역할을 하여 왔다. 선량측정법은 지난 20년 동안 선량측정 기술 및 측정 이론의 고도화로 놀랄 만한 발전을 거듭하여 선량측정의 정확성이 향상되어 왔다. 이들 표준측정법에 대한 정확한 임상 적용을 위해서는 물리

적인 개념 및 수식체계를 이해할 수 있는 전문적인 지식이 필요하다.²⁻¹⁰⁾

최근 외국의 국가표준기관에서 물 흡수선량 1차 표준에 대한 교정체계가 확립됨에 따라 선량측정의 개념이 공기커마

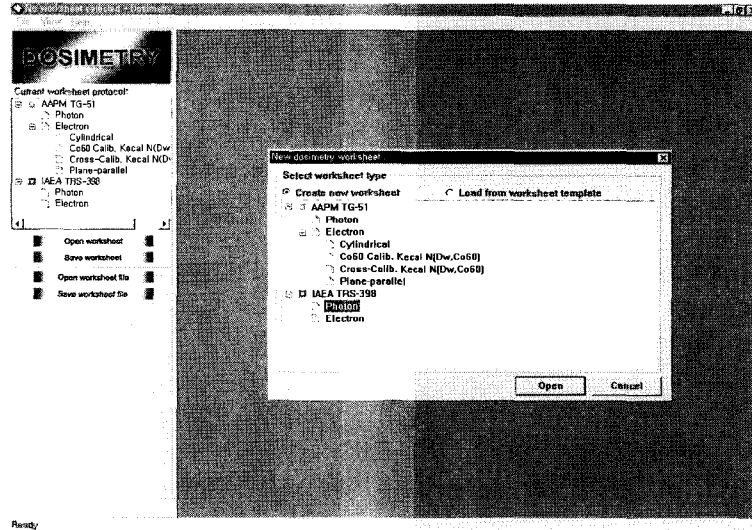


Fig. 2. Initial display of dosimetry protocol program. Worksheets of each protocol, AAPM TG-51 and IAEA TRS-398 are provided and can be chosen to the user's discretion. There are also functions such as opening new worksheets, saving the results of a dosimetric calibration, and reopening old worksheet files and resaving.

Table 1. Comparison of AAPM TG-51 and IAEA TRS-398

표준측정법	AAPM TG-51		IAEA TRS-398	
	광자선	전자선	광자선	전자선
기준온도	22°C		20°C	
기준 이온함	원통형	$R_{50} > 2.6 \text{ g/cm}^2$; 원통형 혹은 평행평판형 $R_{50} \leq 2.6 \text{ g/cm}^2$; 평행평판형	원통형	$R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$; 원통형 혹은 평행평판형 $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$; 평행평판형
선량 측정점	10 cm	$d_{ref} = 0.6 R_{50} - 0.1 \text{ cm}$	$TPR_{10}^{20} < 0.7$; 10 g/cm^2 혹은 5 g/cm^2	$Z_{ref} = 0.6 R_{50} - 0.1 \text{ g/cm}^2$
이온함 측정깊이*	10 cm^\dagger	d_{ref}^\dagger	$TPR_{10}^{20} \geq 0.7$; 10 g/cm^2 10 g/cm^2 혹은 5 g/cm^2 [‡]	$0.5 \gamma_{Cyl}$ 이동 (유효측정점)
선질지표	$\%dd(10)_x$	R_{50}	TPR_{10}^{20}	R_{50}
기준 팬텀물질	물	물	물	$R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$; 물 $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$; 물 혹은 고체팬텀

*이온함 측정 깊이는 원통형 이온함의 경우는 공동중심축(=중심전극)에서의 깊이를, 평행평판형 이온함 경우는 이온함 전벽에서의 깊이를 말한다.

†이온함의 측정 위치는 측정점의 위치와 같다. AAPM TG-51에선 이온함을 이동하는 대신 경사보정인수 P_Q 가 광자선의 경우엔 k_Q 에 포함되고, 전자선의 경우 선량계산 수식(식(2)참조)에 포함된다.

‡IAEA TRS-277에서는 원통형 이온함을 0.6γ 만큼 이동시켰지만, TRS-398경우 이동없이 원통형 이온함의 중심위치(=중심전극)의 깊이와 절대선량 측정점의 위치는 같다.

§ESTRO-IAEA 보고서(Booklet No.3)에서는 모든 광자선에 대해 10 g/cm^2 을 사용할 것을 권고하고 있다.

신동오 외 9인 : 물 흡수선량 표준에 기반한 선량교정 프로그램 개발

표준에서 물 흡수선량 표준으로 선량측정에 대한 파라다임이 변화하고 있는 추세이다.^{9, 10)} 따라서 본 연구에서는 21세기 들어 국제원자력기구와 미국의학물리학회에서 권고하고 있는 IAEA TRS-398과 AAPM TG-51 등 두종류 표준측정법에 고에너지 광자선 및 전자선에 대해 사용할 수 있도록 선량교정 프로그램을 개발하였다. 이들 표준측정법들은 Table 1과

The screenshot displays the 'AAMPM TG-51 Worksheet' software interface. It is divided into several sections for data entry:

- 1. Site data:** Institution (KHMC), Physicist (D.O. Shin Ph.D.), Date (2003-04-19), Accelerator (Varian), Model & Serial no. (CL 2100C).
- 2. Instrumentation:** Chamber model (NE2571), Serial number (2867), Waterproof status, Electrometer model (Keithley 35617), Serial number (46763), Calibration Factor (4.509e-2 Gy/C), and Date of report (2003-01-22).
- 3. Measurement Conditions (10x10cm2):** Distance (100 cm), Field size (10 x 10 cm2), and Number of monitor units (100 MU).
- 4. Beam Quality:** Includes calculations for %dd(10) and %dd(10)Pb based on field size and energy.
- 5. Determination of KQ:** Chamber model (NE2571) and KQ value.
- 6. Temperature/Pressure Correction:** Temperature (23.0 °C) and Pressure (101.0 kPa).
- 7. Polarity Correction:** Raw and corrected monitor unit values.
- 8. Pion measurement:** Operating voltage (300 V) and Lower voltage (150 V) settings.
- 9. Correction Ion, ch, rdg, M(Sec. VII):** Fully corrected monitor unit (M).
- 10. Dose to water at 10cm depth:** Dose to water (Gy) and Dose / MU (Gy/MU).
- 11. Dose to water/MU (or min, Co-60) at dmax:** Clinical TMR and final Dose / MU (76.8 Gy/MU).

Fig. 3. AAPM TG-51 Worksheet for dosimetry protocol of a photon beam. All information needed to calculate an absorbed dose are entered. The absorbed dose at a reference depth is then calculated automatically through the database and formalism already contained in the program. The dose is finally converted into the absorbed dose at the depth of dose maximum.

신동오 외 9인 : 물 흡수선량 표준에 기반한 선량교정 프로그램 개발

선질 등 흡수선량 계산에 필요한 기본 정보 등의 입력과 이온함의 측정값을 입력하면 프로그램은 기준점에서의 물 흡수선량을 자동 계산한다. 계산된 물 흡수선량 값은 최대선량 깊이점에서의 물 흡수선량 값으로 최종 변환된다. 물 흡수선량을 계산하는데 필요한 모든 물리인자 값과 수식들은 프로그램에 내장되어 있어 사용자는 표에서 해당되는 값을 찾고 수식을 적용하여 해당 값을 계산할 필요가 없다. 따라서 이러한 수작업 과정에서 발생할 수 있는 실수 및 오차를 방

지할 수 있다. Fig. 4는 AAPM TG-51 선량교정 작업서에 따른 전자선의 선량측정 과정을 보여준다. 고에너지 전자선에 대한 AAPM TG-51 표준측정법은 원통형 이온함과 평행평판형 이온함에 대해 각각 따로 선량교정 작업서를 제공하고 있다. Fig. 4는 평행평판형 이온함을 사용할 시 선량측정 과정을 보여주고 있다. 또한 AAPM TG-51은 평행평판형 이온함 사용자 $k_{ecal} N_{D,w}^{Co}$ 값을 결정하는데 있어서 두가지 다른 방법을 제시하고 있다. 방법 A는 교정받은 원통형 이온함에 대

The screenshot shows the SIMET software interface for the IAEA TRS-398 dosimetry protocol. The main window is titled 'IAEA TRS-398 Worksheet for High Energy Photon Beams'. It contains several sections for data entry and calculation:

- User Information:** User: D.O. Shin Ph.D., Date: 2003-04-19
- 1. Radiation treatment unit and reference condition for D_{w,Q} determination:**
 - Accelerator: Varian 2100C, Nominal Acc Potential: 6 MV
 - Nominal dose rate: 240.00 MU min⁻¹, Beam quality, Q(TPR(20,10)): 0.670
 - Reference phantom: [Redacted], Set up: SSD SAD
 - Reference field size: 10 x 10 cm x cm, Reference Distance(cm): 100 cm
 - Reference Depth(z_{ref}): 10.0 g cm⁻²
- 2. Ionization chamber and electrometer:**
 - Ionization chamber model: PTW 30006/30013 Farmer, Serial no: 444
 - Chamber wall material: [Redacted], thickness: [Redacted] g cm⁻²
 - Waterproof sleeve material: [Redacted], thickness: [Redacted] g cm⁻²
 - Phantom window material: [Redacted], thickness: [Redacted] g cm⁻²
 - Absorbed-dose-to-water calibration factor N_{D,W,Q}: 0.05350 Gy nC⁻¹ Gy rdg⁻¹
 - Calibration quality Q₀: Co-60 photon beam, Calibration depth: 5.0 cm
 - If Q₀ is photon beam give TPR(20, 10): 0.600
 - Reference conditions for calibration: P₀: 101.3 kPa, T₀: 22.0 °C, R.H.: 50 %
 - Polarizing potential V₁: 300 V, Calibration polarity: +ve -ve, corrected for polarity effect
 - User polarity: +ve -ve
 - Calibration laboratory: KFDA, Date: 2003-04-22
 - Electrometer model: Keithley 35617, Serial no: 46763
 - Calibrated separately from chamber: yes no, Range Setting: Auto
 - If yes Calibration laboratory: [Redacted], Date: 2003-04-22
- 3. Dosimeter reading and correction for influence quantities:**
 - Uncorrected dosimeter reading at V₁ and user polarity: 12.67 nC rdg
 - Corresponding accelerator monitor units: 100 MU
 - Ratio of dosimeter reading and monitor units: M₁ = 0.1267 nC MU⁻¹ rdg MU⁻¹
 - (i) Pressure P: 101.0 kPa, Temperature T: 23.0 °C, Rel. humidity (if known): 50 %
 - K(tp) = (273-T)P₀ / (273+T)P = [Redacted]
 - (ii) Electrometer calibration factor k_{elec}: k_{elec} = 1.000 nC rdg⁻¹ dimensionless
 - (iii) Polarity correction rdg at -V₁: M₊ = 12.67 rdg at -V₁; M₋ = 12.67
 - K(pol) = (|M₊| + |M₋|) / 2M = [Redacted]
 - (iv) Recombination correction (two-voltage method):
 - Polarizing voltages: V₁ (normal) = 300 V, V₂ (reduced) = 150 V
 - Voltage ratio V₁ / V₂: [Redacted]
 - Readings at each V: M₁ = 12.67, M₂ = 12.64
 - Ratio of reading M₁ / M₂: [Redacted]
 - Use Table 4.VII for a beam of type: pulsed pulsed-scanned
 - a₀ = 2.397, a₁ = -3.636, a₂ = 2.289
 - K_s = a₀ + a₁(M₁/M₂) + a₂(M₁/M₂)² = [Redacted]
 - Corrected dosimeter reading at the voltage V₁: M = M₁ k_{tp} k_{elec} k_{pol} K_s = [Redacted] nC MU⁻¹ rdg MU⁻¹
- 4. Absorbed dose rate to water at the reference depth, z_{ref}:**
 - Beam quality correction factor for user quality Q: k_{Q,Q₀}: 0.9913 taken from Table specify:
 - D_{w(z_{ref})} = M N_{D,W} = [Redacted] Gy MU⁻¹
- 5. Absorbed dose rate to water at the depth of dose maximum, z_{max}:**
 - Depth of dose maximum: z_{max} = 1.400 cm⁻²
 - (i) SSD set-up:
 - Percentage depth-dose at a_{ref} for a 10cm x 10cm field size: PDD(z_{ref}) = [Redacted] g cm⁻² = 87.100 %
 - Absorbed-dose rate calibration at z_{max}: D_{w(z_{max})} = 100 D_{w(z_{ref})} / PDD(z_{ref}) = [Redacted] Gy MU⁻¹
 - (ii) SAD set-up:
 - TMR at z_{ref} for a 10cm x 10cm field size: TMR(z_{ref}=5g cm⁻²) = [Redacted] g cm⁻²
 - Absorbed-dose rate calibration at z_{max}: D_{w(z_{max})} = D_{w(z_{ref})} / TMR(z_{ref}) = [Redacted] Gy MU⁻¹

Fig. 5. IAEA TRS-398 Worksheet for dosimetry protocol of photon beam. All information determining an absorbed dose are entered. The absorbed dose at a reference depth is then calculated automatically through the database and formalism already contained in the program. The dose is finally converted into the absorbed dose at the depth of dose maximum.

하여 교차교정을 사용하여 결정하며, 방법 B는 기준선질 ^{60}Co 이서의 흡수선량 교정인수를 사용하여 결정한다.¹⁴⁾ AAPM TG-51은 방법 A를 더 권하고 있다. 이들 방법 A와 B 과정 또한 각각 선택할 수 있도록 하였다.

Fig. 5는 IAEA TRS-398의 선량교정 작업서에 따른 광자선의 선량측정 과정을 보여 준다. 이 과정 또한 물 흡수선량 보정인수, 측정조건, 사용된 이온함 정보, 선질 등 흡수선량 계산에 필요한 기본 정보 등의 입력과 이온함의 측정값을

The screenshot shows a software interface for the IAEA TRS-398 dosimetry protocol. The main window is titled "Worksheet for determination of the absorbed dose to water from an electron beam". It contains several sections for data entry:

- Section 1: Radiation treatment unit and reference conditions for $D_{w,q}$ determination**
 - Accelerator: Varian CL 2100C
 - Nominal dose rate: 240 cGy min^{-1}
 - Reference phantom: water
 - Reference field size: 10.0 $\text{cm} \times \text{cm}$
 - Beam quality, $Q(R_{50},W)$: $0.009002 \text{ g cm}^{-2}$
 - Nominal energy: 9.000 MeV
 - Measured R_{50} : 3.520 g cm^{-2}
 - Reference SSD: 100 cm
 - Ref depth $z(\text{ref},w)$: $0.009002 \text{ g cm}^{-2}$
- Section 2: Ionization chamber**
 - Ion chamber model: Roos
 - Chamber wall/window material: PAl₂O₃
 - Waterproof sleeve material: PAl₂O₃
 - Phantom window material: PAl₂O₃
 - Abs dose-to-water calibration factor: 0.884002 Gy/nC
 - Calibration quality Q_0 : Co-60
 - Reference conditions for calibration: $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$, $T_0 = 22.0 \text{ }^\circ\text{C}$, Rel humidity: 50%
 - Calibration laboratory: RTB
 - Electrometer model: Keithley 35817
- Section 3: Phantom**
 - Water phantom window material: thickness: 0.000 g cm^{-2}
 - Plastic phantom phantom material: density: g cm^{-3}
 - depth scaling factor c_{pl} : ref depth $z(\text{ref},pl)$: g cm^{-2}
 - fluence scaling factor: h_{pl}
- Section 4: Dosimetry reading and correction for influence quantities**
 - Uncorrected dosimeter reading at V_1 and user polarity: 12.34 nC
 - Corresponding accelerator monitor units: 100 MU
 - Ratio of dosimeter reading and monitor units: $M_1 = 12.34 \text{ nC/MU}$
 - Temperature correction: $k_{TP} = [(273.2 + T) P_0] / [(273.2 + T_0) P]$
 - Electrometer calibration factor k_{elec} : 1.000
 - Polarity correction k_{pol} : $k_{pol} = (|M_+| + |M_-|) / 2M_+$
 - Recombination correction (two-voltage method): $k_s = a_0 + a_1(M_1/M_2) + a_2(M_1/M_2)^2$
 - Corrected dosimeter reading at the voltage V_1 : $M_{c,Q} = M_1 \cdot h_{pl} \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s$
- Section 5: Absorbed dose to water at the reference depth, $Z(\text{ref})$**
 - Beam quality correction factor for user quality Q : k_{Q,Q_0}
 - Use k_{Q,Q_0} derived from: $k_{Q,Q_0} = [k_{Q,Q_0} / k_{Q_0,Q_0}] \cdot k_{Q_0,Q_0}$
 - Calibration laboratory: Date
 - Absorbed dose to water at $Z(\text{ref})$: $D_{w,Q_0,Z(\text{ref})} = M_{c,Q} \cdot N_{D,W,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0}$
- Section 6: Absorbed dose rate to water at the depth of dose maximum, $Z(\text{max})$**
 - Depth of dose maximum: $z_{max} = 2.00 \text{ g cm}^{-2}$
 - Percentage depth-dose at $Z(\text{ref})$ for a $m \times m \text{ cm}$ field size: $PDD(z_{ref}) = 100.00 \%$
 - Absorbed-dose calibration of monitor at $Z(\text{max})$: $D_{w,Q_0,Z(\text{max})} = 100 \cdot D_{w,Q_0,Z(\text{ref})} / PDD(z_{ref})$

Fig. 6. IAEA TRS-398 Worksheet for dosimetry protocol of electron beam. IAEA TRS-398 provides only one worksheet for the calibration of electron beams while AAPM TG-51 has three worksheets for electron beams.

입력하면 프로그램은 기준점에서의 물 흡수선량을 자동 계산한다. 계산된 물 흡수선량 값은 최대선량 깊이점에서의 물 흡수선량 값으로 최종 변환된다. Fig. 6은 IAEA TRS-398의 선량교정 작업서에 따른 전자선의 선량측정과정을 보여준다. AAPM TG-51에서는 전자선의 선량교정시 세가지의 작업서가 제공되었지만 IAEA TRS-398에서는 전자선의 선량교정을 위한 작업서는 한가지만 제공된다. 즉 원통형 이온함을 사용하던지 혹은 평행평판형 이온함을 사용하던지 관계없이 동일한 선량교정 작업서를 이용하게 된다. 본 프로그램에서도 원통형 이온함과 평행평판형 이온함에 대한 많은 자료를 내장하고 있어 사용자는 선량측정시 사용되는 이온함 모델만 선택하면 된다.

이 선량교정 프로그램은 고에너지 광자선 및 전자선에 대하여 선량교정시 물리적인 자료에 대한 표 및 그래프 값을 수식화하여 데이터베이스화 하였다. 또한 흡수선량 계산과정에 있는 모든 수식들도 내장하고 있어 관련된 물리량을 자동 계산한다. 따라서 기존에 수작업으로 인해 발생할 수 있는 개인적인 실수 및 오차를 줄일 수 있다. 또한 모든 보정인수 및 기준점에서의 흡수선량을 신속, 정확하게 계산할 수 있어 각 표준측정법간의 주요 특징에 대한 상호 비교 및 분석이 용이하다.

결 론

본 연구에서 개발된 프로그램은 선량교정 과정시 수작업으로 인해 발생할 수 있는 실수 및 오차를 줄이는 데 도움을 줄 수 있으며, 개발된 프로그램의 활용을 통하여 국내 실정에 적합한 물 흡수선량 표준에 기반한 표준측정법 개발에 토대를 마련하는데 있어 기여할 것으로 사료된다. 또한 이들 프로그램에 대한 Web 베이스를 구축한다면 사용자가 사용하고 있는 표준측정법을 선택하여 선량측정을 수행하므로써 고에너지 광자선 및 전자선에 대한 흡수선량 결과에 대하여 기관별 관리 및 국내 방사선종양학과와 통계처리가 가능하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력중장기 연구개발사업(M20330010001-03A0724-00110)의 일환으로 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 on Radiation Units and Measurement, Bethesda, MD (1976)
2. AAPM Task Group 21: A Protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. Med Phys 10:741-771 (1983)
3. 한국의학물리학회: 방사선량의 표준측정법. 의학물리 2:37-105 (1991)
4. 이병용, 최은경, 장혜숙: 방사선 선량의 표준측정법(한국의학물리학회) 및 TG-21, C_A/C_E 방법의 비교. 대한방사선종양학회지 9:337-342 (1991)
5. IAEA Technical Report 277: Absorbed dose determination in photon and electron beams. An International Code of Practice. Vienna, Austria, International Atomic Energy Agency (1987)
6. IAEA Technical Report 381: The use of plane parallel ionization chambers in high energy electron and photon beams. An International Code of Practice. Vienna, Austria, International Atomic Energy Agency (1997)
7. 신동오, 지영훈, 박성용 등: 고에너지 광자선의 선질 지표에 관한 비교. 의학물리 9:185-276 (1998)
8. 박성용, 서태석, 김희남 등: 고에너지 전자선에 대한 표준측정법간의 비교. 의학물리 9:267-276 (1998)
9. AAPM Task Group 51: Protocol for Clinical Reference Dosimetry of High-Energy Photon and Electron Beams. Med Phys 26:1847-1870 (1999)
10. IAEA Technical Report 398: Absorbed Dose Determination in External Beam Therapy. An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water. Vienna, Austria, International Atomic Energy Agency (2000)
11. Zicari AMDC, Fragomei R, Benassi M: Dosimetric protocols in radiotherapy: a computer program. Medical dosimetry 21:255-259 (1996)
12. Cederbaum M, Kuten A: Spreadsheet calculations of absorbed dose to water for photons and electrons according to established dosimetry protocols. Medical Dosimetry 24:205-210 (1999)
13. 신동오, 박성용, 지영훈 등: 고에너지 광자선의 표준측정법에 대한 선량교정 프로그램 개발. 대한방사선종양학회지 20:381-390 (2002)
14. Park Sung Y, Suh Tae S, Shin Dong O, et al.: Determinations of N_{gas}^{pp} and N_B^{pp} for plane-parallel chamber. JJMP(日本放射線醫學物理) 20:159-171 (2000)

Development of a Dose Calibration Program Based on an Absorbed Dose-to-Water Standard

Dong Oh Shin^{*†}, Seong Hoon Kim^{||}, Sung Yong Park^{||}
Won Seop Seo[§], Chang Geon Lee^{*}, Jinho Choi[#], Ha Chung Chun^{||}
Hee Kyung Ahn[†], Jin Oh Kang^{*}, and Seong Eon Hong^{*}

**Department of Radiation Oncology, †Medicine, †Anatomy, §Neurosurgery,
College of Medicine, KyungHee University,*

||Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Hanyang University,

#Proton Therapy Center, National Cancer Center,

**Department of Radiation Oncology, Gacheon Medical School, Gil Medical Center*

Absorbed dose dosimetry protocols of high energy photon and electron beams, which are widely used and based on an air kerma (or exposure) calibration factors, have somewhat complex formalism and limitations for improving dosimetric accuracy due to the uncertainty of the physical parameters used. Recently, the IAEA and the AAPM published the absorbed dose to water-based dosimetry protocols (IAEA TRS-398 and AAPM TG-51). The dose calibration programs for these two protocols were developed. This program for high energy photon and electron beams was also developed for users to use in a window environment using the Visual C++ language. The formalism and physical parameters of these two protocols were strictly applied to the program. The tables and graphs of the physical data, and the information of ion chambers were numericalized for their incorporation into a database. This program can be useful in developing new dosimetry protocols in Korea.

Key Words : Absorbed dose to water calibration factor, Dosimetry, Protocol