

BEAM 코드 시스템을 이용한 선형가속기의 스펙트럼 평가

Evaluation of Spectrum of LINAC Using BEAM Code System

박성호, 김종경
한양대학교

조병철
한림대학교

요 약

전남대병원에서의 자궁암 치료사고는 일부 전문가들 사이에서만 주장되어 오던 정확한 선량 평가시스템 구축 필요성을 다시 한번 일깨워준 일례라 하겠다. 국내는 물론이거니와 해외에서의 방사선치료평가시스템의 주류는 몬테칼로 코드로 계산한 커널을 사용하여 선량을 평가하는 Superposition/Convolution 방법^[1]에 근거한 코드가 사용되고 있다. 세기말을 전후하여 몬테칼로 방법에 완전히 의존하는 시스템들이 연구/개발되었다. 캐나다 NRC 팀의 BEAM 코드 시스템^[2](1995년), LLNL의 Peregrine 시스템^[3](1999년), 바르셀로나 대학-미시간 대학팀의 DPM 시스템^[4](2000년) 등이 대표적인 예라 할 수 있다. 본 연구에서는 가장 먼저 개발되었으며 연구자들에 의해 많이 인용되어 왔던 BEAM 코드시스템을 도입하여 다양한 크기를 가지는 광자 모드에서 스펙트럼 평가를 수행하였다.

Abstract

The accident happened at Chonnam national university hospital in treating of uterine cancer is an example to open eyes for necessary to use more accurate dose evaluation system. In domestic and abroad, the Codes based on superposition/convolution methods using kernels pre-calculated by Monte Carlo codes, had been widely used. Around the end of a century, the systems fully depending upon Monte Carlo methods were investigated and developed. The examples are BEAM code system developed by NRC team of Canada, Peregrine system developed by LLNL, and DPM system developed by Barcelona and Michigan university. In this study, BEAM code system, first developed above all and used by numerous researchers, was introduced and spectrum evaluation was performed for various size beam of photon mode.

1. 서 론

뢴트겐에 의해 X-선이 발견된 이래로 방사선은 여러 분야에서 사용되어져 왔다. 특히 방사선에 의한 악성종양 치료 부분에서는 상당한 발전을 이루어 왔으며 현재 많은 암 환자들이 방사선 치료로 암을 치료하고 있다. 방사선 치료의 성패는 정확한 암부위 평가 측면도 중요하겠지만, 방사선 치료시 방사선치료설계의 정확도 및 환자에 투여하는 선량의 정확한 투여가 가장 중요하다고 하겠다. ICRU 24^[5]에서는 환자 투여 선량이 계획된 선량과의 오차를 5% 이하로 유지할 것을 권고하고 있다. 컴퓨터를 이용한 방사선계획치료 시스템은 정확한 계산결과를 제공해야 한다는 개념 아래 컴퓨터의 성능에 맞추어 개발되어 왔다. 80년대 pencil beam 방법^[1]이 주로 이용되었었고, 90년대 이후에는 superposition/convolution 방법이 주로 사용되어 왔다. 90년대 이후에는 미소체적법 (Voxel Monte Carlo) 등 완전히 몬테칼로 법에 근거하는 선량평가 시스템을 개발해 왔다. 한편 캐나다 NRC 팀에서 개발한 EGS4 코드는 의료분야에서 1970년대부터 널리 사용되어 왔다. 그러나 시대적으로 컴퓨터의 성능이 현저히 떨어지는 상황에서는 실제 적용이 매우 어려웠다. 그러나 1990년대 이후 급격한 컴퓨터 하드웨어의 발달은 임상적용 가능한 몬테칼로 코드 개발의 가능성을 제시해 주었으며 캐나다 NRC에서는 선형가속기를 사용한 암 치료시 CT 자료에 근거한 인체 내에서의 선량계산 코드시스템인 BEAM 코드 시스템을 개발하였다.(1995년)

2. BEAM 코드 시스템

2.1 BEAM 코드 시스템

BEAM 코드 시스템은 모코드인 EGS4 코드 시스템의 사용자 코드이며 선형가속기를 쉽게 모델링 하여 암치료에 사용하는 광자빔/전자빔을 몬테칼로 방법에 의해 모사하고 CT 자료에 근거한 인체내에서의 선량계산/평가를 목적으로 하는 코드이다. 전체 계산의 흐름을 그림 1에 나타내었다.

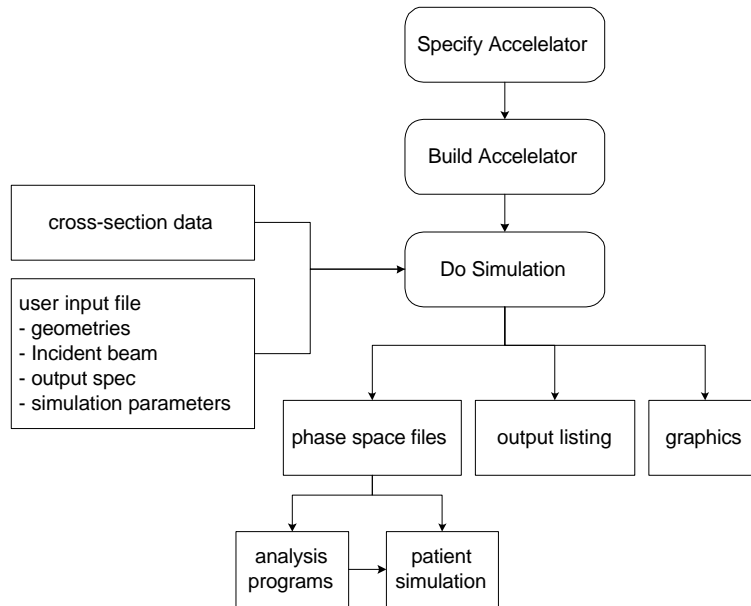


그림 1 BEAM 코드 시스템 계산 흐름도

2.2 선형가속기 모델링

암치료에 사용되는 선형가속기는 광자 모드와 전자모드중 한가지 모드로 사용된다. 이번 연구에서는 광자 모드로 사용되는 경우에 4×4 , 6×6 , 8×6 , 10×10 , 12×12 , 15×15 , 20×20 , 25×25 , 30×30 의 다양한 크기를 가지는 빔에 대한 스펙트럼을 계산하였다.

광자발생 모드의 가속 전자 에너지는 16 MVp 이며, 가속기의 부품을 표 1과 같이 모델링 하였다. 발생하는 빔의 크기는 secondary jaws의 입력 변수를 변화시킴으로서 모사하였다.

표 1 광자모드에서의 선형가속기 모델링

BEAM 모듈	형태	재질
target	slabs	W
primary collimator	cons3r	Fe
flattening filter	falttening filter	Fe+W
chamber	chamber	Mylar+Al
mirror	mirror	Al+PMMA
secondary jaws	jaws	W
air	slabs	PMMA

3. BEAM 코드 계산결과

빔 사이즈가 4×4, 6×6, 8×6, 10×10, 12×12, 15×15, 20×20, 25×25, 30×30의 경우에 대하여 각각 계산을 수행하였다. 몬테칼로 시뮬레이션시 각각의 경우에 500,000개의 이력을 주어 계산하였으며 빔사이즈가 작은 몇몇 경우를 제외하고는 상대오차가 5% 미만을 유지하였다. 계산결과 가속기에서 발생되어 방사선 치료에 사용되는 입자의 이력이 파일로 저장되는데 BEAMDP 코드를 이용하여 분석을 수행하였다. 총 플루언스, 에너지 플루언스, 평균에너지 계산결과를 광자와 전자에 대하여 각각 표 2에 나타내었다.

표 2 빔 사이즈 및 위치별 평균에너지

빔 사이즈	fluence (cm ⁻²)		energy fluence (MeV/cm ²)		mean energy (MeV)	
	광자	전자	광자	전자	광자	전자
4×4	3.9829e-5	2.3565e-8	1.6665e-4	1.0419e-7	4.1843	4.5369
6×6	4.3982e-5	5.8652e-8	1.79425e-4	2.4812e-7	4.0795	4.3141
8×8	4.8336e-5	1.0783e-7	1.9202e-4	5.8977e-7	3.9728	5.5553
10×10	5.1204e-5	1.3772e-7	2.0053e-4	5.9365e-7	3.9167	4.4110
12×12	5.4745e-5	1.5784e-7	2.1097e-4	6.3569e-7	3.8548	4.1124
15×15	6.0693e-5	2.3279e-7	2.2787e-4	9.3773e-7	3.7537	4.1225
20×20	7.3273e-5	3.2019e-7	2.6285e-4	1.1852e-6	3.5823	3.8074
25×25	8.2452e-5	3.9489e-7	2.8245e-4	1.4055e-6	3.4378	3.6686
30×30	8.7521e-5	4.5866e-7	2.8823e-4	1.4939e-6	3.3054	3.3776

그림 2~4에 동일한 결과를 광자/전자에 대하여 도시하였다. 그림 2에는 총 플루언스를 도시하였는데 두 경우 빔의 크기가 증가함에 따라 플루언스가 증가함을 볼 수 있다. 그림 3에는 에너지 플루언스를 도시하였는데 빔의 크기가 증가함에 따라 에너지 플루언스도 증가하는 경향을 알 수 있다. 그림 4에는 평균에너지를 도시하였는데 광자의 경우 빔의 크기가 증가함에 따라 4.13 MeV에서 3.33 MeV로 점차로 감소하는데 반해 전자의 경우에도 4.53 MeV에서 3.377 MeV로 전반적으로 감소하는 경향을 보인다. 그림 5에는 광자의 스펙트럼을 도시하였는데 빔의 크기와 관계없이 비슷한 양상을 보이며 3 MeV 정도까지는 증가하다가 점차로 감소하는 모습을 보이고 있다.

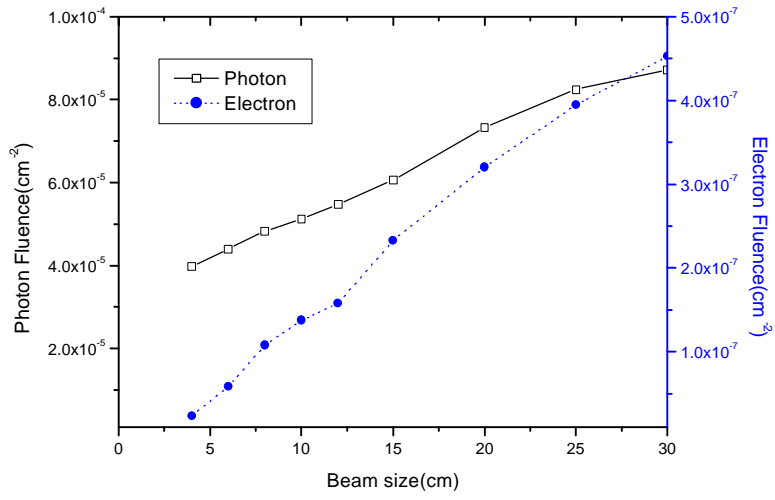


그림 2. 16 MV_p 빔의 광자/전자 플루언스

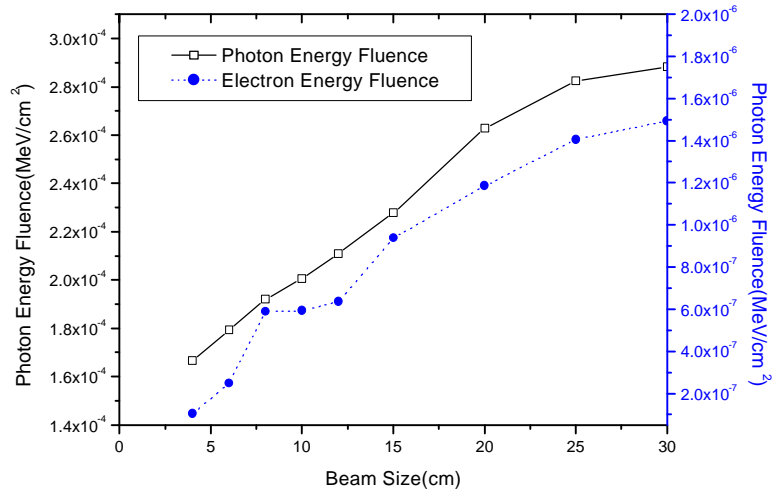


그림 3. 16 MV_p 빔의 광자/전자 에너지 플루언스

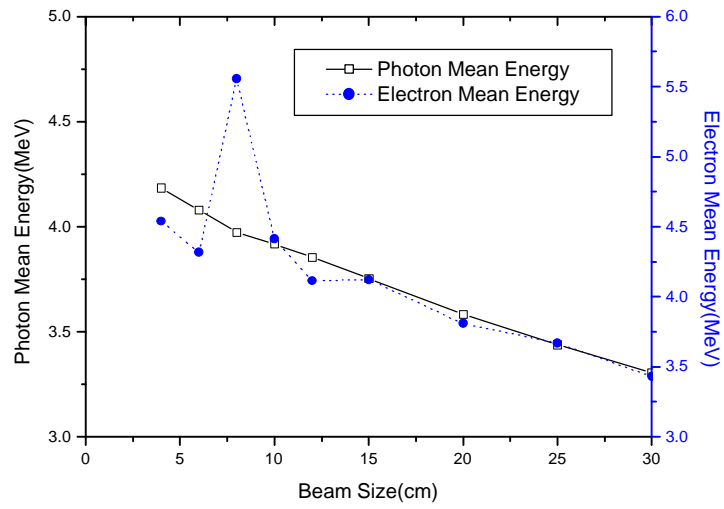


그림 4. 16 MV_p 빔의 광자/전자 평균에너지

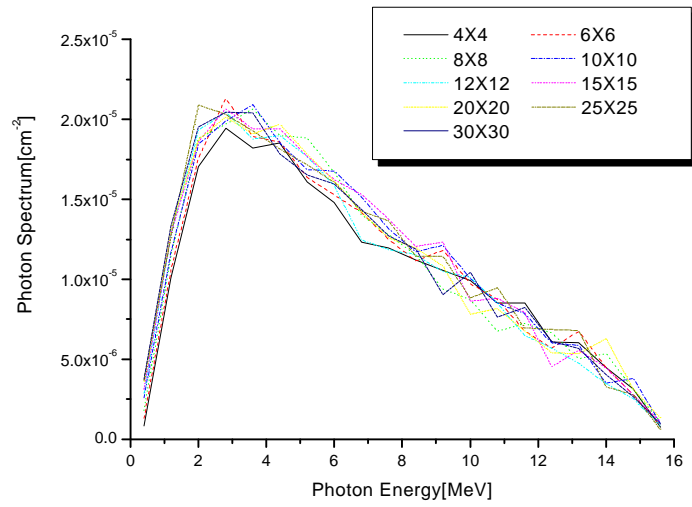


그림 5. 16 MV_p 광자빔의 스펙트럼

4. 결론 및 응용

정확한 방사선 치료계획 시스템으로 사용 가능한 BEAM 코드 시스템을 이용하여 16 MVp 광자빔의 경우 다양한 크기의 빔에 대하여 스펙트럼 계산을 수행하였다. 이번 연구에서 계산된 스펙트럼은 BEAM 코드 시스템에서 제공하는 DOSXYZ 코드의 입력 스펙트럼으로 사용 가능하며, 다른 몬테칼로 코드의 입력 스펙트럼으로의 활용도 가능하다.

감사의 글 : 이 연구는 한국과학기술평가원의 원자력기초연구 지원 프로그램 및 과학재단 지정 우수연구센터인 방사선안전신기술연구센터의 지원에 의해 수행되었음

참 고 문 헌

1. P.J. Keall, and P.W. Hoban, "Super Monte Carlo : A 3-D Electron Beam Dose Calculation Algorithm," Med. Phys., 23, 2023-2034(1996).
2. D.W.O. Rogers, B.A. Faddegon, G.X. Ding, C.M. Ma, J. Wie, and T.R. Mackie, "BEAM : a Monte Carlo Code to Simulate Radiotherapy Treatment Units," Med. Phys. 22, 503-524(1995).
3. C.L. Hartmann Siantar et al., "Lawrence Livermore National Laboratory's PEREGRINE Project," in LLNL Report No. UCRL-JC-126732(1997).
4. J. Sempau, S.J. Wildmann, and A.F. Bielajew, "DPM, a Fast, Accurate Monte Carlo Code Optimized for Photon and Electron Radiotherapy Treatment Planning Dose Calculations," Phys. Med. Biol., 45, 2263-2291(2000).
5. ICRU Report No.24, Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures(ICRU, Washington, DC, 1976), pp. 45-50.