pISSN : 1976-0620, eISSN : 2384-0633
https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.6.429 "J. Korean Soc. Radiol., Vol. 11, No. 6, November 2017"

A Study on the Difference of Geometrical Modeling in the Calculation of Shielding and Activation Using Monte Carlo Simulation

Seunguk Heo,[1] Yongkeun Song,[2] Gyuseok Cho,[3] Moojae Han,[1] Jikoon Park[4,*]

[1]Department of Biomedical Engineering, Inje University
[2]Gimhae Biomedical Center, Gimhae Industry Promotion and Biomedical Foundation
[3]Department of Radiation Instrument, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences
[4]Department of Radiological Science, International University of Korea

Received: October 27, 2017. Revised: November 23, 2017. Accepted: November 30, 2017

ABSTRACT

In order to increase the therapeutic effect of radiation, there has been an increase in the use of conventional photon therapy. The intensive care unit should pay more attention to the radiation safety evaluation due to the higher energy and the larger facility compared to the existing Photon treatment. These radiation safety evaluations are mainly performed by using Monte Carlo simulation, and the first thing to be done is geometric modeling. The Heavy-ion treatment facility uses synchrotron as the accelerating device, which is difficult to precisely model geometrically and is mostly modeled briefly. This study investigated the effect of simplification and precise implementation of Dipole magnet among the components of synchrotron acceleration device on the radiation safety evaluation. The results show that the simplified geometric model is overestimated with the precisely implemented geometric model. Therefore, it is considered that the radiological safety evaluation results in more reliable results of the precise geometric modeling.

Keywords: Monte Carlo simulation, Shielding simulation, Activation simulation, FLUKA, Geometry modeling

Ⅰ. INTRODUCTION

방사선을 이용한 시설(원자력 발전시설, 방사선 치료시설, 동위원소 생산시설 등)은 계속 증가하는 추세다. 이와 같은 시설은 다양한 분야에서 이용자의 편의를 제공하는 동시에 방사선 피폭 위험을 동반하게 된다. 특히 방사선 치료시설은 방사선을 인체에 직접 조사하여 종양치료에 이용하기 때문에 다른 시설 대비 피폭의 위험보다 이용자의 편의가 더 크다.

하지만 최근 방사선 치료 장치는 높은 치료효과를 위해 기존 Photon 치료보다 방사선위해가 더 큰 중입자치료의 수요가 꾸준히 증가하고 있는 실정이다.

중입자치료에 사용되는 에너지 영역은 Photon 치료기 대비 약 100~1000배 정도 높기 때문에 방사선 피폭 위험이 더욱 증가 되었다. 또한 기존 Photon 치료 장치는 치료 장치 일체가 치료실 내부에 위치하며 상대적으로 낮은 에너지 영역을 사용하기 때문에 치료실 차폐만으로도 충분히 방사선 피폭 위험을 낮출 수가 있다. 반면에 중입자 치료 장치는 중입자를 가속하는 장치와 치료 장치가 각각의 실로 분리(가속기실 및 치료실)되어 있고 규모가 거대하기 때문에 치료실 주위뿐만 아니라 시설의 내부와 주변까지 광범위적인 차폐 및 방사화 계산이 필요하다.

중입자 치료 시설의 차폐 및 방사화 계산은 다양한 방사선원과, 복잡한 기하학적 형상(시설 및 장비)에

* Corresponding Author: Jikoon Park E-mail: radiopjk@iuk.ac.kr Tel: +82-55-751-8301
Address: International University of Korea, 965, Dongbu-ro, Munsan-eup, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea, 52833

의해 일반적인 수식 계산이 불가능하기 때문에 현재는 Monte Carlo Simulation(FLUKA code,[1] PHITS code,[2] MCNPX code[3] 등)을 통해 이루어진다.

Monte Carlo simulation을 위해서는 방사선원에 관한 사항, 시설 및 장비의 기하학적 형상에 관한 사항, 계산결과의 표현에 관한 사항 등을 설정해야 한다. 이러한 작업을 INPUT파일 제작이라 하며, INPUT파일 제작에서 가장 많은 시간이 소요되며 계산결과에 가장 큰 영향을 끼치는 것이 기하학적 형상(Geometry Modeling)에 관한 사항이다.

Geometry Modeling은 정교하게 할수록 INPUT파일 제작시간과, 계산시간(Computing time)이 늘어난다. 하지만 정확한 계산결과의 도출은 정확한 방사선 안전성평가, 시설의 가동시간 설정, 시설의 차폐비용 산정까지 밀접하게 연관된다.

중입자치료 장치는 중입자를 가속시키기 위해 싱크로트론 가속기를 사용하게 되는데 싱크로트론 가속기는 다양한 마그넷들이 연속적으로 이루어진다.

이러한 마그넷에서 중입자가 가속되는 과정에서 일부 누설이 되고, 누설된 중입자는 마그넷과 상호작용하여, 2차 방사선이 생성되어 시설의 방사선안전에 영향을 끼치게 된다.

또한 마그넷까지 Geometry Modeling을 하게 되면 INPUT제작 시간과 계산시간이 늘어나게 되어, 보통 간단한 Target을 두고 차폐 및 방사화 계산을 수행하게 된다. 따라서 간단한 Geometry modeling과 정교한 Geometry Modeling이 차폐 및 방사화 계산결과에 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 연구가 필요하다고 판단하였다.

따라서 해당 논문에서는 중입자 치료 장치에서 싱크로트론 마그넷의 정교한 Geometry Modeling과 간단한 Geometry Modeling이 계산결과에서 어떠한 차이점이 있는지 Monte Carlo Simulation을 이용하여 평가한 연구이다.

Ⅱ. MATERIAL AND METHODS

Simulation은 Monte Carlo code 중 하나인 FLUKA 2011.2c.6[1]을 이용하였다. 간단한 Geometry(이하: Simple magnet)와 정교한 Geometry(이하: Real magnet)로 기하학적 모델링의 차이점을 두었고, 평가 내용은 Neutron Flux, Depth Dose, Total Activity, 냉각시간에 따른 Dose rate를 상호 비교하였다.

방사선원은 중입자치료시설에서 주로 이용하는 Carbon-12를 이용하였고, 에너지는 430 MeV/nucleon으로 하였다. Simple model의 형상은 Fig. 1과 같이 구의형태이며 구의 내부는 지름 3 cm인 진공상태, 외부는 지름 6 cm이며 물질은 Iron으로 이루어진 형태다. 방사선원은 구의 중심에 Point source의 형태로 위치시켰다.

Real magnet은 Fig. 2와 같이 싱크로트론의 Dipole 마그넷을 모델링하였다. Real magnet의 중심은 가속관이 지나가는데 가속관의 모델링은 내부가 진공이고 두께가 0.2 cm인 Iron으로 된 구를 모델링하였다. 물질은 코일을 제외한 나머지는 Iron, 코일은 copper로 모델링 하였다. 방사선원은 가속관의 중심에 Point source의 형태로 위치시켰다. 빔의 방향과 Weight는 Simple magnet과 Real magnet 모두 동일하게 적용하였다.

Geometry modeling은 FLUKA code의 GUI 프로그램인 Flair-2.3-0[4]를 사용하였다.

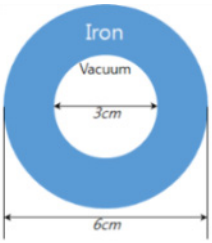


Fig. 1. Simple magnet modeling.

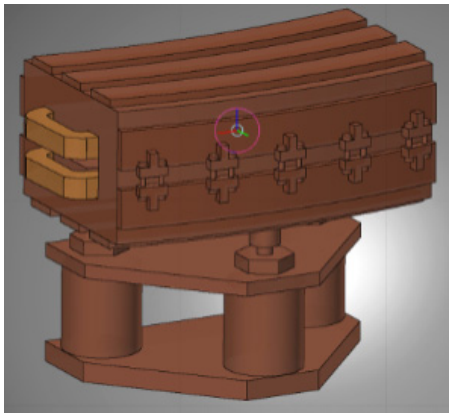


Fig. 2. Real magnet modeling.

Neutron flux의 평가는 Fig. 3과 같이 두 magnet의 주변을 지나가는 것을 총 6개의 면으로 나누어서 USRBDX card를 이용하여 계산하였다.

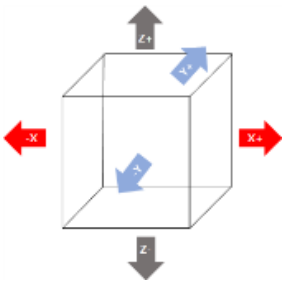


Fig. 3. scoring of Neutron flux.

Depth Dose는 Fig. 4와 같이 Magnet 주변을 둘러싸는 두께 9 m의 콘크리트를 구현하여 USRBIN card와 AUXSCORE card를 이용하여 콘크리트 깊이별(1 m 단위) Depth Dose를 평가하였다.

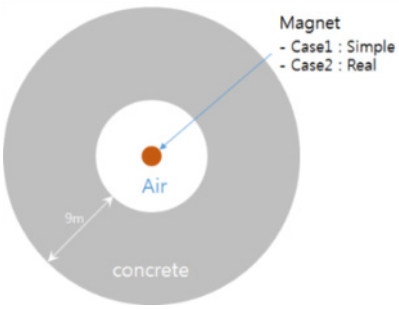


Fig. 4. scoring of Depth Dose.

Total Activity는 Fig. 5와 같이 Magnet주변의 Air, Concrete, Soil을 배치하여 각 물질마다 RESNUCLi card와 DCYTIMES card를 이용하여 방사화 되는 정도를 평가하였다. 냉각시간은 빔 종료직후 부터 1시간까지 10분 단위로 평가하였다.

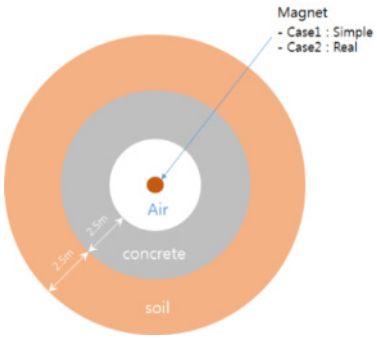


Fig. 5. scoring of Dose rate.

냉각시간에 따른 Dose rate는 빔 조사 종료 후 각각 1분, 30분, 1시간의 시점에서의 주변선량율을 USRBIN card와 AUXSCORE card, DCYTIMES card를 이용하여 평가하였다.

Ⅲ. RESULT

1. Neutron Flux

평가결과 Fig. 6에서 Fig. 11과 같이 6개의 경우 모두 Simple magnet이 Real magnet 대비 과대평가되는 것으로 평가되었다.

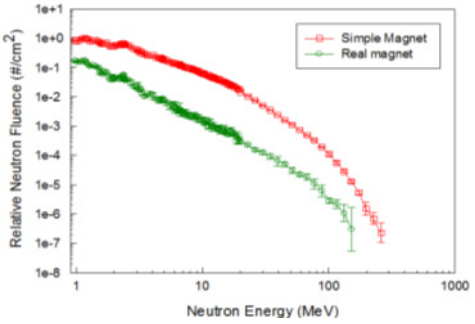


Fig. 6. Neutron Flux (X +).

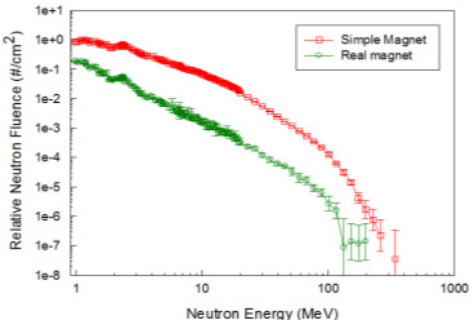


Fig. 7. Neutron Flux (X -).

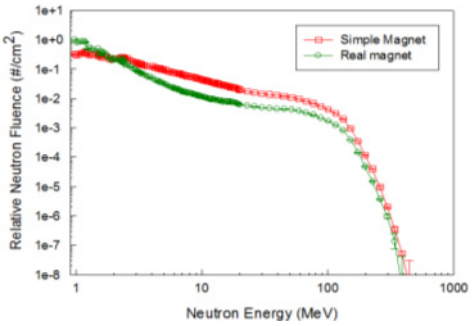


Fig. 8. Neutron Flux (Y +).

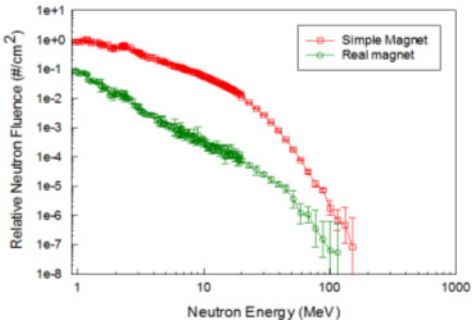


Fig. 9. Neutron Flux (Y -).

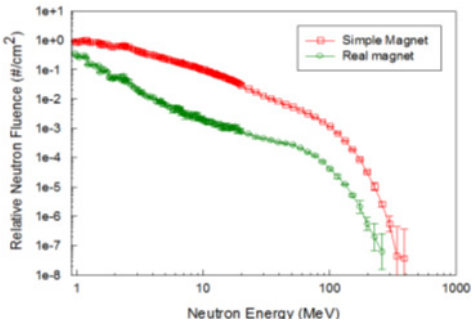


Fig. 10. Neutron Flux (Z +).

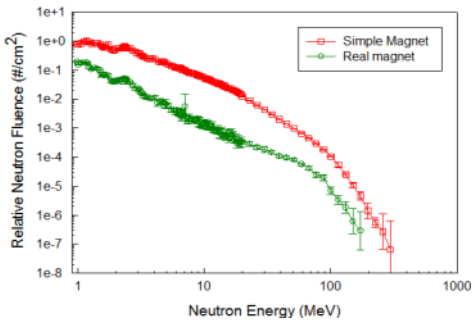


Fig. 11. Neutron Flux (Z -).

2. Depth Dose

평가결과 Fig. 12와 같이 Simple magnet이 Real magnet 대비 과대평가되는 것으로 평가되었다.

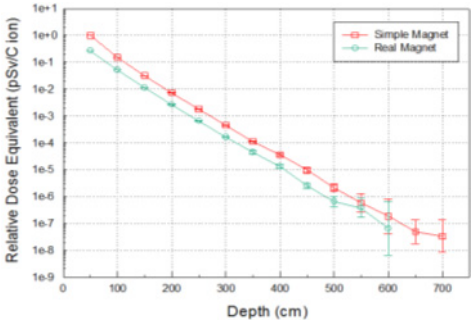


Fig. 12. Depth Dose in Concrete.

3. Total Activity

평가결과 Fig. 13에서 Fig. 15와 같이 Air(magnet 주변공기의 방사화), Concrete(magnet 주변콘크리트의 방사화), Soil(magnet 주변토양의 방사화) 모두 Simple magnet이 Real magnet 대비 과대평가되는 것으로 평가되었다.

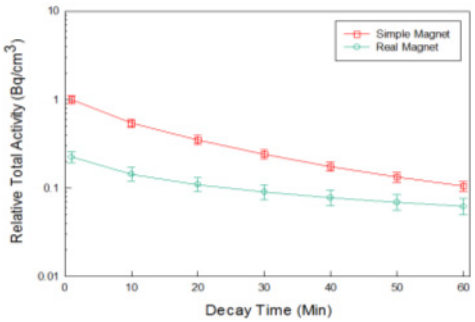


Fig. 13. Total Activity (Air).

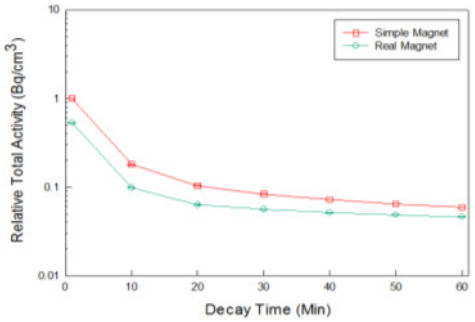


Fig. 14. Total Activity (Concrete).

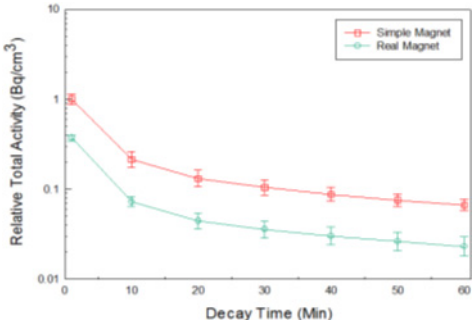
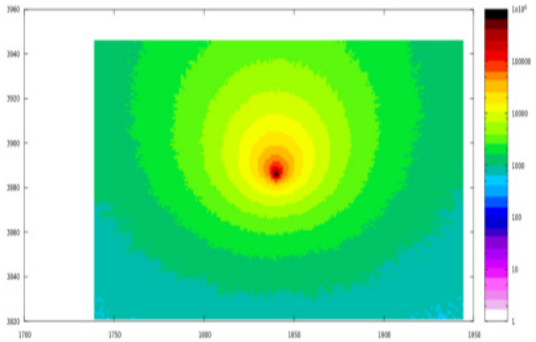


Fig. 15. Total Activity (Soil).

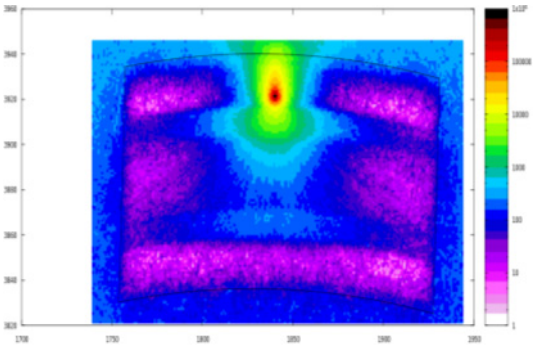
4. 냉각시간에 따른 Dose rate

평가결과 Fig. 16에서 Fig. 18과 같이 1분, 30분, 1시간 모두 Simple magnet이 Real magnet 대비 과대평가되는 것으로 평가되었다.

color bar는 Dose equivalent(pSv)이다.

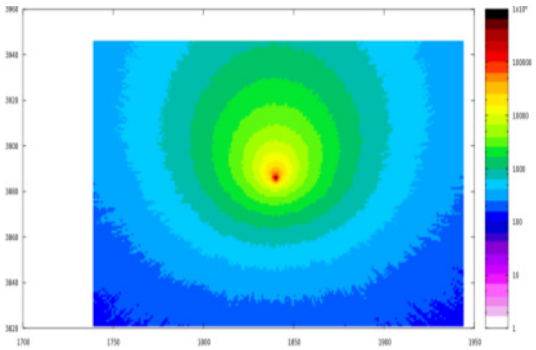


(a) Simple Magnet

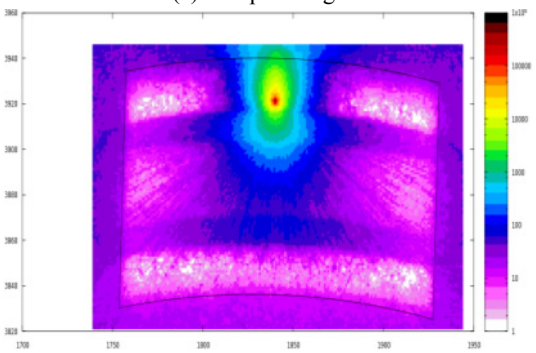


(b) Real Magnet

Fig. 16. 1M after Beam shutdown.

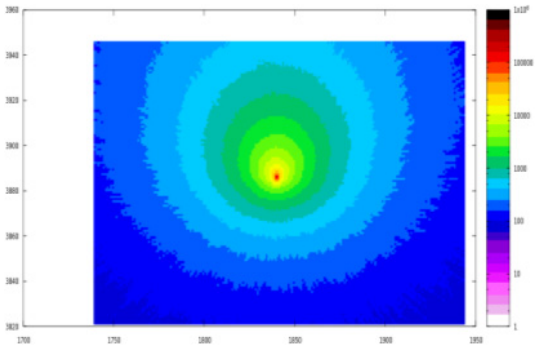


(a) Simple Magnet

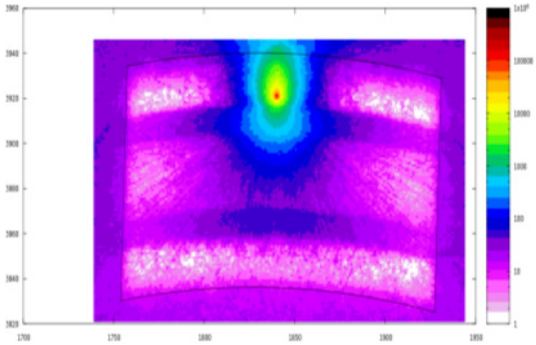


(b) Real Magnet

Fig. 17. 30M after Beam shutdown.



(a) Simple Magnet



(b) Real Magnet

Fig. 18. 60M after Beam shutdown.

Ⅳ. DISCUSSION

높은 치료효과를 얻을 수 있는 중입자치료 장치는 일반 Photon 치료 대비 높은 방사선 위해를 가진다. 이러한 문제로 인해 중입자치료 시설의 차폐 및 방사화 문제는 Photon 치료 대비 더욱 신중해야할 필요가 있다. 차폐 및 방사화 문제는 보통 Monte Carlo simulation을 통해 수행되며, 정확한 기하학적 모델링은 정확한 계산결과를 유도할 수 있으나, INPUT 파일의 작성시간과 계산시간이 증대되는 단점이 있다. 따라서 보통의 차폐 및 방사화 계산의 경우 시설의 기하학적 형태는 정확하고, 치료 장치는 간단하게 하는 경우가 많다.

중입자치료 장치의 경우 가속장치가 거대하기 때문에 빔이 누설되는 위치가 다양하며, 대부분 싱크로트론의 링과, 빔 이송관, 치료 장치에서 이루어진다. 이런 부분의 기하학적 형태를 단순하게 한다면 계산의 정확도에 문제가 있을 것으로 판단되어 본 논문에서는 기하학적 모델링의 차이를 두어 (Simple magnet과 Real magnet) 다양한 결과로 비교

평가하였다.

비교 결과 Neutron Flux, Depth Dose, Total Activity, 냉각시간에 따른 Dose rate 모두 Real magnet 대비 Simple magnet이 과대평가 되는 것을 확인할 수 있었다.

해당 연구결과는 Carbon-12 beam이 충돌되는 Magnet의 두께가 얇을수록 방사선 위해가 더욱 과대평가된다는 것을 확인할 수 있었다. Simple magnet의 충돌부위가 Real magnet보다 얇다. 따라서 본 논문에서 선정한 Simple magnet의 형태나 두께를 변경한다면 평가 결과는 달라질 수 있다.

하지만 Real Magnet의 경우 설계도면을 기반으로 모델링되었기 때문에 어떠한 형태로 간략화 되더라도 Real Magnet 대비 더 신뢰성 있는 평가 결과를 도출하는 것은 어렵다고 판단된다.

Ⅴ. CONCLUSION

중입자 치료시설은 일반 Photon치료시설보다 방사선 위해가 크기 때문에 더욱 신뢰성 있는 방사선 안전성 평가를 수행해야 한다.

방사선 안전성 평가는 주로 Monte Carlo Simulation을 통해 수행되며, 주로 차폐 및 방사화 계산을 통해서 이루어진다.

더욱 신뢰성 있는 차폐 및 방사화 계산을 위해서는 정확한 기하학적 모델링이 필수적이다. 하지만 INPUT 파일의 작성시간과, 계산시간 때문에 기하학적 모델링을 간략화 하는 것은 본 논문의 연구결과에 의하면, 계산결과의 신뢰성 부분에 영향을 끼칠 수 있는 것으로 확인되었다.

정밀한 기하학적 모델링에 의한 계산시간의 증대는 Monte Carlo Code의 병열 프로세싱으로 해결을 할 수 있으며, INPUT 파일의 작성시간 증가는 효율적인 Geometry 구현을 위한 추가적이 연구가 진행되면 해결할 수 있을 것이라 생각된다.

Reference

[1] A. Ferrari, P.R. Sala, A. Fass`o, and J. Ranft, “FLUKA: a multi-particle transport code”, CERN-2005-10 (2005), NFN/TC 05/11, SLAC-R-773.

[2] K. Niita, T. Sato, H. Iwase, H. Nose, H. Nakashima and L. Sihver, “Particle and Heavy Ion Transport Code System; PHITS, Radiat”, Meas. 41(9-10), 1080-1090 (2006).

[3] D. B. Pelowitz, ed., “MCNPX User's Manual, Version 2.7.0”, Los Alamos National Laboratory report LA-CP-11-00438 (April 2011).

[4] http://www.fluka.org/flair/index.html

pISSN : 1976-0620, eISSN : 2384-0633
"J. Korean Soc. Radiol., Vol. 11, No. 6, November 2017"

몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 차폐 및 방사화 계산에서 기하학적 모델링의 차이에 따른 결과 연구

허승욱,[1] 송용근,[2] 조규석,[3] 한무재,[1] 박지군[4,*]

[1]인제대학교 의용공학부
[2]김해산업진흥의생명융합재단 김해의생명센터
[3]한국원자력의학원 방사선기기부
[4]한국국제대학교 방사선과

요 약

방사선의 치료효과 증대를 위해 최근에는 기존의 Photon치료를 대체한 중입자치료가 증가하고 있다. 중입자 치료는 기존 Photon치료 대비 높은 에너지와 거대한 시설로 인해 방사선안전성평가에 더욱 신경을 써야 한다. 이러한 방사선안전성평가는 주로 Monte Carlo simulation을 이용하여 차폐 및 방사화 평가를 수행하는데, 가장 우선적으로 수행해야하는 것은 기하학적 모델링이다. 중입자 치료시설은 가속장치를 싱크로트론을 사용하게 되는데 정확한 기하학적 모델링이 어려워 대부분 간략하게 모델링 한다. 본 연구는 싱크로트론 가속장치의 구성요소 중에서 Dipole magnet을 간략화 한 것과 정밀하게 구현한 것이 방사선안전성평가에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 결과에 의하면 간략하게 구현한 기하학적 모델이 정밀하게 구현된 기하학적 모델보다 과대평과 되는 결과를 얻었다. 따라서 방사선안전성 평가는 정밀한 기하하적 모델링이 더욱 신뢰할 수 있는 결과를 얻는다고 판단된다.

중심단어: 몬테카를로 시뮬레이션, 차폐 시뮬레이션, 방사화 시뮬레이션, 플루카, 지오메트리 모델링, 기하학적 모델링