

## 치료용 양성자 빔의 선량 급락지점 확인을 위한 배열형 즉발 감마선 분포 측정장치 개발

민철희 · 이한림 · 김찬형\*  
한양대학교

E-mail: chkim@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : 양성자 치료, 선량 급락지점, 즉발 감마선, 배열형 측정장치

### 서 론

방사선 치료에 있어서 최우선적으로 고려되어야 할 사항은 암조직에 계획된 선량을 전달하면서 주변 조직과 장기에 불필요한 선량을 최소화 하여, 방사선의 부작용으로부터 환자의 안전을 확보하는 것이다. 현재 임상에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 광자선이 암조직 뿐만 아니라 인체 내의 통과 경로에 있는 모든 조직에 불가피한 선량을 전달하는 반면, 양성자 빔은 브래그피크라는 독특한 선량분포 특성을 이용하여 인체 내의 특정위치에만 집중적으로 선량을 전달할 수 있다. 하지만, 인체 내에서 양성자 빔의 선량 급락지점이 정확하게 결정되지 못할 경우, 방사선에 민감한 조직이나 장기에 선량을 집중적으로 전달하여 환자에게서 치명적인 후유증과 부작용이 발생할 수 있다. 이러한 양성자 빔의 특성을 고려할 때, 환자 체내에서의 선량 급락지점의 위치를 정확히 예측하고 치료 중 실시간으로 확인하는 것은 효과적인 치료와 환자의 안전을 위해 무엇보다 중요하다.

2003년 Stichelbaut[1]는 양성자 빔과 매질 내 원자핵과의 핵반응으로 발생하는 즉발 감마선의 분포를 측정하여 양성자 선량분포를 예측하는 것이 가능함을 발표한 바 있으며, 2005년에 본 연구팀은 양성자 빔 방향에 수직한 방향으로 방출되는 즉발 감마선만을 측정할 수 있는 원리검증용 측정 장치, 즉 Prompt Gamma Scanning (PGS) 시스템을 설계, 제작하였다 [2]. 하지만, 원리검증만의 목적으로 제작된 측정 시스템은 크기가 너무 크고 (100 cm x 80 cm x 71 cm,

500 kg) 데이터 획득 속도가 매우 느려 임상에 바로 사용될 수 없다는 문제가 있다.

본 연구에서는 스캔하는 방법을 사용하지 않고, 실시간으로 즉발감마선의 분포를 측정할 수 있는 소형의 배열형 측정장치를 개발 하였다. 또한, 국립암센터의 치료용 양성자 가속기 시설을 이용하여 80 -220 MeV의 양성자 빔을 물팬텀에 전달한 후, 물팬텀 내에서의 양성자 선량분포와 배열형 측정장치에 의해 측정된 즉발 감마선 분포의 상관관계를 확인하였다.

### 재료 및 방법

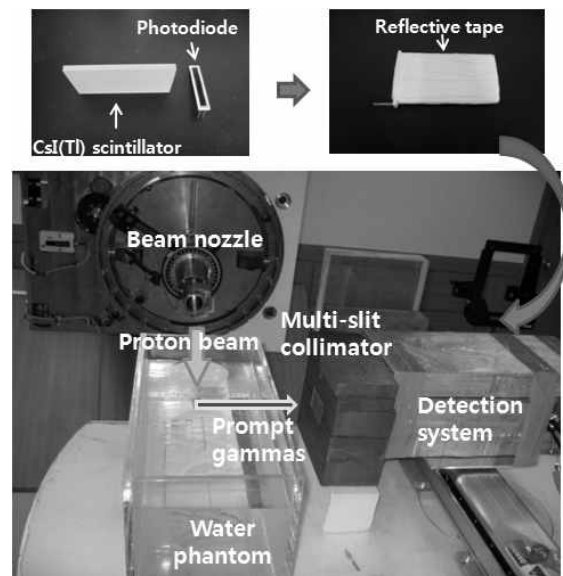


그림 1. 양성자 치료 시설에 설치된 배열형 즉발 감마선 분포 측정장치 및 물팬텀.

본 연구에서는 즉발 감마선의 분포를 측정하기 위해서 CsI(Tl) 섬광체와 광다이오드(S3588, Hamamatsu Co.)를 결합한 검출기와 Multi-slit형 집속장치로 구성된 측정시스템을 개발하였다. 검출기에서 발생한 신호는 전치증폭기(CR-110, Cremat, Inc.), 주증폭기(CR-200, Cremat, Inc.), 고분해능 Digitizer (PXI-5105, National Instrument Co.) 등을 통하여 처리되도록 DAQ 시스템을 구성하였다.

국립암센터의 치료용 양성자 가속기 시설을 사용하여 80-220 MeV 양성자 빔을 물팬텀에 전달한 후  $0.2 \times 3 \times 15 \text{ cm}^3$  (가로  $\times$  세로  $\times$  깊이)의 집속통로 및 납 차폐물질로 구성된 집속장치와  $0.3 \times 3 \times 5 \text{ cm}^3$  크기의 CsI(Tl) 섬광체로 구성된 측정 시스템을 이용하여 90도 방향으로 방출되는 즉발감마선만을 선별적으로 측정하였다. 또한 이온챔버(모델: Markus, PTW Freiburg)를 이용해 물팬텀 내에서의 양성자 선량분포를 측정하여 즉발감마선 분포와의 상관관계를 확인하였다.

## 결과 및 고찰

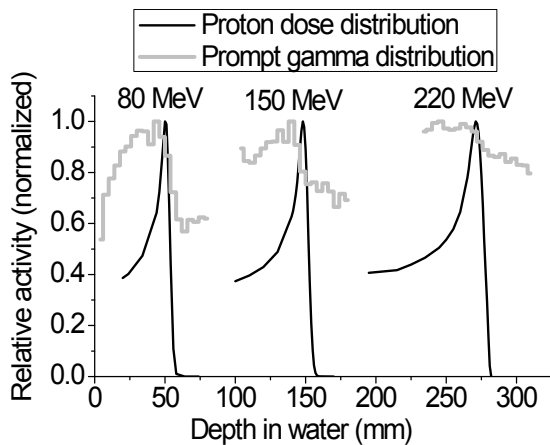


그림 2. 배열형 측정장치에 의해 측정된 즉발 감마선 분포 및 물팬텀 내의 양성자 선량분포.

그림 2는 80-220 MeV 양성자 빔이 물팬텀에 전달되었을 때, 물팬텀 내에서의 양성자 선량분포와 물팬텀 외부에서 콜리메이터와 섬광검출기를 통해 측정된 즉발 감마선의 분포를 나타내고 있다. 이온챔버를 사용한 물팬텀 내의 양성자 선량 분포는 양성자 빔의 에너

지에 따라 물깊이 약 50 mm, 150 mm, 그리고 275 mm 부근에서 급락하였으며, 2 mm 너비의 집속통로를 통해 측정된 즉발감마선 또한 선량 급락지점 부근에서 감소함을 확인할 수 있다. 80 MeV와 150 MeV의 양성자 빔을 사용한 경우, 즉발 감마선의 분포가 선량급락 지점에서 급격히 감소한 반면, 220 MeV의 양성자빔의 경우 완만한 감소를 보이고 있다. 이는 선량 급락지점 이후에 측정되는 배경 감마선의 대부분이 양성자 빔에 의해 발생한 중성자의 포획감마선이며, 양성자 빔의 에너지가 높을수록 더 많은 중성자가 발생되어 배경 감마선의 준위가 높아졌기 때문이다.

## 결론

본 연구에서는 80-220 MeV의 치료용 양성자 빔에 의해서 방출되는 즉발감마선 분포가 양성자 선량 분포와 밀접한 상관관계를 가지고 있음을 배열형 측정장치를 사용하여 확인하였다. 220 MeV와 같이 높은 양성자 빔을 사용한 치료에서 보다 정밀하게 선량 급락지점을 결정하기 위해서는 Time gating을 통한 즉발 감마선 선별측정 기술 및 동시계수 기법을 이용한 배경 감마선의 저감화 기술 등이 추가적으로 사용되어야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 원자력연구개발사업(PEFP, KINS) 및 지식경제부(2008-P-EP-HM-E-06-0000)/선광원자력(주)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

1. F. Stichelbaut, Y. Jongen, Verification of the Proton Beam Position in the Patient by the Detection of Prompt  $\gamma$ -Rays Emission, PTCOG-39, San Francisco, 29 October (2003).
2. Chul-Hee Min, Chan Hyeong Kim, Min-Young Youn, Jong-Won Kim, "Prompt gamma measurements for locating the dose fall-off region in the proton therap," Applied Physics Letters, 89:183517 (2006).