

광섬유 격자를 이용한 주파수 영역 OCT의 특성 정량화

Quantification protocol for spectral-domain OCT using FBGs

엄태중¹, 김창석², 안예찬³

¹광주과학기술원 고등광기술연구소 광정보통신연구실, e-mail: eomtj@gist.ac.kr

²부산대학교 나노과학기술대학 나노시스템공정공학과

³Beckman Laser Institute, University California, Irvine

We present a quantification protocol to get the alignment factors of a custom-made spectrometer and the nonlinear fitting function between the measured CCD pixel domain and the wavelength domain to apply the spectral-domain optical coherence tomography using fiber Bragg gratings. We have used 4 different center wavelength gratings with a narrow spectral bandwidth (<0.05 nm) and the same reflectivity (>92 %) to calibrate and align the custom-made spectrometer.

빛의 산란광을 이용하여 고해상도의 생체영상 진단이 가능한 optical coherence tomography (OCT)에 관한 연구와 개발이 이루어진 결과 최근에는 상업화된 생산품이 출시되고 있으며, 관련된 연구들도 표준화된 시스템을 고려하여 보다 객관적인 실험지표를 토대로 이루어지고 있다. 더욱이 보다 다양한 기능의 수행이 가능한 OCT 시스템은 복잡한 광학계의 구성이 필요하며 민감한 광학계의 안정된 특성을 확보하고 이를 최적으로 구현하기 위한 설계가 요구된다^[1, 2]. 하지만 매우 잘 설계된 시스템이라 할지라도 이를 구성할때의 오차를 최소화하기 위하여 수많은 시행착오를 거치게 된다. 따라서 보다 효율적인 시스템의 구현과 구현된 시스템의 성능을 확인을 위한 객관적인 정량화가 요구된다.

본 연구에서는 광섬유 격자를 이용하여 특정대역의 고분해능 분광계를 사용한 spectral domain OCT (SD-OCT) 시스템의 광정렬을 실시하고, 이를 바탕으로 분광계의 비선형성 감소와 분광계의 광정렬 디자인 요소(diffraction grating으로의 빛의 입사각(θ_i), 산란각(θ_o), CCD 카메라와 렌즈 사이의 거리(f))의 계산에 필요한 정량화 프로토콜을 소개하고자 한다.

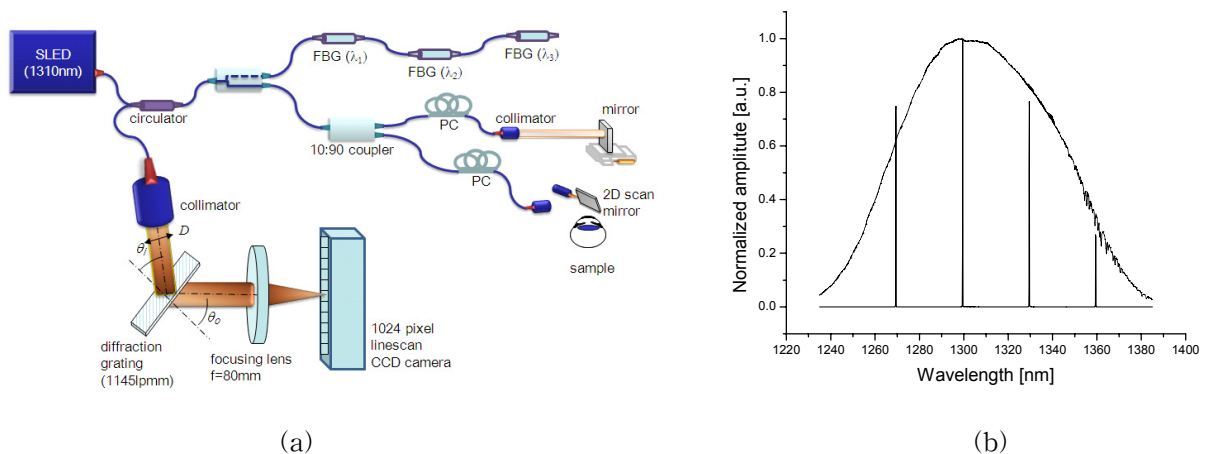


그림 1. (a) Schematic of the SD-OCT system with the calibrating FBGs. SLED: super-luminescent diode, FBG: fiber Bragg grating. (b) Optical spectrum of the SLED (dash line) and the FBGs (solid line) using an optical spectrum analyzer.

그림 1은 실험에 사용된 1320nm 대역의 SD-OCT 의 구성과 시스템 정량화에 사용된 광섬유 격자의 반사 스펙트럼을 보이고 있다. 각각의 광섬유 격자($\lambda_1 = 1269.36 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 1310 \text{ nm}$, $\lambda_3 = 1329.52 \text{ nm}$, and $\lambda_4 = 1359.44 \text{ nm}$)는 0.05nm 의 반치폭과 92% 이상의 동일한 반사도를 가지고 있으며 시스템 보정에 적합하도록 외부의 온도와 물리력 변화에 무관하도록 패키징 되어있다.

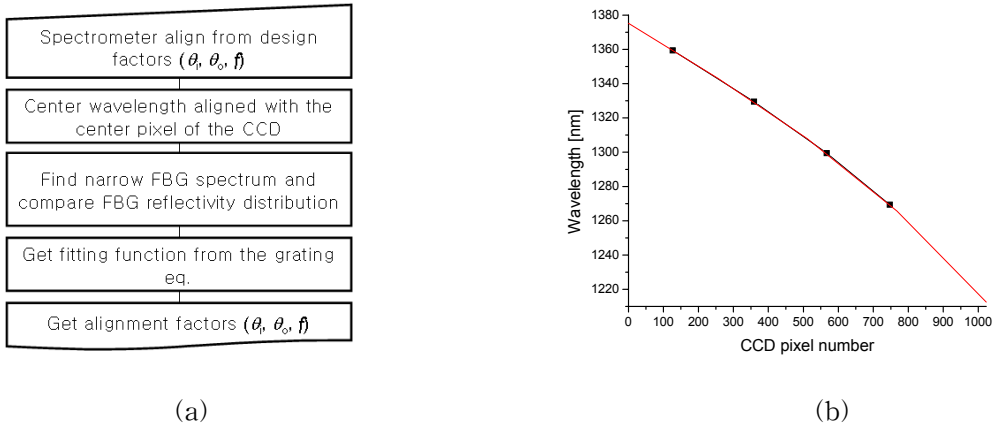


그림 2. (a) Flowchart of the proposed quantification protocol for the custom-made spectrometer. (b) Absolute wavelength calibration between CCD pixel domain and wavelength domain (wavelength fitting curve from the grating equation using 4 different FBGs).

그림 2(a)는 SD-OCT 의 분광계의 정량화에 필요한 프로토콜에 대한 순서도이다. 고분해능의 분광계의 구성에 적합하도록 CCD 카메라, diffraction grating, 입사광의 특성등을 고려한 세 개의 디자인 요소(θ_i, θ_o, f)를 결정하고^[3] 광섬유 격자의 스펙트럼 특성을 고려하며 분광계의 광학 정렬을 실시한다. CCD 카메라의 픽셀영역의 측정값과 실제 파장영역 사이의 오차를 최소화한 다음과 같은 비선형 fitting 함수를 구한다.

$$\lambda_j = d \left(\sin \theta_i + \sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{p}{f} \left(\frac{n}{2} - j - 1 \right) \right) + \theta_o \right) \right) \quad (1)$$

여기에서 λ_j 는 j 번째 CCD의 픽셀에 해당되는 파장이고, p 는 CCD의 픽셀 간격, n 은 CCD의 픽셀수(1024개)이다. 그림 2(b)는 4개의 광섬유 격자에 대응하는 픽셀과 파장 값으로 부터 구해진 fitting 함수를 보여주고 있다. fitting 함수에서 분광계의 디자인 요소(θ_i, θ_o, f)의 실제 값을 구하고 최초 디자인 요소 값과의 차이를 알 수 있고 추가적인 광정렬의 보정의 정도와 방향을 알 수 있다.

이러한 SD-OCT의 분광계의 광정렬 상태에 관한 정량화에 필요한 프로토콜은 다양한 형태의 SD-OCT 시스템 연구에 있어서 보다 복잡적이고 실용적으로 응용될 수 있으리라 여겨진다.

본 연구는 지식경제부의 지역산업공통기술개발사업(No. 70001322)의 일부 지원에 의한 것입니다.

- 1 B. J. Vakoc, et. al, Opt. Express 13, 5483 (2005).
2. Z. Hu , et. al, Opt. Lett. 32, 3525 (2007).
3. J. Ai , et. al, Appl. Phys. Lett. 88, 111115 (2006).