

1.3 μm 대역의 고해상도, 고속 스펙트럼 영역 광결맞음 단층 촬영장치를 위한 분광기의 최적화

Optimization of Spectrometer for High-resolution, High-speed Spectral Domain Optical Coherence Tomography at 1.3 μm

이상원*, 정현우*, 안예찬**, 정웅규**, Zhongping Chen**, 김법민*
 *연세대학교 의공학부, **University of California, Irvine
 swlee76@yonsei.ac.kr

스펙트럼 영역 광결맞음 단층촬영장치 (spectral domain optical coherence tomography, SD-OCT)는 푸리에 영역 OCT (Fourier domain OCT, FD-OCT)의 한 종류로, 물리적(기계적)인 움직임에 의한 깊이 정보를 획득하는 시간 영역의 OCT (time domain OCT, TD-OCT)와 달리 물리적인 움직임 없이 빛을 각각의 파장대별로 분리시켜 검출한 다음 푸리에 변환을 통하여 깊이 정보를 획득하게 된다 따라서, SD-OCT는 TD-OCT와 비교하였을 때 측정 시간이 짧고, 신호 대 잡음비(SNR)가 높은 장점을 가지고 있다.^{1,2} 800 nm 대역에서는 고속이면서 1024 픽셀 이상의 카메라가 많이 개발되어있기 때문에 SD-OCT의 장점을 충분히 살릴 수 있었으며 그에 따른 연구가 활발히 진행되었다. 그러나 1.3 μm 대역에서는 InGaAs 선주사 카메라를 사용하여야 하기 때문에, 비용이 많이들 뿐만 아니라 고속의 영상을 얻기가 힘들었다. 최근에는 40 kline/s 이상의 1024 픽셀을 가진 InGaAs 카메라가 상품화되었으며 이는 1.3 μm 대역에서 고속의 SD-OCT 시스템 구현을 가능하게 하였다. 본 연구에서는 1.3 μm 대역에서 SD-OCT 시스템을 구현하는데 있어서 가장 중요한 분광기에서 렌즈 파라미터를 변화하여 최적의 조건을 찾고 이에 따른 SD-OCT 시스템을 최적화하는데 있다.

그림 1은 SD-OCT의 개략도를 보여준다. 광원으로는 중심 파장이 1310 nm 이며, 대역폭은 170 nm, 파워는 24 mW인 SLD를 사용하였다. 마이켈슨 간섭계는 10:90 2x2 커플러를 사용하여 구성하였으며,

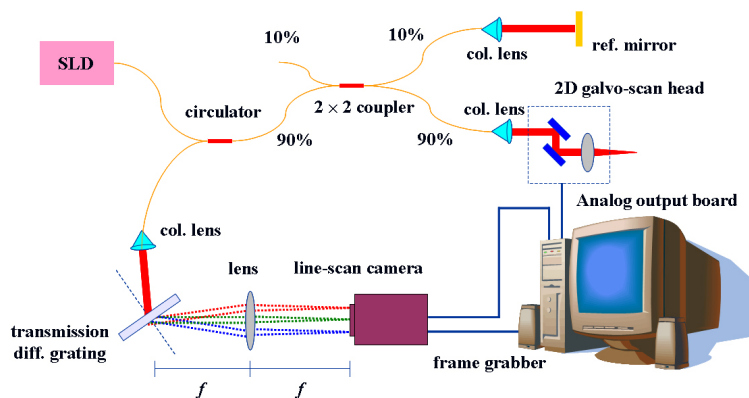


그림 1. SD-OCT의 개략도

분광기는 1145 lines/mm 투과형 회절격자(diffraction grating)와 볼록렌즈, InGaAs 선주사 카메라로 구성하였다. 분광기에 사용된 InGaAs 선주사 카메라의 검출 속도는 최대 46,990 lines/s이며 전체 픽셀 개수는 1024개이다.

그림 2는 분광기의 렌즈 초점 길이에 따른 SD-OCT의 깊이 해상도에 대한 PSF를 구한 결과이다. 분광기의 렌즈 초점 길이를 변화시키면 분광기의 해상도가 바뀌게 된다. 따라서 SD-OCT에서는 영상의

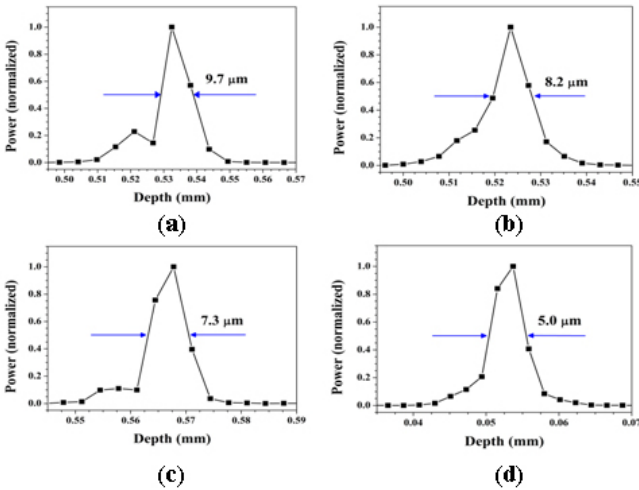


그림 2. 분광기의 렌즈 초점길이에 따른 SD-OCT의 깊이 해상도에 대한 PSF (a) $f = 95$ mm (150 nm), (b) $f = 70$ mm (214 nm), (c) $f = 55$ mm (258 nm), (d) $f = 35$ mm (401 nm)

분광기의 렌즈 초점 길이는 SD-OCT에서 영상의 깊이 측정 범위뿐만 아니라 민감도(sensitivity)의 감쇄율도 변화시킨다. 그림 3은 렌즈 초점길이에 따른 민감도 감쇄율 그래프이다. 깊이 해상도가 이론값에 가까워 갈수록 깊이 측정 범위는 줄어들고 민감도도 빠르게 감쇄한다. 따라서 본 연구에서는 SD-OCT의 최적 민감도와 깊이해상도, 깊이 측정범위를 위하여 분광기의 렌즈 초점길이를 70 mm로 선택하였다.

1. N. A. Nassif, et al., "In vivo high-resolution video-rate spectral-domain optical coherence tomography of the human retina and optic nerve," Optics Express 12, 367-376 (2004).
2. S. H. Yun, et al., "High-speed spectral-domain optical coherence tomography at 1.3 μm wavelength," Optics Express 11, 3598-3604 (2003).

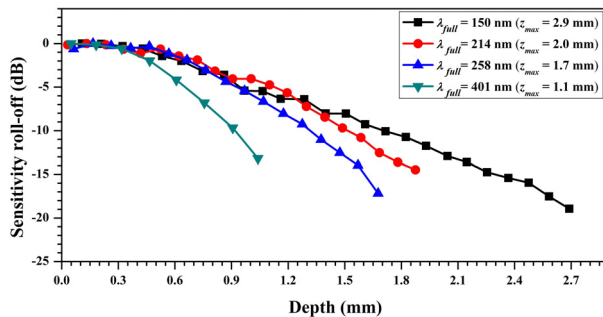


그림 3. 분광기의 렌즈 초점 길이에 따른 SD-OCT에서의 민감도 감쇄율