

족발감마선을 이용한 70MeV 양성자선량 급락지점 위치 측정에 관한 연구

*한양대학교 원자력공학과, †국립암센터 양성자치료센터

서규석* · 김종원† · 김주영† · 민철희* · 조성구* · 김찬형*

양성자 빔을 이용한 치료는 종양부위에 높은 선량을 균일하게 전달하고 정상세포에는 적은 선량을 전달할 수 있어 암 치료 효과가 높으나 정확한 치료와 환자의 안전을 위해서는 양성자선량의 급락지점을 정확히 아는 것이 중요하다. 본 연구에서는 양성자와 물질과의 핵반응으로 직각방향으로 방출되는 족발감마선을 측정하여 양성자선량 급락지점을 측정할 수 있는 검출시스템을 몬테칼로 전산코드로 전산모사하였으며, 70MeV 단일에너지 빔과 최대에너지가 70MeV인 SOBP 빔을 모의피폭체인 물팬텀에 조사하고 검출시스템을 통해 직각방향으로 방출되는 족발감마선의 분포를 계산하였다. 모의피폭체 안에서의 양성자선량의 분포와 측정된 족발감마선의 분포를 서로 비교하여 두 분포 사이의 상관관계를 찾고 이 상관관계를 이용하여 양성자선량 급락지점을 결정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

중심단어: 양성자 빔 치료, 족발감마선, 몬테칼로 전산모사

서 론

양성자 빔을 이용한 치료는 양성자의 선량분포 특성인 브래그피크를 이용하는 방사선 치료의 한가지 방법으로 종양부위에 집중적으로 선량을 전달하고 주변 정상조직에는 선량을 적게 전달할 수 있어 최근 각광을 받고 있다. 주어진 종양 부위에 정확한 선량을 전달하기 위해서는 양성자선량 급락지점을 정확하게 아는 것이 매우 중요하다. 양성자선량 급락지점은 비정을 이용하여 계산하는 방법이 있지만, 양성자 빔이 통과하는 부분의 해부구조물이 매우 복잡할 경우 오차가 매우 클 수 있다. 양성자와 물질과 반응할 때 직각방향으로 발생되는 족발감마선을 측정함으로써 양성자 빔의 위치를 실시간으로 측정할 수 있다는 가능성이 제시되었다.¹⁾ 본 연구에서는, 안구 흑색종 치료에 주로 쓰이는 70MeV 양성자 빔에 대하여 몬테칼로 전산모사를 통해 측정시스템을 실제 설계하고 동 측정시스템에 대하여 양성자선량 급락지점의 위치와 족발감마선 분포와의 상관관계를 연구하였다.

연구 방법

인체를 모사하기 위한 모의 피폭체는 20 cm×20 cm×40 cm인 직육면체의 물팬텀을 사용하였으며 양성자 빔은 70MeV 단일에너지 빔과 최대 에너지가 70MeV인 SOBP 빔 두 가지 빔을 사용하여 모의피폭체에 수직방향(+Z)으로 조사되도록 하였다. SOBP 빔은 MCNPX 코드의 SI카드와 SP카드²⁾ 양성자 빔이 62~70 MeV 사이의 에너지 구간에서 서로 다른 확률을 가지고 방출되도록 하여 만들었다. 양성자 빔의 흡수선량분포는 MCNPX 코드의 FS카드를²⁾ 이용하여 모의피폭체의 높이방향(+Z)으로 0~6 cm 사이를 0.1 cm씩 나누어 양성자 빔이 각 셀을 통과할 때 흡수되는 에너지를 F6 Tally로²⁾ 계산하였다. 계산시간의 단축을 위해 MCNPX 코드의 SSW카드와 SSR카드를²⁾ 사용하여 양성자 빔에 의해 발생된 중성자와 광자의 정보를 모의피폭체인 물팬텀의 각면에 저장하여 선원항으로 만들고 다음 계산인 검출시스템을 이용한 족발감마선 측정의 선원으로 사용하였다.

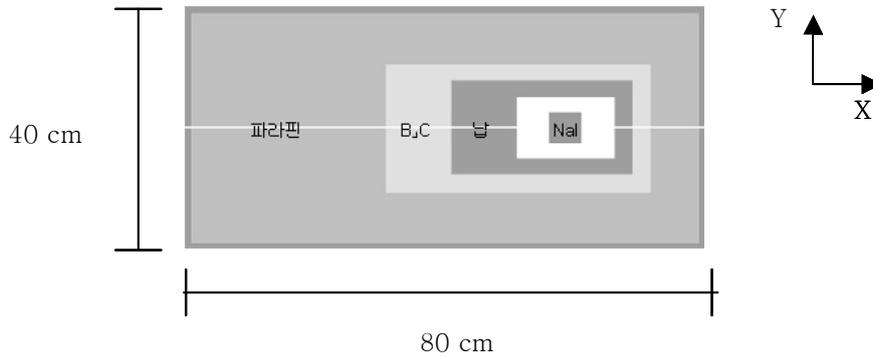


Fig. 1. The cross sectional view of detection system.

검출시스템은 Fig. 1과 같이 $90 \pm 1^\circ$ 사이 각으로 들어오는 즉발감마선만을 측정하기 위해 0.5 cm 통로를 제외한 나머지 부분은 파라핀, B4C, 납으로 차폐물로 구성함으로써 통로 외로 들어오는 광자와 중성자를 최소화되도록 하였다. 양성자 치료실의 벽으로부터 발생하는 중성자와 광자를 고려하기 위해 측정시스템을 100 cm 콘크리트로 둘러싸인 가로, 세로, 높이가 각각 400 cm인 공간 속에 설치하고 MCNPX 코드의 Universe 카드를²⁾ 이용하여 모의피폭체의 수직방향(+Z)으로 검출시스템을 0.5 cm 또는 0.1 cm씩 이동하여 광자를 측정하도록 하였다. 연구에 사용된 반응단면적 자료는 ENDF/B-VI를 기반으로 만들어진 LA-150 자료를²⁾ 사용하였다.

결과 및 토의

MCNPX 코드로 70MeV 단일에너지 양성자 빔과 최대에너지가 70MeV인 SOBP 빔을 모의피폭체인 물팬텀에 조사하여 흡수선량분포를 계산한 결과 Fig. 2과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 선량분포를 보면 흡수선량이 50%로 줄어드는 급락지점(Distal fall-off)인 50% 급락지점(50%DF)이 약 4.2 cm 근처에서 나타나는 것을 알 수 있었다. Fig. 3은 70MeV 단일에너지 양성자 빔일 때 모의피폭체 안에서 90도 방향으로 방출되는 즉발감마선을 검출시스템으로 측정된 분포이다. 분포에서도 볼 수 있듯이 흡수선량 분포와 즉발감마선 분포가 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 50%DF와 즉발감마선 분포와의 상관관계가 알기 위해 즉발감마선 분포가 증가하는 구간, 즉발감마선 분포가 감소하는 구간, 마지막으로 즉발감마선 분포가 일정해지는 구간으로 나누어 각 구간의 플루언스 변화를 추세선으로 나타내었다. 이 추세선들로부터 교차점 A와 B를 결정할 수 있으며, 50%DF 지점이 A와 B 사이에 어느 지점에 위치하는지도 결정할 수 있었다.

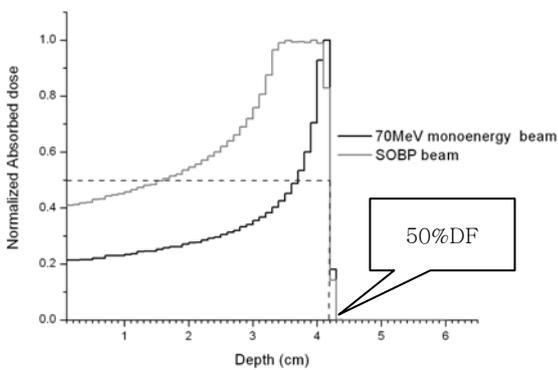


Fig. 2. Distribution of normalized absorbed dose.

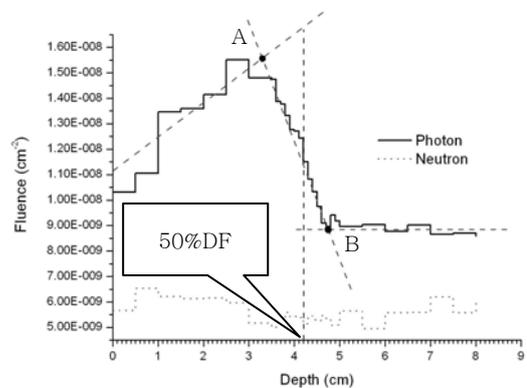


Fig. 3. Distribution of right-angled prompt gamma ray for 70MeV mono energy proton beam.

SOBP빔 일 때도 단일에너지일 때와 마찬가지로 흡수선량분포와 상관관계가 있음을 알 수 있었다(Fig. 4). 단일에너지일 때와 동일한 방법으로 세 구간으로 나누어 추세를 그려본 결과 A, B 지점과 50%DF 지점과의 상관관계를 결정할 수 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 계산을 모든 양성자 에너지에 대하여 정량적으로 정밀하게 수행하면 모든 양성자 에너지에 대하여 교차점 A, B 지점과 50%DF 지점과의 상관관계를 결정할 수 있고, 이를 이용하면 양성자 빔을 이용하여 환자를 치료할 때 직각으로 발생하는 즉발감마선의 분포로부터 정밀하게 양성자선량의 급락지점을 결정할 수 있을 것이라 판단된다.

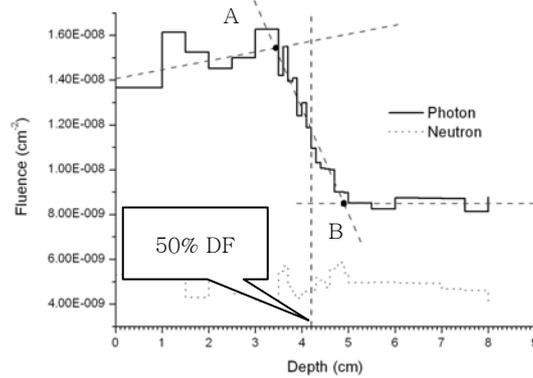


Fig. 4. Distribution of right-angled prompt gamma ray for 70MeV SOBP proton beam.

결 론

70MeV 양성자를 단일에너지일 때와 SOBP빔일 때 두 가지 경우로 나누어 모의피폭체에 조사한 후 흡수선량의 분포와 검출시스템으로 측정되는 즉발감마선의 분포를 비교한 결과 두 분포 사이에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 이 상관관계를 이용하면 검출시스템을 이용하여 양성자선량 급락지점을 측정할 수 있을 것이라 판단된다. 향후 계획으로 이번 결과를 다른 에너지에서도 일반적으로 적용할 수 있는지 대해 추가적인 연구를 수행할 계획이다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. 서규석, 김종원, 김찬형: 즉발감마선을 이용한 양성자 빔 위치 측정에 관한 연구. 한국 의학물리학회 추계학술대회 논문집 69-71 (2004)
2. John s. Hendricks: MCNPX User's Manual, Version 2.5.e Report LA-UR-04-0569 Los Alamos National Laboratory (2004)
3. Chadwick MB, Young PG, MacFarlane RE, Moller P, Hale GM, Little RC, Koning AJ, Chiba S: LA150 Documentation of Cross Sections, Heating, and Damage. Los Alamos National Laboratory report LA-UR-99-1222 (1999)