Pencil beam scanning 양성자 치료를 위한 섬광판 기반 투과 검출기 시스템 효용성 연구

서재현[1,2], 정성훈[3], 문선영[1], 정광주[2], 안성환[2,*], 윤명근[1,*]

고려대학교 바이오융합공학과[1], 삼성서울병원 방사선종양학과[2], 국립암센터 양성자치료센터[3]

목 적

Pencil beam scanning 양성자 치료는 종양의 위치, 모양 및 크기에 따라 맞춤형 양성자 패턴을 생성하여 정상 조직에 낮은 선량으로 종양을 정밀하게 치료할 수 있지만 사소한 불확실성에도 선량 분포가 민감하게 변할 수 있다. 따라서 환자의 선량 전달을 확인하기 위해 환자 품질보증(quality assurance)이 이뤄지며 이를 통해 심각한 오류를 감지 할 수 있다. 하지만 대부분 치료 전 한 번만 이루어지기 때문에 모든 분할 치료 동안 계획된 치료 기기의 기계적 조건 등에 의해 발생하는 오류를 확인할 수 없는 한계가 있다. 따라서 본 연구팀은 양성자 치료 중 치료 시스템과는 독립적으로 입사 선량을 확인하기 위한 섬광판 기반 투과 검출기(transmission detector) 시스템을 개발하고 효용성 연구를 진행하였다.

대상 및 방법

섬광판 기반 투과 검출기 시스템은 양성자 빔의 이미지를 얻기 위한 2mm 섬광판(EJ-212, Eljen Technology, Sweetwater, TX, USA), 섬광판의 빛을 반사하는 거울, 빛을 기록하는 CMOS 카메라(DSC-RX0M2, Sony, Minato, Tokyo, Japan) 로 구성되었으며 검은색 커버를 통해서 주변의 빛을 차단하도록 제작하였다. (그림 1) 카메라의 해상도는 1920 x 1080 화소, 셔터 속도는 1/60 초, 프레임 속도는 60 fps로 설정하였으며, 카메라의 감도, 화이트 밸런스를 최적화하기 위해 양성자빔 spot을 측정하여 측방선량분포를 EBT3 필름, pinpoint chamber와 비교하였다. 그리고 시스템의 선량 선형성, 에너지 의존성, 선량률 의존성에 대한 선량 측정(dosimetric) 특성을 측정하였다. 이때 카메라에 의해 측정된 각각의 프레임은 배경을 제거하고 hot pixel을 제거하기 위해 메디안 필터 처리 후 합산된다. (그림 2)

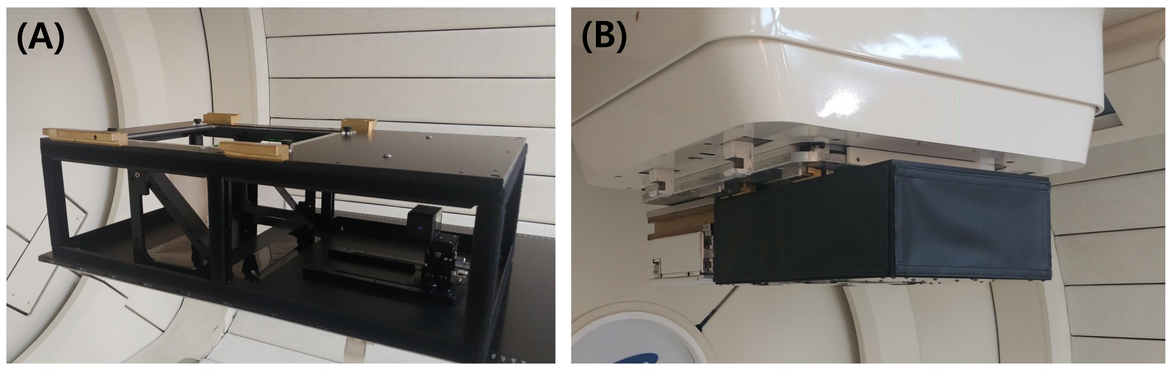

그림 1. (A) 섬광판, 거울, CMOS 카메라로 이루어진 섬광판 기반 투과 검출기 시스템 내부, (B) 섬광판 기반 투과 검출기 시스템이 양성자 치료기의 노즐에 장착된 모습

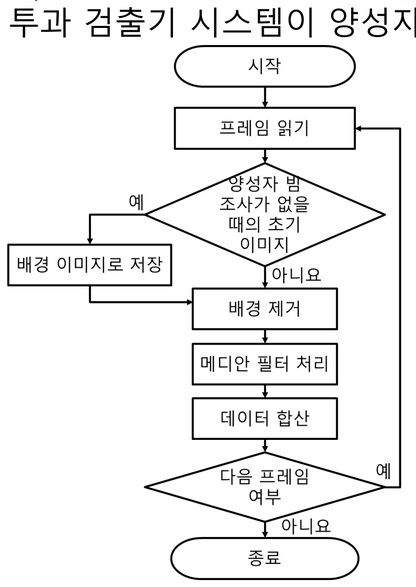

그림 2. 이미지 처리 방법

결 과

190 MeV 양성자빔 spot의 lateral full width at half maximum(FWHM)은 카메라의 화이트 밸런스가 2500, 5500, 8500 K일 때 각각 1.10, 0.97, 0.91 cm로 측정되었으며, 카메라의 감도가 640, 1000, 1600 일 때 각각 0.88, 0.97, 1.06 cm로 측정되었다. 이때 pinpoint chamber와 필름은 FWHM이 각각 0.94, 1.17cm로 측정되었다. (그림 3, 4)

그리고 190 MeV 양성자빔 spot을 3.45 MU/s로 중앙에 50, 100, 200, 300, 400 cGy 조사하였을 때 카메라 신호가 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다. (그림 5.A) 70, 110, 150, 190, 230 MeV 양성자빔 spot을 중앙에 50 cGy씩 조사하였을 때 선량변화 계수는 190 MeV에서 최대 3.0% 차이를 보였다. (그림 5.B) 190MeV 양성자빔 spot을 선량률을 3, 5, 10, 15, 20 MU/s로 같은 시간 조사하였을 때 신호가 선형적으로 증가하였으며, 신호가 선량과 선형적이므로 선량률과는 독립적이다. (그림 5.C)

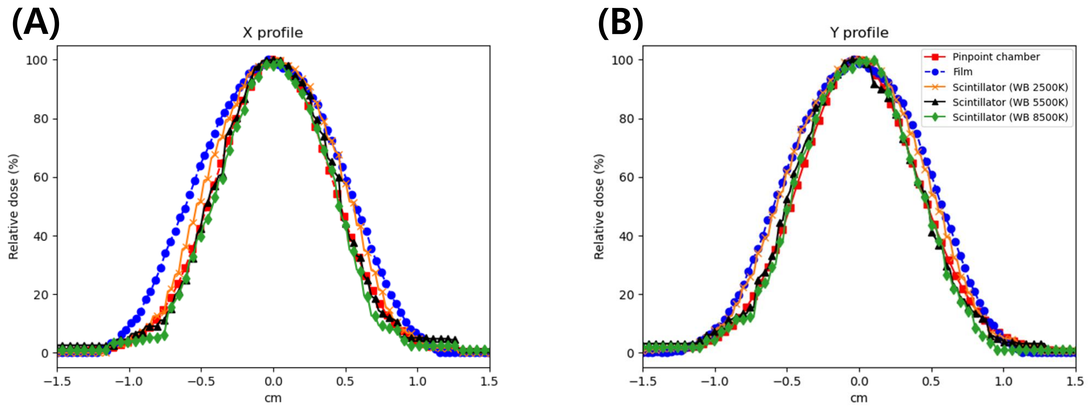

그림 3. 카메라의 화이트 밸런스에 따른 (A) X축 측방선량분포, (B) Y축 측방선량분포

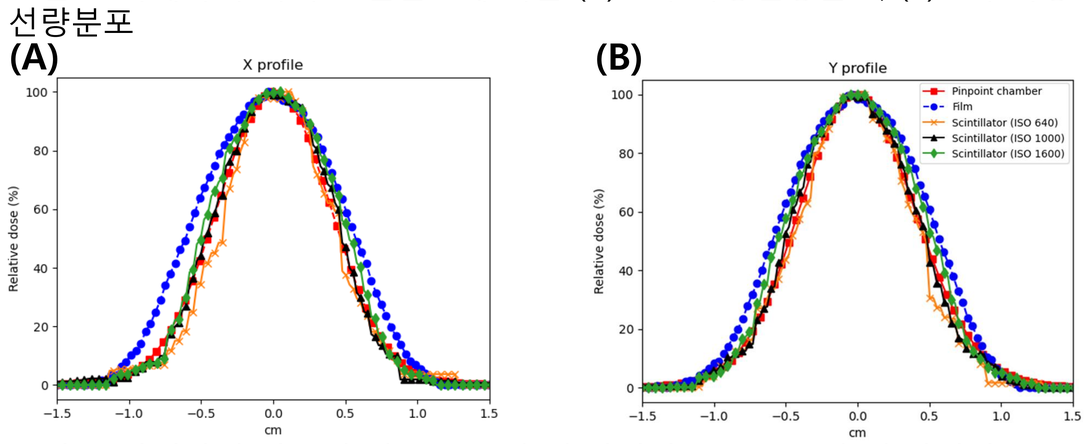

그림 4. 카메라의 감도에 따른 (A) X축 측방선량분포, (B) Y축 측방선량분포

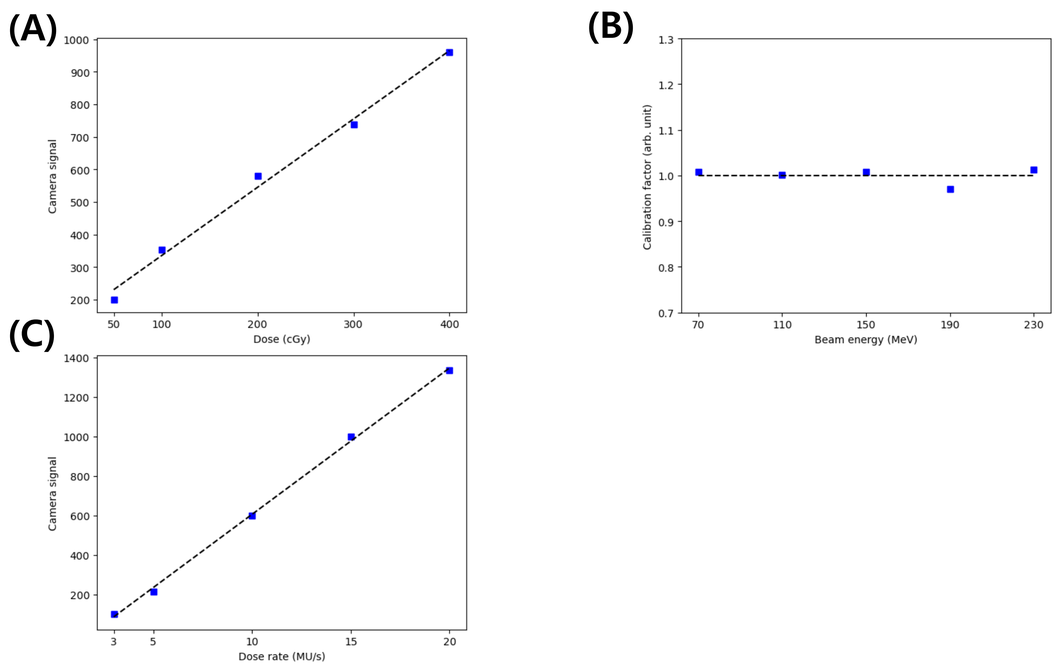

그림 5. 섬광판 기반 투과 검출기 시스템의 (A) 선량 선형성, (B) 에너지 의존성, (C) 선량률 의존성

결 론

CMOS 카메라를 방사선 선량 측정으로 사용하도록 카메라의 화이트 밸런스는 5500K, 감도는 1000으로 최적화되었으며, 양성자 빔의 에너지 및 선량률과 독립적이고 선량에 선형적임을 확인하였다. 이 시스템을 통해 치료 시스템과는 독립적으로 양성자 치료 중 입사 선량을 섬광판을 통해 고해상도 2차원 분포를 확인할 수 있다. 에너지 레이어 별로 확인이 가능하기 때문에 특정 에너지나 위치에서의 오류를 확인할 수 있다. 향후 실제 환자 치료 계획에 대한 연구가 이루어질 예정이다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019R1F1A1063910).

BMP Laboratory