

몬테카를로 방법에 의한 6 MV 선형가속기의 광자 흡수선량 분포 평가에 관한 연구

— A Study on Photon Dose Calculation in 6 MV Linear Accelerator Based on Monte Carlo Method —

전북대학교 방사선과학기술학과

강상구 · 안성환 · 김종일

— 국문초록 —

본 연구에서는 Geant4 시뮬레이터를 이용하여 Varian 2100C/D 선형가속기의 헤드 부분과 다엽콜리메이터를 모델링한 후 6 MV 광자 선속에 대해 선량분포 평가의 기본이 되는 물팬텀($50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$) 내에서의 심부선량백분율(Percentage depth dose)과 측면선량(lateral dose)에 대해 검출기를 이용한 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교 평가하였다. 시뮬레이션은 두 단계로 나누어 진행하였다. 첫 번째 단계에서 타겟을 통해 나오는 광자의 에너지 스펙트럼을 측정하였다. 다음 단계에서 샘플링한 에너지 스펙트럼에 따라 광자를 직접 팬텀에 조사하는 방식으로 수행하였다. 실험 결과 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 와 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 조사야에서의 심부선량백분율과 16 mm, 50 mm, 100 mm에서 측정한 측면 선량 모두 측정값과 비교하여 2% 이내의 오차를 보여 임상적으로 허용범위 안의 오차를 확인하였고 다엽콜리메이터의 정확도는 1 mm 이내의 오차를 확인 할 수 있었다. 본 연구의 연구 결과를 기초로 한 계산적 방법은 오차가 많이 발생하는 비균질성 조직 내에서의 선량분포 연구와 DICOM 데이터를 적용한 선량 계산 시뮬레이션 응용에서 활용하기 위해 선행되어야 하는 기초 자료로서 활용가치가 있다고 판단된다.

중심 단어: Varian 2100C/D, Geant4, 6 MV 광자, 심부선량백분율, 측면선량

I. 서 론

방사선 치료는 종양 조직에 최대 선량을 투여하고, 주위 정상 조직은 보호함으로써 치료 성적을 극대화시키는데 있으며 국제방사선단위측정위원회(ICRU)에 의하면 1

mm 이내의 오차로 표적에 선량을 전달하는 것과 표적체적의 바깥쪽으로 급격한 선량 감소 영역에서 $\pm 5\%$ 이내로 정확하게 조사되어야 하고 이러한 오차 범위는 치료 전과정을 통한 오차로 선량 측정 단계에서의 정확도는 $\pm 2\%$ 이하로 높여야 한다고 권고하고 있다^{1,2)}.

최근의 방사선치료는 장비와 방법에 따라 다양한 치료 기술을 시행하고 있는데 선형가속기에서의 치료 방법에는 입체조형치료(3DRT), 세기변조치료(IMRT), 영상유도치료(IGRT) 등 치료 효율을 극대화하기 위한 노력들이 계속되고 있다. 이처럼 복잡하고 정교한 치료 기술을 사용하는 경우나 치료 부위의 구조가 복잡한 경우가 많아짐에 따라 높은 정확도를 요구한다. 치료 계획을 세움에 있어

*접수일(2011년 1월 28일), 심사일(2011년 2월 15일), 확정일(2011년 3월 18일)

- 이 논문은 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. K20901000001-09E0100,2010-001792)

교신저자: 강상구, (561-756) 전라북도 전주시 덕진구 덕진동1가
664-14 전북대학교 방사선과학기술학과
TEL: 063-270-4168, C.P.: 010-9448-1518
E-mail: radiation@jbnu.ac.kr

복잡한 선량 조사 체계를 만족하며 체내에 조사되는 정확한 선량을 예측하기 위해 전산 시뮬레이션을 사용하고 있으며 의료기관의 치료용 가속기에는 제조사별로 계산식에 기반을 둔 선량계산 알고리즘을 사용한 전용 시뮬레이터를 이용하여 치료 계획을 수립하고 있다. 치료계획의 정확성을 검증하고 오차를 줄이기 위한 방법으로 물질 중에서 방사선의 물리적 과정을 통계적 계산법으로 전산모사하는 몬테카를로 방법(Monte Carlo Method)을 사용하고 있으며, 최근에는 몬테카를로 방식을 이용하여 치료계획을 수립하기 위한 방법을 다각도로 모색하고 있다.

의학물리 분야에서 광범위하게 이용되고 있는 몬테카를로 기반의 시뮬레이션 프로그램에는 EGS와 MCNP 그리고 Geant4가 대표적이다. EGS와 MCNP 프로그램은 과거 많은 연구를 통해 정확성이 확보되어있는 장점이 있지만 난해한 프로그래밍 언어와 인터페이스 구현 측면 등에서의 사용 및 활용적인 측면에서 많은 제약이 따르고 있다. Geant4는 객체 지향 프로그래밍(OOP: Object-Oriented Programming)으로 코드화 되었으며 약상호작용(weak interaction)과 강상호작용(strong interaction)까지의 모든 물리작용과 경입자(lepton)들과 강입자(hadron)까지 모든 입자에 대한 시뮬레이션이 가능하여 고에너지 입자 실험 계산에 활용하기 위해 개발되어 현재는 다양한 영역에서 활용되고 있다³⁻⁵⁾. 의학물리 분야에서도 가속기를 이용한 선량 분포, 동위원소를 이용한 치료 및 핵의학, 진단방사선, 양성자 치료, 방사선 모니터링 등등의 분야에서 다양한 연구가 이루어지고 있으며 시뮬레이션 결과와 측정값 및 분석계산 모델과의 선량분포가 일치하는 결과를 보이고 있다^{6,7)}.

본 연구에서는 Geant4 시뮬레이터를 이용하여 Varian 2100C/D 선형가속기의 헤드 부분을 모델링한 후 6 MV 광자 선속에 대해 선량분포 평가의 기본이 되는 물팬텀($50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$) 내에서의 심부선량백분율(Percentage Depth Dose)과 측면선량(Lateral Dose)에 대해 검출기를 이용한 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교 평가하였다. 검출기는 선형성과 재현성이 우수하여 표준 선량 측정용으로 사용하는 전리함을 이용하여 측정하였으며 시뮬레이션 조건도 동일한 조건으로 구현하여 평가하였다. 또한 부정형의 치료부위를 정확히 차폐하기 위한 금속차폐엽들로 구성된 다엽콜리메이터를 구성하여 차폐의 정확성을 평가함으로써 세기변조방법을 이용한 치료계획 수립에 활용하기 위한 Geant4의 유용성을 검증하여 선형 기초자료를 마련해 보고자 한다.

II. 재료 및 방법

가속기의 구조를 정밀하게 시뮬레이션으로 구현하는 것은 현실적으로 큰 어려움이 따르기 때문에 가속된 입자와 직접적으로 물리작용이 일어나는 빔 노즐의 각 구성요소들의 기하학적 구조를 EGS 코드를 바탕으로 기존에 구현된 BEAMnrc 자료와 직접 측정된 자료를 바탕으로 신뢰성을 높인 기하학적 구조를 구현하였다. 본 연구에서 Varian 2100C/D 선형가속기를 모델로 초기 발생하는 전자선과 타겟을 통과한 후 발생하는 광자와 직접적인 작용을 하는 빔 노즐 부분과 좌우 각각 60개의 엽(leaf)을 가지는 다엽콜리메이터에 대한 요소들에 대해 모델링을 시행하였으며 GEANT4.9.2.p02 버전으로 시뮬레이션을 시행하여 결과를 도출하였다. Fig. 1은 가속기의 헤드 부분을 시뮬레이터를 통해 구현한 그림으로 Table 1에 각 구성요소에 대한 구성 물질과 타겟에서부터 바닥까지의 거리로 각각의 기능과 모델링 구성에 대해 간략히 살펴보면 다음과 같다.

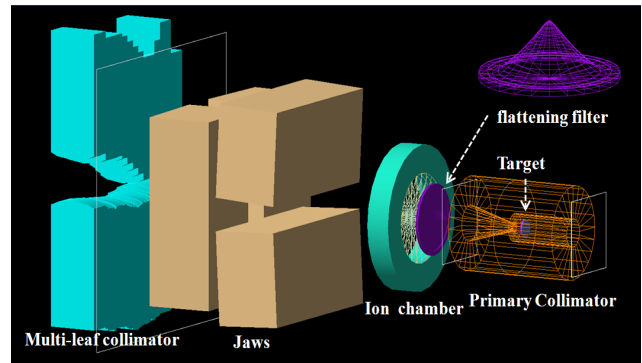


Fig. 1. Geometrical model of Varian 2100C/D simulated with Geant4

Table 1. The materials and distance of Linac(varian 2100C/D) head components

	Materials	From source to bottom(cm)
Target	Tungsten(upper)	0.00
	Copper(bottom)	0.12
Primary collimator	Tungsten	6.89
Flattening filter	Copper	10.37
Ion chamber	Iron, Kapton	17.00
Upper jaw	Tungsten	35.80
Lower jaw	Tungsten	44.50
Multi-leaf collimator	Tungsten	53.60

실질적인 타겟은 텅스텐으로 전자선이 통과하면서 제동복사에 의해 광자로 변환하고, 이때 발생하는 열을 분산시키기 위해 구리를 텅스텐 아래 부착하여 제작되며 흔히 이를 아울러 타겟이라 하며, 1차 콜리메이터는 방사형으로 발생하는 광자의 불필요한 부분을 차폐하기 위해 24° 각도의 원뿔로 개방시킨 형태로 구성되어 있다. 쇠기 형태의 선속 평탄 여과판(flattening filter)은 광자 선속의 강도를 일정하게 하기 위함으로 에너지에 따라 사용되는 형태가 다르며 본 연구에서는 6 MV 에너지에 사용되는 선속 평탄 여과판을 모델링하였다. 선형가속기 내에 부착된 전리함(ion chamber)은 투과형으로 전체 선속을 포함하기 위해 평행평판형 전리함으로 선량률과 집적선량, 광자의 대칭성 등을 모니터링하는 목적으로 사용되며 총 5개의 얇은 판으로 이루어져 있다. 이온전리함을 통과한 후, 조사야(최대 40×40 cm²)를 결정해 주는 두 쌍의 텅스텐 블록(jaw)이 가장자리가 항상 타겟을 통과하는 사선을 따라 움직이도록 구성되어 있다.

다엽콜리메이터는 세기변조치료를 위해 부가적으로 헤드에 부착하여 사용하는 것으로 Millennium 120 leaf 모델을 설정하였다. 두께는 7.6 cm이고 팬텀의 표면에 나타나는 음영의 너비가 10 mm, 60번째 엽은 14 mm이며 2~10, 51~59번째 엽들은 10 mm, 그 외의 중심부에 있는 엽들은 5 mm가 되게 제작되어 있으며 실제 모델의 너비는 각각 3.55 mm, 2.5 mm, 1.25 mm로 구성되어 있다. 각각의 엽들은 끝부분이 반원모양으로 되어 있고, 기계적 안정성을 위해 측면부의 중앙이 약간 돌출된 쇠기 모양으로 이음쇠 역할을 하게 구성되어 있으나 모델링과정에서는 중앙부위의 돌출된 부분을 평편하게 구현하였다.

선형가속기에서 전자선의 발생은 기계적 요소로 인해 가우시안 형태의 에너지 분포를 가진다. 본 연구에 이용한 Varian 2100C/D 선형가속기에서 6 MV 전자선의 경우 초기 발생 전자선 에너지의 가우시안 분포가 기존의 연구에서 6 MV 중심으로 최대 에너지가 6.2 MeV를 가지는 약 3%의 반치폭(Full Width at Half-Maximum: FWHM)의 분포로 발생 한다⁸⁾. 시뮬레이션 설정에서는 6 MV 단일 에너지로 설정하여도 결과에 큰 영향을 미치지 않는 연구 결과를 토대로 6 MV 단일 전자선으로 설정하였다⁹⁾.

Geant4 시뮬레이터는 물리적 환경을 사용자가 직접 시뮬레이션의 목적에 맞게 정확성과 시간적인 요소를 고려하여 설정하여야 한다. 6 MV 전자선과 물질과의 물리적 상호작용은 전자, 양전자, 광자에 대한 상호작용을 일으키는 전자기 상호작용을 이루고 있다. Geant4에서는 전

자기 상호작용에 대해 이론적으로 1 keV 이상의 에너지에 대해 전산모사가 가능한 표준전자기물리모델(standard), 250 eV의 저에너지 영역까지 전산모사가 가능하게 에너지를 낮춰 정밀도를 높인 물리 모델인 리버모어(Livermore), 페넬로페(Penelope) 물리 모델의 세 가지 모델을 제공하고 있다¹⁰⁻¹²⁾. 본 연구에서 표준모델과 저에너지 영역의 물리모델을 적용한 모의실험에서 두 모델간의 오차가 적어 시뮬레이션의 시간적 요소를 고려, 시뮬레이션 전 과정에서 표준전자기상호작용모델을 사용하였다. 또한, 6 MV 전자선에서 발생할 수 있는 광핵반응의 확률이 극히 미비하기 때문에 광핵반응에 대한 물리적 과정은 제외하였다.

정확한 시뮬레이션을 위해 실험 구성에서의 이차 입자를 생성하기 위한 역치 범위(cut-off range)를 0.1 mm로 설정하여 입자들이 소멸될 때 까지 이 범위마다 자취에 대한 기록이 이루어지게 설정하였으며, 팬텀 내부에서는 입자들이 소멸되는 시점에서의 최대 기록 범위(max step)를 0.01 mm로 하여 정밀한 측정이 이루어질 수 있게 구성하였다.

타겟을 통해 발생하는 광자가 가속기 헤드의 밖으로 방출되어 물팬텀에 직접적으로 입사하는 양은 극히 미비하기 때문에 정확한 선량을 측정하기 위해서는 무한히 많은 전자를 생성시켜야 하는 어려움이 따른다. 이를 해결하기 위해 본 실험에서는 물팬텀 내의 선량계산 방법을 Fig. 2와 같이 두 단계로 나누어 구성하였다. 첫 번째 단계에서는 이온전리함 아래에 원형의 가상의 검출기를 위치시켜 타겟을 통해 나오는 광자의 에너지 스펙트럼을 측정하였다. 측정된 스펙트럼을 샘플링하여 선원지점에서 광자를 직접 조사하는 방식으로 수행하였다¹³⁾.

시뮬레이션에 적용한 조사야는 5×5 cm²와 10×10 cm² 두 조건에 대해 시행하였으며, 5×5 cm²의 경우에는 입사광자를 2.4×10⁸회 생성하여 계산하였고, 10×10 cm²의 경우는 7.2×10⁸회로 세 번씩 서로 다른 무작위수(Random Number)를 가지고 계산한 결과 0.3% 이내의 오차를 보이는 결과를 얻었으며, 그 결과를 측정값과 비교하였다. 또한, 다엽콜리메이터의 경우 작은 조사야를 설정하고 팬텀의 표면에서 검출하여 정확도를 평가하였다.

실제 측정에 사용된 물 팬텀의 전리함 측정용적은 0.125 cm³로 시뮬레이션에서 물 팬텀의 전체 부피는 50×50×50 cm³로 설정하고 복셀화를 하여 흡수선량을 측정하였다. 깊이에 따른 선량 분포를 비교하는 지표인 심부선량백분율(Percent Depth Dose)을 구하기 위한 기준이 되는 최대 선량 지점의 깊이에서의 선량을 측정하기

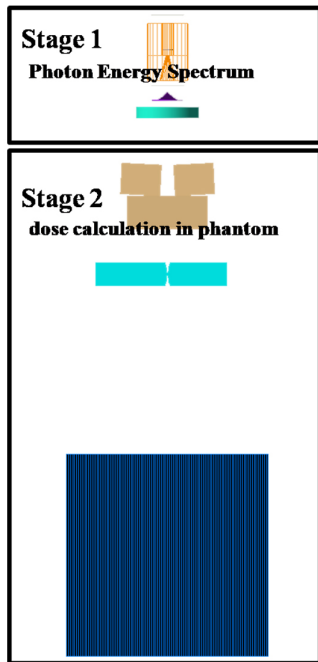


Fig. 2. Schematic diagram for dose calculation in the water phantom; (stage 1) To generate a phase space file at this level. (stage 2) Transport of the particles in this phase space file to where they interact in the phantom

위해 검출 용적을 $5 \times 5 \times 1 \text{ mm}^3$ 으로 하여 1 mm 간격으로 측정하고 전리함의 용적에 맞춰 $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ 값을 최종 선량값으로 도출하였다. 측면 선량 분포를 측정에는 $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ 크기의 검출기를 설정하여 5 mm 간격으로 최대 선량 깊이인 16 mm와 50 mm 그리고 100 mm의 세 지점의 깊이에 대해 선량을 측정하였다. 보통 방사선 치료 시 가속기 자체의 선량 오차는 $\pm 1\%$ 로 보고 있으며 보다 정확한 선량 측정을 위해 가속기의 선량 보정이 이루어진 상태에서 측정을 시행하였다.

III. 결 과

1. 광자에너지 스펙트럼

광자의 에너지 분포를 측정하기 위해 이온전리함 아래에 원형의 가상의 검출기를 위치시키고 에너지를 0.1 MeV 간격으로 설정하여 충분한 이력의 계산을 수행하기 위해 전자선을 2×10^8 회씩 총 8회 시행하여 오차를 검증한 후 검출된 광자 플루언스의 총합이 1이 되게 일반화하

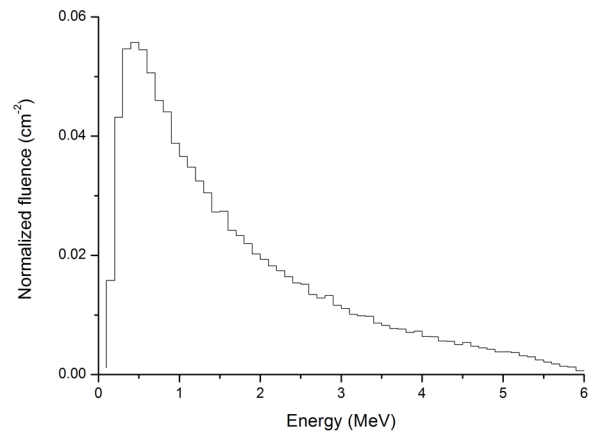


Fig. 3. The simulated photon energy spectra for Varian 2100 C/D 6 MV beams

여 에너지 스펙트럼을 구하였다(Fig. 3). 시뮬레이션 결과, 광자선의 평균에너지는 약 1.67 MeV로 PENELOPE-2006을 이용한 Baumgartner¹⁴⁾의 연구에서 1.65 MeV로 본 연구에서의 결과와 비교하여 1%의 오차를 보였으며, Mesbahi¹⁵⁾의 Geant3를 이용한 계산결과는 1.67 MeV로 동일한 결과를 보였다.

2. 팬텀 내 선량 계산

중심축 선량분포를 특성화하는 방법으로 기준깊이(최대 선량깊이)에 대해 임의의 깊이에서의 선량을 정규화하는 것이다. 즉, 선속의 중심축을 따라 최대선량깊이에서의 흡수선량에 대해 임의의 깊이에서의 흡수선량을 백분율로 나타낸 것으로 정의한다. 6 MV의 광자의 경우 16 mm 깊이에서 최대 선량을 보이는데 시뮬레이션의 결과 역시 16 mm 지점에서 최대 선량이 계산되었다. 최대 선량이 측정된 지점에서의 값을 측정과 시뮬레이션의 기준 값으로 정하여 깊이에 따른 선량 분포와 일정 깊이에서의 측면 선량 분포를 백분율 값으로 비교하였다. $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 와 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 조사야에 대한 검출기 측정값과 시뮬레이션 계산값을 비교한 결과는 다음과 같다.

Fig. 4의 그래프는 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 조사야에서의 심부선량백분율(a)과 측면 선량 분포(b)의 결과로 심부 선량 측정의 경우 1 mm 간격으로 결과를 출력하였으나 인접한 결과 값들의 변동이 크지 않음을 확인한 후 그래프 상에서는 5 mm 간격으로 표시하였다. 각각 측정 지점에서의 계산선량과 측정선량 오차를 다음과 같은 공식을 통해 확인하였다.

$$(\Delta)(\text{Difference}) = D_{\text{calculation}} (\%) - D_{\text{measurement}} (\%)$$

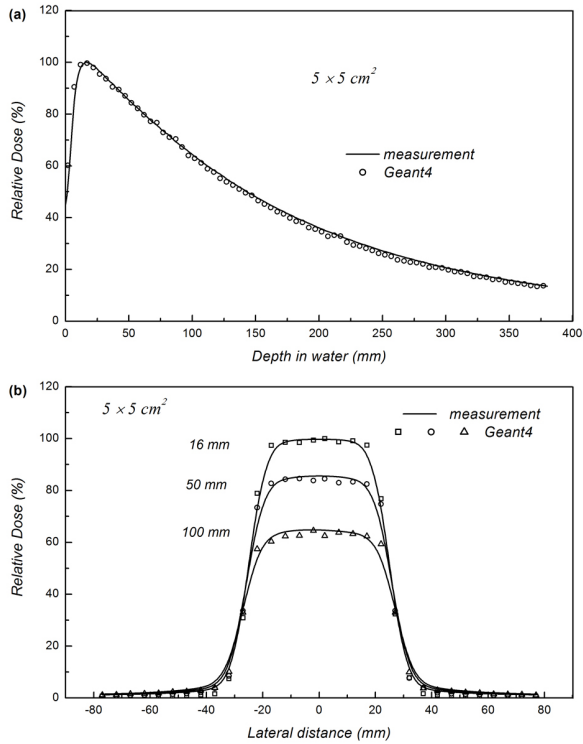


Fig. 4. (a) Relative central axis depth dose curves and (b) transverse dose distributions at 16, 50 and 100 mm depth in a water phantom for $5 \times 5 \text{ cm}^2$ field

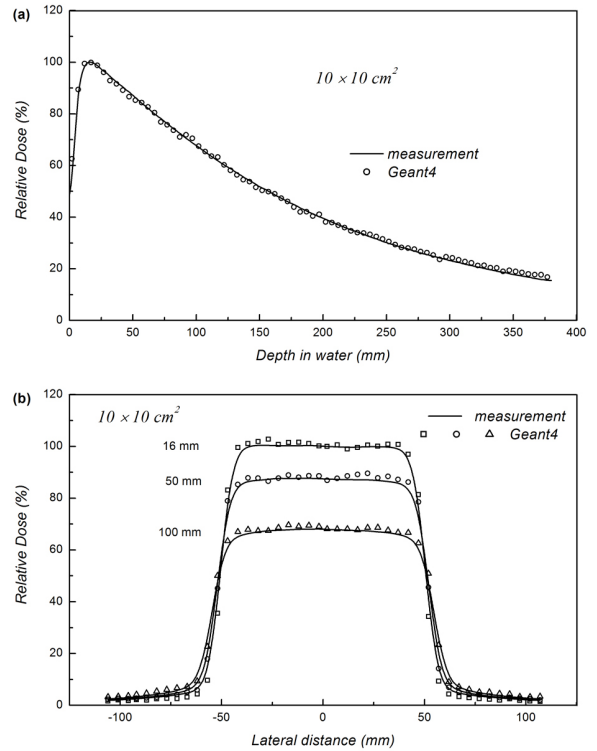


Fig. 5. (a) Relative central axis depth dose curves and (b) transverse dose distributions at 16, 50 and 100 mm depth in a water phantom for $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field

심부선량분포의 오차는 Fig. 6(a)에서 보이는 것과 같이 표면에서 10 mm 깊이까지는 오차가 평균적인 오차에 비해 큰 반면 평균적으로 $\pm 1\%$ 이내에 위치하는 것을 확인할 수 있었으며 최대 오차도 2%를 넘지 않는 결과를 보였다. 16 mm, 50 mm, 100 mm 깊이 지점에서의 측면 선량 분포도 2% 이내에서의 오차를 보였으나 선량변화가 급격한 조사면의 경계 부위에서는 계측기의 측정값에 비해 시뮬레이션 계산값이 급격한 선량을 보이는 결과를 보였다. $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 조사야를 적용한 결과는 Fig. 5과 같으며 심부선량분포와 측면 선량 분포의 오차(Fig. 6(b))가 $\pm 2\%$ 의 오차로 임상적으로 허용범위 안의 오차를 보였으나 오차의 변동이 크지 않은 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 조사야에 비해 2% 이내에서 변동이 심한 것을 확인할 수 있었다. 이는 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 조사야에 비해 이력(history)이 충분하지 않아 발생한 변동으로 이력의 증가로 오차를 줄일 수 있을 것이다.

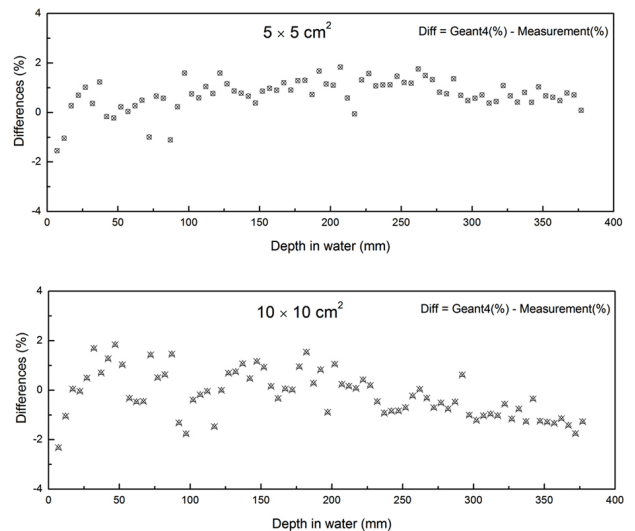


Fig. 6. Differences in relative dose between simulation and ionization chamber detection data in a water phantom for (a) $5 \times 5 \text{ cm}^2$ field and (b) $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field

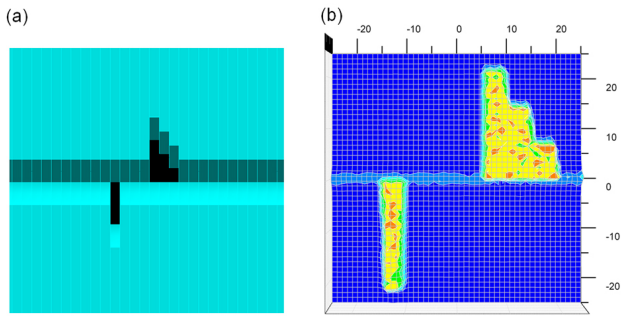


Fig. 7. (a) Modeled multi-leaf collimator position for accuracy verification and (b) dose distribution in a X-Y plane given by the modulated beam at 16 mm depth in a water phantom

3. 다엽콜리메이터

다엽콜리메이터의 정확도를 확인하기 위해 중앙 축을 중심으로 위치해 있는 팬텀의 표면에서 5 mm 너비로 조사되는 엽(실제 너비: 1.25 mm)을 대상으로 Fig. 7(a)와 같이 간격을 7 mm, 14 mm, 21 mm 개방하고 물팬텀에 조사한 후 최대 선량 깊이인 16 mm 깊이에서의 흡수선량을 측정하였다. 측정 결과를 X-Y 좌표 상에 나타내 검증한 결과(Fig. 7(b)) 엽의 기하학적 반응영과 표면에서 16 mm 깊이에 따른 확대도를 감안하더라도 1 mm 이내의 오차를 보임을 확인 할 수 있었다.

IV. 고찰 및 결론

Geant4 시뮬레이터는 객체 지향 프로그래밍이 지니는 장점에 힘입어 개방성과 활용성, 적용의 다양성을 지니고 있으나 국내에서의 연구는 시작단계로 정밀성에 대한 검증 자료 미비와 인식 부족으로 양성자 치료 연구를 제외한 방사선 치료 분야에서의 활용이 미비하다.

본 연구는 Geant4 시뮬레이션 코드를 선형가속기에 적용하여 정밀도 검증을 통한 Geant4 시뮬레이션 코드의 유용성을 검증하여 치료계획 활용의 가능성을 엿보기 위한 선행 연구로 Varian 2100C/D 치료용 선형가속기의 빔 노즐과 다엽콜리메이터에 대한 시뮬레이션 코드화를 통해 6 MV 광자의 에너지 스펙트럼을 계산하여 기존 논문의 자료와 비교한 결과 약 1%의 오차를 보임을 확인하였다. 계산된 광자 에너지 분포를 물 팬텀에 직접 조사하여 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 와 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 조사야 적용에서의 심부선량백

분율과 16 mm, 50 mm, 100 mm에서의 측면 선량에 대해 시뮬레이션 결과와 전리조 측정기의 측정 결과를 비교 평가하여 물 팬텀 내에서의 선량 분포를 검증하였다.

실험 결과 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 와 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 조사야에서의 심부 선량백분율과 16 mm, 50 mm, 100 mm에서 측정한 측면 선량 모두 측정값과 비교하여 2% 이내의 오차를 보여 임상적으로 허용범위 안의 오차를 보임을 확인하였고 다엽 콜리메이터의 정확도는 1 mm 이내의 오차를 보임을 확인할 수 있었다.

하지만 심부선량백분율의 경우 5 mm와 10 mm에서의 오차가 비교적 큰 결과를 보였는데 이는 전리조를 이용한 측정 시 반드시 전자평형 상태여야만 하지만 물 팬텀의 표면에서는 전자 불평형 영역으로 이에 따른 오차가 발생할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 시 빔 노즐에서 광자가 선속 평탄 여과판이나 2차 콜리메이터와 상호작용하여 발생하는 산란선의 영향을 시뮬레이션 과정에 설정하지 않은 결과로 이 두 가지 요인으로 인해 발생한 오차로 보인다.

$5 \times 5 \text{ cm}^2$ 와 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 에서 측면 선량 분포의 조사야 변연의 선량이 급속도로 변화하는 구간에서 측정값은 깊이에 따라 완만하게 변화하는 반면, 시뮬레이션 결과는 수직적으로 선량이 급격히 변화한다. 이 현상의 원인은 실제 선형가속기의 선원부는 지름이 약 2 mm^2 면적에서 가속된 전자가 방출되므로 선량 변화가 급격히 일어나는 경계에 반응영의 영향으로 인해 완만한 선량 변화를 보이지만 시뮬레이션 구현에서 광자의 생성형태를 점선원 방사형으로 설정하여 선원 면적에 의해 발생하는 반응영의 영향이 최소화 된 결과이다.

이번 실험에서는 Varian 2100C/D 선형가속기의 6 MV 광자에 대한 시뮬레이션을 수행하였지만 선형가속기에서 치료를 위해 적용 가능한 6 MV 이상의 에너지를 갖는 광자와 전자선에 대한 연구와 실제 치료계획에 사용하기 위해 다양한 방향에서의 선량 데이터를 확보하는 추가적 연구가 진행되어야 할 것이다. 이번 실험의 목적은 실제 선형가속기와 동일한 기하학적 구조를 구현과 균질한 물 팬텀 내에서의 선량 분포를 검증하여, 기하학적 구조의 정확한 구현을 검증하기 위한 시뮬레이션으로 본 연구의 연구 결과를 기초로, 계산적 방법에서 오차가 많이 발생하는 비균질성 조직 내에서의 선량분포 연구와 DICOM 데이터를 적용한 선량 계산 시뮬레이션 응용에서 활용하기 위해 선행되어야 하는 기초 자료로서 활용 가치가 있다고 판단된다.

참고 문헌

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, Washington, 1976
2. ICRU Report 24: Use of computers in external beam radiotherapy procedures with high energy photons and electrons, International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, 1988
3. Agostinelli S, Allison J, Amoko K, et al: GEANT4 - a simulation toolkit, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 506(3), 250-303, 2003
4. Pia MG.: The Geant4 Toolkit: simulation capabilities and application results, Nuclear Physics B(Proc. Suppl), 125:60-68, 2003
5. Agostinelli S, Allison J, Amoko K, et al: Geant4 developments and applications, IEEE Transactions on Nuclear Science, 53(1), 270-278, 2006
6. L. Archambault, L. Beaulieu, J. F. Carrier, et al: Overview of Geant4 Applications in Medical Physics, Proc. IEEE Nuclear Science Symposium, 2003
7. Jun Deng, Ravinder Nath, CM Ma, Jenny Hai: Commissioning 6 MV photon beams of a stereotactic radiosurgery system for Monte Carlo treatment planning, Med. Phys., 30(12), 3124-3134, 2003
8. Bryan Bednarz, X. George Xu: A feasibility study to calculate unshielded fetal doses to pregnant patients in 6-MV photon treatments using Monte Carlo methods and anatomically realistic phantoms, Med. Phys., 35(7), 3054-3061, 2008
9. Daryoush Sheikh-Bagheri, D. W. O. Rogers: Monte Carlo calculation of nine megavoltage photon beam spectra using the BEAM code, Med. Phys., 29(3), 391-402, 2002
10. V.N. Ivanchenko: Geant4: Physics potential for instrumentation in space and medicine, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 525, 402-405, 2004
11. Chauvie S, Guatelli S, Ivanchenko V, et al: Geant4 low energy electromagnetic physics, IEEE Nuclear Science Symp. Conf. Rec., Vol. 3, 1881-1885, 2004
12. Emily Poon, Frank Verhaegen: Accuracy of the photon and electron physics in GEANT4 for radiotherapy applications, Med. phys., 32(6), 1696-1711, 2005
13. Radhe Mohan, Chen Chui: Energy and angular distributions of photons from medical linac accelerators, Med. Phys., 12(5), 592-597, 1985
14. Andreas Baumgartner, Andreas Steurer, Franz Josef Maringer: Simulation of photon energy spectra from Varian 2100C and 2300C/D Linacs: Simplified estimates with PENELOPE Monte Carlo models, Applied Radiation and Isotopes, 67(11), 2007-2012, 2009
15. Asghas Mesbahi, Michael Fix, Mahmoud Allahverdi, et al: Monte Carlo calculation of Varian 2300C/D Linac photon beam Characteristics: a comparison between MCNP4C, GEANT3 and measurements, Applied Radiation and Isotopes, 62(3) 469-477, 2005

• Abstract

A Study on Photon Dose Calculation in 6 MV Linear Accelerator Based on Monte Carlo Method

Sang-Koo Kang · Sung-Hwan Ahn · Chong-Yeal Kim

Department of Radiation Science & Technology, Chonbuk National University

In this study we modeled the varian 2100C/D linear accelerator head and multi-leaf collimator by simulation with the GEANT4 Monte Carlo toolkit. Then central axis percentage depth dose profiles and lateral dose profiles within homogeneous water phantom($50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$) were evaluated with 6 MV photon beam. The simulations were performed in two stages. In the first stage, photon energy spectrum at the target were computed. Then spectra data was directly irradiated in the water phantom using sampling techniques. The simulation data were compared with experimental data to evaluate the accuracy of the model. Results showed that two data were matched within 2% error boundary. The proposed method will be applied for simulation of dose calculation and dose distribution study.

Key Words : Varian 2100C/D, GEANT4, 6 MV photon, percentage depth dose, lateral dose