

BEAM 몬테칼로 코드를 이용한 Siemens Primus 선형가속기 다엽콜리메이터의 모델링 예비연구

*가톨릭의대 의공학교실, †한림성심병원 방사선종양학과

정광호* · 서태석* · 조병철† · 박성호†

본 연구에서는 방사선치료장치의 몬테칼로 시뮬레이션에 널리 이용되는 BEAM 코드를 이용하여 Siemens 사의 Primus 선형가속기 다엽콜리메이터(MLC)를 모델링한 후 그 적합성을 측정 데이터와의 비교를 통하여 검증하였다. 모델링을 위해 Primus 선형가속기의 다엽콜리메이터의 치수를 실측하였고 근사화를 통해 VARMLC 모듈을 사용하여 모델링하였다. 모델링 시에 leakage 및 tongue-and-groove 효과를 고려하였다. 시뮬레이션 결과는 필름 측정 결과와 잘 일치함을 확인하였으며, 본 연구에서의 방법이 Siemens 사의 다엽콜리메이터의 모델링에 유효함을 확인할 수 있었다.

중심단어: BEAM 코드, Siemens Primus, 다엽콜리메이터 (MLC)

서 론

BEAM 코드는 전자선 및 광자선 선량계산 몬테칼로 코드인 EGS 코드 기반의 몬테칼로 시뮬레이션 코드로서 방사선 선량 계산 및 분석에 유용한 기능들을 제공하고 있다¹⁾. 이는 일련의 독립적인 컴포넌트 모듈(CM)을 구성하여 선형 가속기와 같은 방사선 치료장치를 실제와 같이 모사할 수 있도록 하며, 그 결과를 위상공간 데이터(phase space data)로 저장한다. 그러나 선형가속기 두부(head)의 구조가 복잡할 경우에는 기본적으로 제공되는 컴포넌트 모듈만으로는 모델링이 어려운 경우가 많은데 이를 위해 코드를 만든 NRC (National Research Council, Canada) 및 사용자 그룹에서는 다양한 컴포넌트 모듈을 제작하고 있다.

최근에는 세기변조방사선치료(IMRT)에 다엽콜리메이터가 많이 이용되면서 이의 모델링의 중요성이 부각되고 있다²⁻⁶⁾. Varian 사의 장비는 상대적으로 모델링이 용이하며 사용자가 많아 이미 컴포넌트 모듈이 코드와 함께 기본 제공되고 있다. 그러나 Siemens 사 장비의 경우엔 모델링의 까다로움으로 인해 아직까지는 제대로 된 모델링이 이루어지지 못했다. 이는 다엽콜리메이터가 X-Jaw (lower Jaw)를 대체하고 있으며, 더블 포커싱을 이루고 있고 원호(arc)로 움직이는 각각의 엽(leaf)은 중심부를 기준으로 대칭 형태를 이루고 있지만 각각 다른 엽 형태를 가지고 있기 때문이다. (Fig. 1) 이러한 점들이 모델링을 어렵게 하는 요인이 되고 있다.

본 연구에서는 Varian 사의 다엽콜리메이터 모델링을 위한 VARMLC 모듈을 이용하여 Siemens Primus 선형가속기의 다엽콜리메이터를 모델링한 후 그 적합성을 평가하고자 한다.

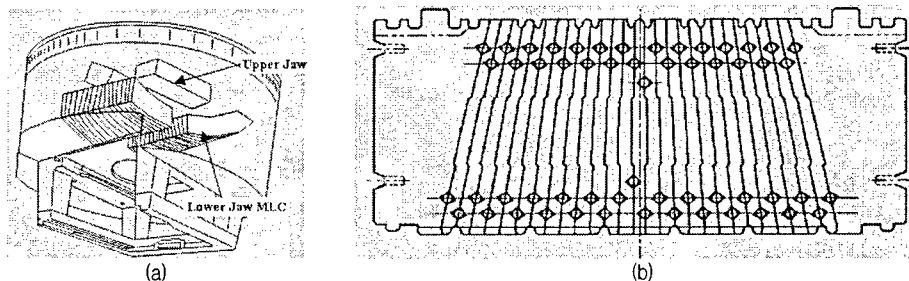


Fig. 1. Schematic of Siemens Primus MLC (a) MLC replaces the lower jaw and leaves move in arc motion (b) Cross section of MLC. Every leaf shape is different each other.

재료 및 방법

1. 다엽콜리메이터의 치수 실측 및 근사화

본 연구에서는 Siemens Primus 6MV 선형가속기에 대하여 모델링하였다. Siemens 사에서는 사용자 요청 시 BEAM 코드를 이용한 몬테칼로 시뮬레이션을 위해서 스프레드 쉬트 형태로 된 선형가속기 두부의 기하학적 정보 및 물질 정보를 제공한다. 그러나 다엽콜리메이터의 경우에는 해당 컴포넌트 모듈이 없어 80개의 엽을 가진 가상의 다엽콜리메이터를 구성하여 시뮬레이션 할 것을 권고하고 있는데 이러한 방법은 부적합할 뿐만 아니라 사용에도 불편함이 많다. 이에 다엽콜리메이터의 적절한 모델링 방법을 모색하기 위하여 우선 Siemens 사에 다엽콜리메이터의 정확한 기하학적 정보를 요청하였으나 보안상의 이유로 얻지 못하여 직접 그 치수를 실측하였다. 측정된 각 치수는 mm 단위의 부정확성을 가질 수 있으나 그 오차는 시뮬레이션에 영향을 미칠 만큼 크지 않을 것으로 가정하였다.

이 후 모델링을 위하여 각 엽의 움직임에 따른 위치, 크기의 변화를 확인하였다. 원호의 움직임을 직선으로 나타내더라도 엽의 두께의 경우에는 약 1.5mm, Zmin 및 Zmax의 경우엔 각각 6mm 정도의 차이만 있는 것으로 나타나 원호 대신 직선 형태로 나타내더라도 시뮬레이션 결과에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단되어 가급적 단순하게 근사화 하였다. (Fig. 2)

2. VARMLC 컴포넌트 모듈을 이용한 모델링

VARMLC는 Varian 사의 선형가속기의 다엽콜리메이터를 모델링하기 위한 것으로 80개의 엽을 갖는 Millennium MLC의 모델링에 적합한 컴포넌트 모듈이다. 이 컴포넌트 모듈은 모델링의 유연성을 위해 자체적으로 더블 포커싱과 엽의 끝단의 형태 등에 대한 옵션을 제공하고 있다. (Fig. 3) 그러나 본질적으로 Varian 사와 Siemens 사의 다엽콜리메이터의 구조가 다르기 때문에 tongue-and-groove 효과와 leakage, 반음영(penumbra) 효과 등이 다르게 나타난다. 그렇지만 현 단계에서는 그 효과가 크지 않을 것이라는 가정 하에 VARMLC 컴포넌트 모듈의 입력 조건에 맞도록 실측된 값들을 넣어서 모델링 하였다.

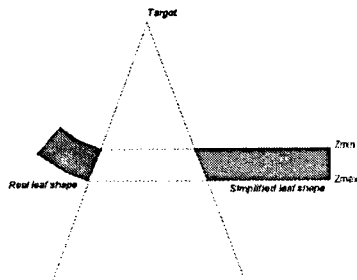


Fig. 2. Simplification of leaf shape. Arc shaped leaf shape was changed into parallel shaped leaf

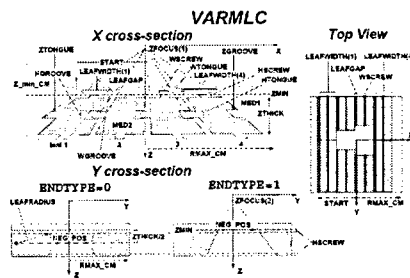


Fig. 3. Parameters and diagrams of Varian MLC component module used in this study

3. 몬테칼로 시뮬레이션

본 연구에서는 BEAM 코드의 최신 버전인 BEAMnrc 2004 버전을 이용하였다. 먼저 leakage 평가를 위해서 상단 Y-Jaw를 조사면 크기 10cm로 연 후 다엽콜리메이터의 엽들을 모두 닫은 조건에서 위상공간데이터를 구하고 이를 다시 DOSXYZnrc 코드를 이용하여 투과선량을 구하였다. 위상공간 데이터에서는 약 1천만개의 광자에 대하여 정보를 얻었으며, DOSXYZnrc 시뮬레이션에서는 1×1×5mm³의 복셀 크기를 갖는 전체 크기 40×40×40cm³의 팬텀에서 선량을 구하였다. 시뮬레이션 시간이 매우 오래 걸린 관계로 통계적 불확실성은 3% 이하로 하였다. 또한 비정형 조사면에서의 위상공간 데이터를 얻기 위하여 임의의 형태로 다엽콜리메이터를 연 조건에서 위상공간 데이터를 획득하였다.

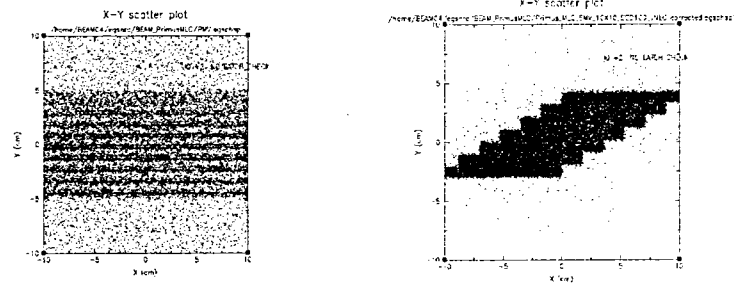
4. 필름 측정과의 비교

솔리드 워터 팬텀 내부에 라디오그래픽 필름을 삽입한 후 몬테칼로 시뮬레이션과 같은 조건에 대하여 투과 선량을 측정하였다. 측정 데이터는 10×10cm² 개조사면의 output에 대하여 정규화하였다.

결과 및 고찰

Fig. 4에서는 모델링 후 BEAM 코드의 시뮬레이션으로 얻은 플루언스를 나타낸다. Fig. 5는 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 투과선량 비교를 나타내고 있다. 몬테칼로 시뮬레이션 결과 자체의 통계적 불확실성이 크기 때문에 오차가 큰 편이지만 전체적인 양상은 유사하다고 할 수 있다. 이는 VARMLC 컴포넌트 모듈을 이용하여 Siemens 사 장비의 다엽 콜리메이터를 모사하더라도 tongue-and-groove 효과나 leakage 등이 적절하게 나타남을 의미한다. 그러나 본 연구에서의 방법은 어디까지나 근사화된 방법이므로 실제 임상 적용 시에는 더 큰 오차가 유발할 수도 있을 것이다.

궁극적으로는 Siemens 사의 다엽콜리메이터의 특징을 잘 나타낼 수 있는 컴포넌트 모듈을 제작하는 것이 필요하겠다. 차후에는 보다 합당한 모델링을 위하여 Siemens 사의 MLC 모델에 적합하도록 VARMLC 컴포넌트 모듈을 수정한 후 모델링하는 방법도 시도해 보고자 한다.



(a) All MLC leaves are closed (b) Some leaves are opened arbitrarily

Fig. 4. Fluence information obtained from the phase space data of the simulation result of this study

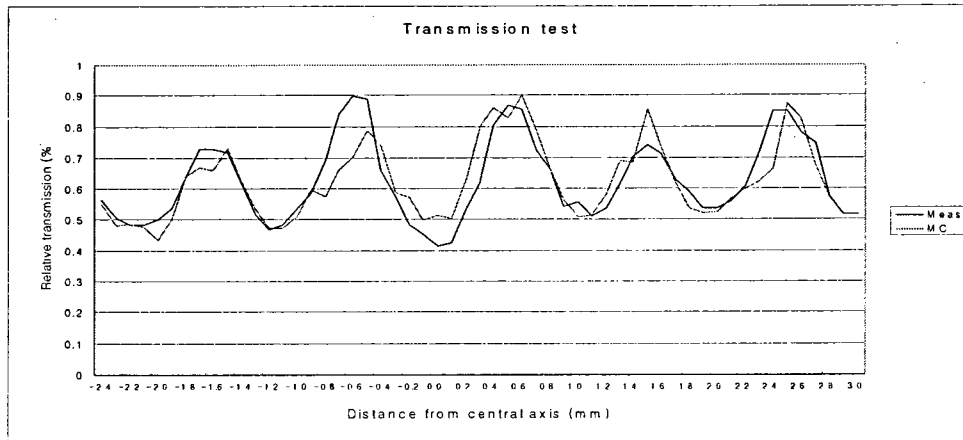


Fig. 5. Comparison result between Monte Carlo simulation and film measurement of dose with closing all the MLC leaves to test the transmission ratio or leakage. There was good agreement.

참 고 문 헌

1. D.W.O. Rogers, B.A. Faddegon, G.X. Ding, C.M. Ma and J.We, "BEAM : A Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units", Med. Phys., 22, 503-524, 1995
2. J.O. Kim, J.V. Siebers, P.J. Keall, M.R. Arnfield, and R. Mohan, "A Monte Carlo study of radiation transport through multileaf collimators", Med. Phys., 28, 2497-2506, 2001
3. Y. Chen, A.L. Boyer, and C.-M. Ma, "Calculation of x-ray transmission through a multileaf collimator", Med. Phys., 27, 1717-1726, 2000
4. J. Deng, T. Pawlicki, Y. Chen, J. Li, S.B. Jiang and C.-M Ma, "The MLC tongue-and-groove effect on IMRT dose distributions", Phys. Med. Biol. 46, 1039 - 1060, 2001
5. T. Pawlicki and C.-M. Ma, "Monte Carlo simulation for MLC-based intensity modulated radiotherapy", Medical Dosimetry, 26, 157 - 168, 2001
6. R.F. Aaronson, J.J. DeMarco, I.J. Chetty and T.D. Solberg, "A Monte Carlo based phase space model for quality assurance of intensity modulated radiotherapy incorporating leaf specific characteristics", Med. Phys., 29, 2952-2958, 2002

Preliminary Study of the Siemens Primus Linac MLC modelling using BEAM Monte Carlo code

Kwang-Ho Cheong*, Tae-Suk Suh*, Byung-Chul Cho[†], Sung-Ho Park[†]

**Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea,*

[†]Department of Radiation Oncology, The Hallym University Sacred Heart Hospital

In this study, we had modelled Siemens type MLC using BEAM Monte Carlo code and tested the feasibility of the modelling. To model the Primus linac MLC, we had measured the actual dimensions of MLC and each leaves, then approximated the leaf shape. VARMLC component module was used for the modelling and leakage, tongue-and-groove effect were also considered. Simulation result showed the good agreement with the film measurement.

Key Words: BEAM code, Siemens Primus, multileaf collimator