

즉발감마선을 이용한 양성자 빔 위치 측정에 관한 연구

*한양대학교, †국립암센터

서규석* · 김종원† · 김찬형*

양성자 치료는 양성자 빔의 선량분포 특성인 브래그 피크를 이용한 방사선 치료방법으로 기존의 전자 및 광자빔을 이용하는 방사선 치료와 비교하여 정상세포에는 현저히 적은 선량을 주고, 암세포에는 대부분의 선량을 줄 수 있어 최근에 각광받고 있다. 양성자 치료 빔은 치료 부위에서 완전히 멈추고 인체 내 각기 다른 밀도를 가진 장기들에 의해 양성자 빔의 비정이 불확실하기 때문에 체내 양성자 빔의 분포를 확인하고 빔을 조정하면서 치료할 수 있는 적절한 방법이 없다. 양성자 빔의 물질에 대한 흡수선량 분포와 물질과 양성자의 핵반응으로 방출되는 즉발 감마선의 상관관계를 이용한 측정시스템을 몬테칼로 전산코드로 전산모사하고 계산한 결과 체내 양성자 빔의 위치를 실시간으로 측정할 수 있음을 확인하였다.

중심단어: 양성자 치료, 즉발 감마선, 암 치료

1. 서론

브래그 피크의 특성을 이용하는 양성자 치료는 다른 방사선 치료와 비교하여 암 세포 외 정상세포에는 현저히 적은 양의 선량을 주면서 암세포에는 대부분의 선량을 주는 장점이 있다. 정확한 암 치료와 환자의 안전을 위해서는 실시간으로 양성자의 위치를 확인하는 것이 중요하나 인체 바깥으로 투과되는 양성자 빔이 없고 빔 에너지를 정확히 알더라도 인체 내의 다양한 장기들의 각기 다른 밀도에 의해 양성자 빔의 비정의 불확실성 때문에 양성자 빔을 직접 이용하여 실시간으로 체내 양성자 빔의 위치를 측정할 적절한 방법이 없다. 본 연구는 MCNPX¹⁾ 코드와 FLUKA²⁾ 코드를 사용하여 매질 내 양성자의 흡수선량 분포와 매질과 양성자의 핵반응으로 발생하는 즉발 감마선 분포간의 상관 관계를 알아내고, 그 상관 관계를 이용하여 양성자 빔의 위치를 실시간으로 정확하게 측정할 수 있는 측정시스템을 연구하였다.

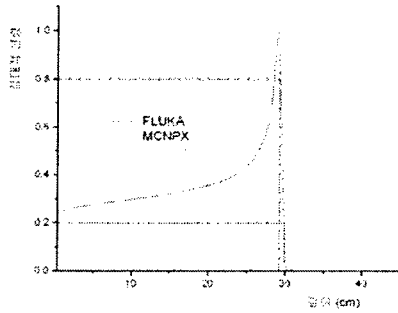
2. 연구 방법

본 연구에서 사용된 표적물질은 20 X 20 X 40cm(가로 X 세로 X 높이)인 육면체의 물팬텀이고 조사하는 양성자의 에너지는 214MeV로 하였다. 양성자 빔의 흡수선량분포는 MCNPX 코드는 F6 Tally¹⁾로, FLUKA 코드는 USBIN estimator²⁾로 계산하였으며 양성자의 흡수선량과 비교하기 위한 즉발감마선의 분포는 MCNPX 코드의 옵션인 PTRAC¹⁾ 카드와 MODE¹⁾ 카드를 사용하여 계산하였다. 즉발 감마선을 측정하기 위한 검출시스템을 전산모사는 계산시간의 단축을 위해 MCNPX 코드의 SSW(Surface source write)¹⁾ 옵션을 사용하였으며 검출기로 들어오는 광자와 중성자의 플루언스는 MCNPX 코드는 F4 Tally¹⁾로 계산하였다. 연구에 사용된 반응단면적 자료는 MCNPX의 경우는 ENDF/B-VI를 기반으로 만들어진 LA-150³⁾ 자료를, 양성자의 에너지가 150MeV 이상일 때는 MCNPX에서 지원하는 CEM 모델을 사용하여 계산하였다. FLUKA 코드의 경우는 10~200MeV사이에서는 실험으로 얻어진 Experimental total cross section 자료를, 그 이상일 때는 PEANUT⁴⁾ 모델을 사용하여 계산하였다

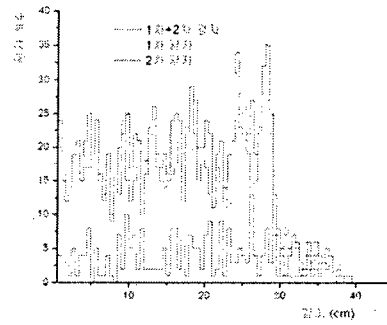
3. 결과 및 토의

MCNPX¹⁾ 코드로 표적물질인 물팬텀에 양성자 빔을 조사하여 그림 1(a)와 같은 양성자 빔의 물 내에서의 흡수선량분포 그래프를 얻을 수 있었고 FLUKA²⁾ 코드로 벤치마크하였다. PTRAC 파일에 저장된 입자의 정보를 이용하여 한 면으로 나

오는 광자의 분포를 그려본 결과 양성자의 흡수선량분포와 어떠한 상관관계도 찾을 수 없어 포트란(Fortran) 프로그램을 사용하여 90±2도 방향으로만 나오는 광자들만을 수렴하여 그 분포를 그려본 결과 그림 1(b)와 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 양성자 빔의 물 내에서의 흡수선량분포와 90±2도 방향으로 나오는 광자의 분포를 비교해 보면 같은 지점인 28.5cm에서 분포그래프가 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이 결과를 통해 두 분포 사이에 상관관계가 있음을 알 수 있었다.



(a) 양성자 빔의 물 내에서의 흡수선량분포



(b) 90±2도로 나오는 광자의 분포

그림 1. 흡수선량과 즉발감마선의 분포 비교

이러한 결과에 착안하여 직각으로 들어오는 즉발 감마선을 측정하여 외부에서도 양성자 빔의 위치를 확인 할 수 있는 측정시스템을 개발하기 위한 사전연구를 수행하였다. 측정시스템은 90도로 들어오는 광자를 효과적으로 검출하여야 하며 양성자와 매질과의 핵반응으로 나오는 중성자와 이로부터 발생하는 이차 광자들을 효과적으로 차폐할 수 있어야 한다. 이를 위하여 0.5cm의 얇은 통로를 만들고 통로를 투과하지 않고 선원향에서 나오는 광자는 거의 대부분 차폐되도록 하였으며 양성자 핵반응으로부터 발생하는 중성자는 파라핀, 납, B₄C로 이루어진 차폐물을 구성하여 차폐되도록 하였다.

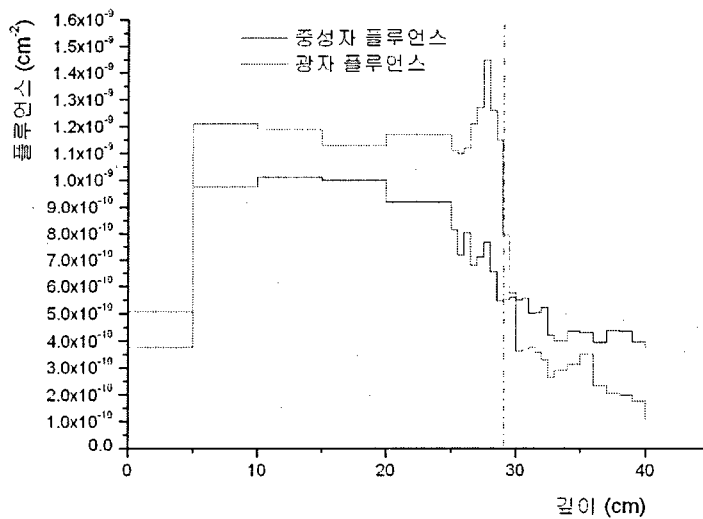


그림 2. 검출기로 들어오는 광자와 중성자의 입자 플루언스 비교

MCNPX 코드로 전산모사된 검출시스템을 통하여 물팬텀에서 나오는 광자를 깊이에 따라 측정하여 그림 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 측정된 광자의 분포그래프와 이전 결과들을 비교해 보면 동일 지점인 28.5cm 부근에서 플루언스가 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 즉발감마선을 측정함으로써 양성자 빔의 위치를 측정하는 것이 가능함을 확인할 수 있었다. 하지만 양성자와 물 팬텀의 산소 핵과의 핵반응으로 인하여 다량의 중성자가 검출기에 들어가고 측정된 광자는 즉발 감마선과 2차 광자도 포함되어 있기 때문에 정확한 결과를 얻기 위해서는 중성자와 2차 광자를 효과적으로 배제하고 즉발 감마선만을 측정할 필요가 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

MCNPX 코드로 전산모사한 검출시스템을 이용하여 즉발감마선을 측정한 결과 체외에서 양성자 빔의 위치를 알 수 있음을 확인하였다. 보다 정확한 측정을 위해서는 검출기로 들어오는 중성자와 2차 광자의 배제가 필요하므로 이 두 입자를 배제할 수 있는 검출시스템을 계속 연구할 계획이다.

본 연구는 한양대학교 방사선안전신기술연구센터(iTRS) 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고 문헌

1. John s. Hendricks, MCNPX User's Manual, Version 2.5.e Report LA-UR-04-0569 Los Alamos National Laboratory, (2004)
2. A. Fass, et al., FLUKA 2002 Manual, (2003)
3. M.B.Chadwick, P.G.Young, R.E.MacFarlane, P.Moller, G.M.Hale, R.C.Little, A.J.Koning, and S.Chiba, "LA150 Documentation of Cross Sections, Heating, and Damage," Los Alamos National Laboratory report LA-UR-99-1222 (1999),
4. A. Fasso, A. Ferrari, J. Ranft. FLUKA: Performance and applications in the intermediate energy range Proc. Of an AEN/NEA Specialists' meeting on Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities, Arlington (Texas) 28-29 April 1994. OECD Documents, Paris 1995, p. 287-304

Determination of Proton Beam Position Based on Prompt Gamma Ray Detection

Kyu Seok Seo*, Jong Won Kim[†], Chan-Hyeong Kim*

**Department of Nuclear Engineering Hanyang University, [†]National Cancer Center*

The proton therapy of radiation therapy methods using Bragg peak which is proton beam's characteristic dose distribution can give a normal tissue lower dose than cancer, comparing with the former existing radiation therapy methods. For exact treatment and patient's safety, we need to know proton beam's position in body, but a proton beam completely stops at treatment region and proton beam's range is uncertainly made by the variety of organs having each different density, so we aren't able to find a proton beam's position by suitable methods yet. With Monte Carlo Computing Method, as a result that we had simulated prompt gamma detection system using correlation of proton beam's absorbed dose distribution about water and prompt gamma distribution by nuclear interaction occurred by collisions of proton and water's hydrogen atoms, we could confirm that a proton beam's position was able to detect by using simulated prompt gamma detection system in body on the real-time

Key word: Proton Therapy, Prompt gamma, Cancer treatment