

BEAMnrc code를 이용한 Varian 21Ex 선형가속기 모델링

김정인 · 박종민 · 박양균 · 최창현 · 김희정 · 최윤석 · 조운갑* · 예성준
서울대학교 · 한국원자력안전기술원*
E-mail: madangin@gmail.com

중심어 (keyword) : 몬테카를로 시뮬레이션, Varian 21Ex, 의료용 선형가속기(LINAC)

서 론

현재 방사선 치료를 위해서 보편적으로 가장 많이 사용되고 있는 장치는 의료용 선형가속기 (Linear Accelerator)이다. 고주파 (Radio Frequency)를 원통형의 가속관 (Acceleration tube)에 주입하여 축 방향으로 형성된 전기장을 통하여 전자건으로부터 발생한 전자를 몇 MeV 수준까지 가속한다[1]. 이를 선형 가속기 또는 LINAC (linear accelerator)이라고 하며, 이를 방사선 치료목적으로 쓰일 때에는 clinical linac이라고 한다.

선형가속기는 종류에 따라 한가지의 전자선을 발생시킬 수 있는 것, 한 가지의 X-선을 발생시킬 수 있는 것, 그리고 한 가지 이상의 전자선과 X-선을 발생시킬 수 있는 것으로 나뉘어진다. 본 연구에서는 두 가지 에너지 X-선과 다섯 가지 에너지 전자선을 발생시킬 수 있는 Varian사의 21Ex를 대상으로 전산 모사를 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구에 전산모사를 위해 본 기관 (서울대병원)에 사용되고 있는 선형가속기 (21Ex™, Varian)을 대상으로 수행되었다. 21Ex 선형가속기는 6, 15 MV의 X-선과 6, 9, 12, 16, 20 MeV의 전자선을 발생시킨다. Varian사가 배포한 'Varian Oncology Systems Confidential Information'을 근거로 하여 BEAMnrc 코드를 사용하여 전산모사를 하였다. 선형가속기의 전

산모사는 가속관을 지나 Banding magnet을 통과한 전자선을 기준으로, X-선을 발생시키기 위해 설치된 텅스텐 Target을 시작으로 Gantry head을 모사하여 시행한다.

Gantry head의 모사는 X-선과 전자선의 구성 모듈이 다르다. X-선의 구성 모듈의 순서는 다음과 같다. Target - Primary collimator - Vacuum window - Flattening filter - Monitoring ion chamber - Mirror - Jaws - MLC (multi leaf collimator) - Light field reticle. X-선은 두 에너지에 따라 target의 두께와 flattening filter의 디자인이 다르게 구성된다. 전자선의 구성 모듈 순서는 다음과 같다. Primary collimator - Vacuum window - Upper scattering foil - lower scattering foil - Monitoring ion chamber - Mirror - Jaws - MLC (multi leaf collimator) - Light field reticle - Applicator (cone). 전자선은 각각의 에너지에 따라서 scattering foil의 두께가 달라지며, 같은 radiation field를 형성하는 applicator라도 movable collimator (Jaws)의 opening이 달라진다. 실제 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ radiation field를 만들기 위해 X-선에서 jaws는 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 으로 투영되는 크기로 열리지만, 전자선의 경우는 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ (6, 9 MeV)와 $14 \times 14 \text{ cm}^2$ (12, 16, 20 MeV)으로 투영되는 크기로 열리게 된다. 이것은 전자선의 에너지에 따른 투과력과 산란력을 고려하여 실제 치료에서의 선형가속기 상황과 동일하게 모사하였다. 그림 1은 X-선과 전자선의 모듈 구성을 나타낸다.

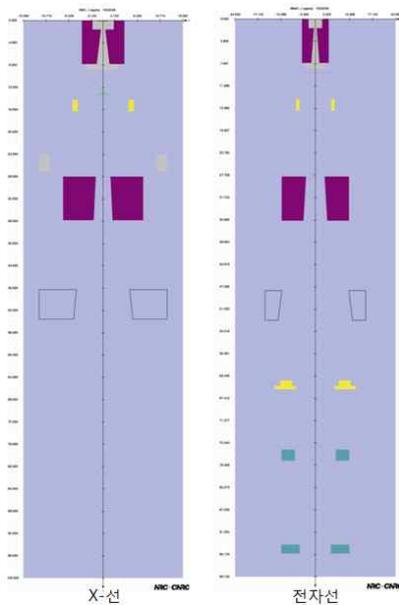


그림 1. Varian 21Ex Linac head

결과 및 고찰

선형가속기를 BEAMnrc 코드를 사용하여 모델링 한 후 SSD (Source Surface Distance) 100 cm에서 위상공간 파일 (Phase-space file)을 생성하였다. 위상공간 파일은 해당 위치에서 모든 입자들의 에너지, 위치, 방향 그리고 전하량 등의 정보를 가지고 있다.

선형가속기마다 에너지에 따른 빔 출력 특성이 다르기 때문에 실제 측정 빔의 특성과 모사된 빔의 특성을 일치시키기 위한 검증이 필요하다. 검증 절차로 BEAMDP 코드를 사용하여 조사면의 크기와 에너지를 확인 하였으며, 이외에 위상공간 파일에서는 모든 입자들의 angular 또는 spectral distribution의 정보를 알 수 있었다. 검증 절차를 수행한 후에 입사되는 전자선의 에너지와 Gaussian distribution radial (sigma or FWHM)을 조정하며 측정 빔과 모사된 빔의 흡수선량이 2 % 이내로 일치하도록 반복적으로 계산을 수행하였다[2].

X-선 모사 빔은 flattening filter의 정확한 디자인이 빔 특성에 가장 큰 영향을 미치며, 전자선의 경우는 applicator의 디자인이 표면선량 분포에 큰 영향을 주었다.

결론

이상의 연구를 통해 Varian사의 21Ex 선형가속기를 BEAMnrc 코드를 이용하여 전산모사를 해보았다. 선형가속기의 빔 출력은 동일한 회사의 제품이라도 설치 시점과 commissioning 환경에 따라 달라 질 수 있다. 또한 선형가속기 자체적으로도 일일 출력이 2 % 이내로 바뀌기 때문에 전산모사를 통한 빔 데이터의 검증과 관리가 가능해진다[3]. 또한 장기적인 시간을 요구하는 실험에 있어서 전산모사를 통한 선행 연구를 함으로써 통계적인 오차분석이 가능하게 된다. 본 연구에서는 물 팬텀에서의 흡수선량을 고체 팬텀에서의 흡수선량과 비교하여 두 팬텀에서 측정된 흡수선량 차이에 미치는 과학적인 근거를 도출하는 실험을 진행 중에 있다.

참고 문헌

1. "Radiation Physics for Medical Physicists", E. B. Podgorsak, P110-115.
2. Med. Phys. 30 (4), April, Determining the incident electron fluence for Monte Carlo-based photon treatment planning using a standard measured data set, (2003).
3. AAPM REPORT NO. 46, COMPREHENSIVE QA FOR RADIATION ONCOLOGY.