

# 광 스위치를 사용하는 단일 spectrometer 기반 1.3 $\mu\text{m}$ 스펙트럼 영역 고속 PS-OCT

## High-speed spectral domain polarization-sensitive optical coherence tomography based on a single spectrometer using an optical switch at 1.3 $\mu\text{m}$

정현우, 이상원, 김법민  
연세대학교 의공학부 의광학연구소  
yonseijhw@yonsei.ac.kr

Optical coherence tomography(OCT)는 생체조직 내부 마이크로 단위 구조를 비침습적으로 이미징할 수 있는 기술이다.<sup>(1-2)</sup> 기본 OCT의 기능적 확장 기술인 polarization-sensitive optical coherence tomography(PS-OCT)는 기본 OCT에서 얻을 수 있는 샘플의 단면 구조 정보뿐 아니라, 편광에 민감하게 반응하는 콜라겐 섬유와 같은 비대칭 물질에서 반사 또는 산란되어 나오는 빛의 편광 변화, 복굴절에 의한 위상차, 광 축 정보 등을 얻을 수 있는 기술이다.<sup>(2)</sup> PS-OCT는 피부에서 열손상(thermal damage), 손상 치료(wound healing), 광노화(photo-aging)에 관한 연구, 치아에서 충치, 안구에서 망막 신경섬유층 및 각막에 관한 연구 등 의학적으로 다양한 분야에 응용되어져왔다.<sup>(2)</sup> 최근 각광받고 있는 스펙트럼 영역 기술은 기존에 시간 영역 OCT기술에 비해 고속 이미징 속도와 큰 민감도의 장점을 갖는 기술이다.<sup>(1)</sup>

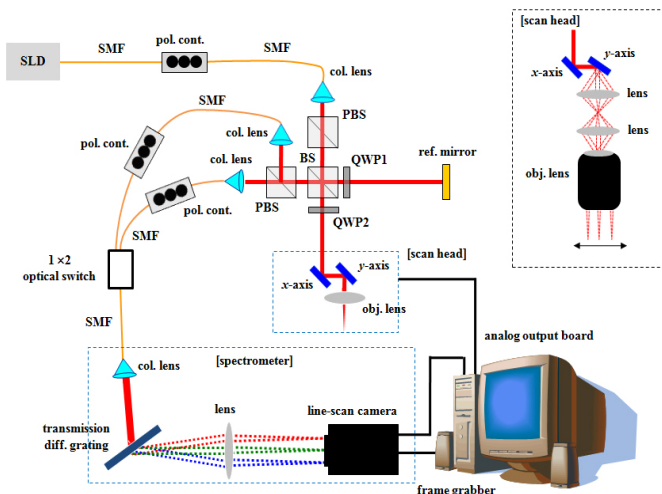


그림 1. 1x2 광 스위치를 사용하는 단일 spectrometer 기반의 SD-PS-OCT 시스템  
SMF: single mode fiber, PBS: polarization beam splitter, BS: beam splitter, QWP: quarter wave plate

스펙트럼 영역 PS-OCT(SD-PS-OCT)는 간섭계의 끝단에서 PBS(polarization beam splitter)에 의해 수직, 수평 편광 성분이 각각 분리되어 데이터 처리되어야 하므로, line-scan camera로 구성된 spectrometer가 기본적으로 두 개가 존재해야 한다.

본 연구에서는 광 스위치를 사용하여 단일 spectrometer 기반의 고속 스펙트럼 영역 PS-OCT시스템(23,496 A-line/sec)을 제작하였다. 본 시스템의 개발로 비용, 시스템셋업 공간 및 제어 측면에서 효율적인 장점을 다양하게 확보할 수 있었다.

그림 1은 본 연구에서 개발된 단일 spectrometer기반 SD-PS-OCT 시스템의 개략도이다. 중심파장 1310nm, 대역폭 170nm,

25mW의 SLD 광원은 PBS1을 통과하여, 수평 편광 성분 빛만 간섭계로 들어가게 되고, BS에서 기준단 및 샘플단 50:50으로 나뉘어진다. 기준단에 입사된 빛은 22.5° QWP를 통과한 후 기준 거울에서 반사되어 다시 BS로 돌아왔을 때, 45° 선형 편광이 된다. 샘플단에 입사된 빛은 45° QWP를 통과한 후 원형 편광되어 샘플로 입사되고, 기준단 및 샘플단에서 각각 반사된 빛은 다시 BS에서 합쳐져 간섭 신호를 형성하게 된다. 샘플 정보를 포함하고 있는 간섭 신호는 PBS2를 통과한 후 수평, 수직 성분으로 각각 분리되어 1x2 광 스위치로 전달된다. 각 성분은 광 스위치에 의해 교대로 spectrometer로 전달되며 선주사 카메라에 의해 검출된다. 따라서, 수직, 수평 성분이 차례대로 한번씩 spectrometer에서 획득된 두 개의 깊이 정보가 최종적으로 한 개의 PS-OCT 영상을 구성하게 된다.

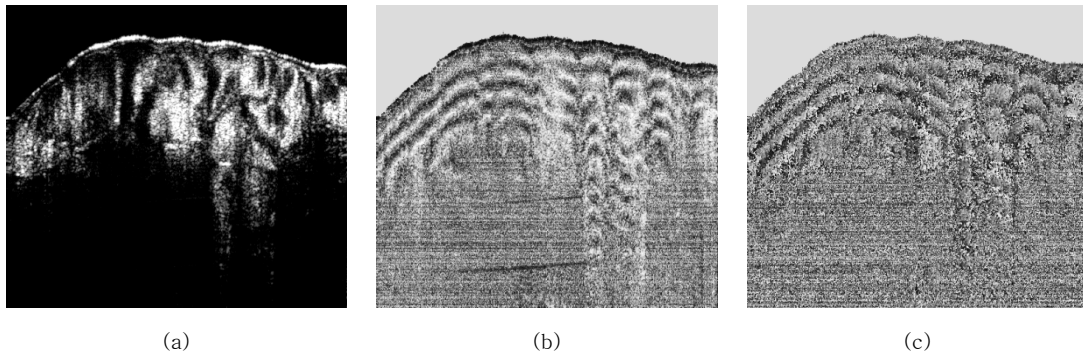


그림 2. 4개의 스톱스 변수로부터 구성된 *Ex vivo*, rat tail tendon의 (a) intensity, (b) Phase retardation ( $0 \sim \pi$ ), (c) fast axis orientation ( $-\pi \sim \pi$ ) 이미지. 2.0mm(깊이) X 2.5mm(폭)

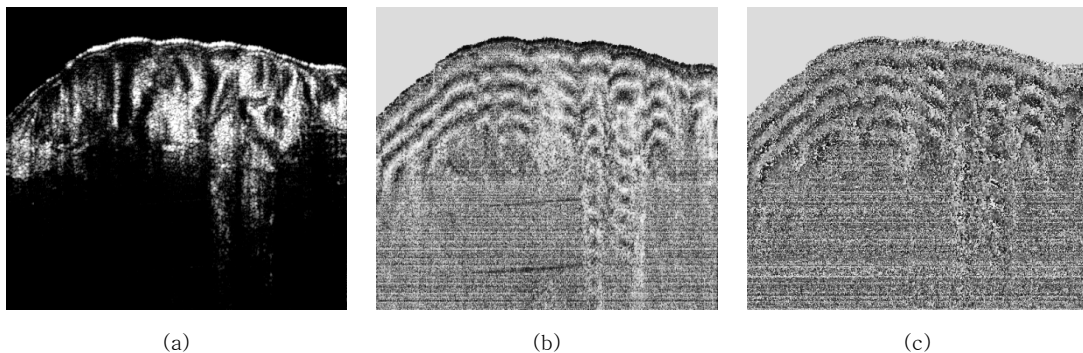


그림 3. 존스 방식으로 구성된 *Ex vivo*, rat tail tendon의 (a) intensity, (b) phase retardation ( $0 \sim \pi/2$ ), (c) fast axis orientation ( $-\pi/2 \sim \pi/2$ ) 이미지. 2.0mm(깊이) X 2.5mm(폭)

그림2 와 그림3은 PS-OCT 샘플로 적합한 쥐꼬리(rat tail tendon)를 스톱스와 존스 방식으로 각각 획득한 intensity, phase retardation(복굴절), fast axis orientation 이미지이다.

향후, 의학적 임상 적용을 위해 샘플단의 측정 프로브로 articulated arm을 사용하여, 측정 자유도를 증가시키고, *in vivo* 로 손가락 및 얼굴 피부의 복굴절을 정량적으로 측정하여 비교 및 확인해 본 후, 다양한 의학적 임상 적용 연구를 수행할 예정이다.

1. B. Baumann, E. Götzinger, M. Pircher, and C. K. Hitzenberger "Single camera based spectral domain polarization sensitive optical coherence tomography", *opticsexpress* 15(3), 1054-1063(2007)
2. Chuanmao Fan, Yi Wang, and Ruikang K. Wang , "Spectral domain polarization sensitive optical coherence tomography achieved by single camera detection", *opticsexpress* 15(13), 7950-7961(2007)