

공간영역에서의 광결맞음 단층촬영장치에 관한 연구

Study of the Optical Coherence Tomography on Spatial-Domain

조용진, 정병조, 김법민

연세대학교 보건과학대학 의공학과

남기봉

한림대학교 자연과학대학 전자물리학과

yjcho91@yonsei.ac.kr

OCT는 이제 다양한 의학영상분야에서 널리 사용되고 있다. 지난 15년 동안 괄목한 만한 영상의 질의 향상과 더불어 다양한 OCT 시스템 개발이 소개되어 왔다. 기존의 OCT 시스템은 시간영역의 OCT(TD-OCT)이었으나 최근에는 높은 신호대 잡음비와 빠른 영상 획득으로 주파수 영역의 OCT(FD-OCT)가 주류를 이루고 있다. 격자분광기를 사용하여 얻은 FD-OCT의 스펙트럼 신호는 다시 푸리에 변환을 시켜 시료의 구조적인 정보를 얻을 수가 있다. 그러나 이 변환 과정에서 자기상관 신호와 복소 공액 신호가 발생되어, 얻고자 하는 신호와 분리하기 위해서는 시료의 깊이 측정 범위에 제한이 생기는 단점이 있다. 최근에는 이 문제점을 극복하기 위한 새로운 기술이 소개되었다. 본 연구는 기존의 FD-OCT의 격자분광기 대신 한 쪽 거울이 기울어져 있어 시간 축에 대한 주사없이 스펙트럼을 획득할 수 있는 푸리에변환 분광기(Solid-Block Fourier-transform spectrometer)로 대체하여 푸리에 변환 없이 분광기를 거쳐 나온 신호를 바로 이용할 수 있는 공간영역의 OCT를 모델링을 통하여 소개하고자 한다.

그림 1은 Spatial-Domain OCT를 나타내는 기본 구성도이다. 시스템은 연속된 두 개의 마이켈슨 간섭계에 이루어져 있다고 볼 수 있다. 가상의 시료로는 120um의 cover glass를 사용하였다.

모델링을 쉽게 하기 위하여 SLD(Superluminescent Diode) 광원을 평면파로 가정하였고 정규화된 전기장은 $u(t) = u_0 \exp[i(\vec{k}_1 \cdot \vec{r}_1 - \omega t - \phi_1)]$ 으로 놓을 수 있다. 마이켈슨 간섭계에서 입사된 빛은 BS를 지나 나누어진 빛은 기준거울과 cover glass의 앞, 뒤면에서 반사되어 마이켈슨 간섭계를 통과하였을 때 세 개의 전기장으로 나누어진다. 이때 각각의 전기장의 진폭은 $u_1(t) = u(t), u_2(t) = u(t + \tau_1), u_3(t) = u(t + \tau_2)$ 가 된다. 이때 $\tau_1 = 2z_0/c, \tau_2 = 2z_1/c$ 로서 각각 기준거울과의 동일한 광경로의 기준면으로부터의 거리차와 cover glass의 두께를 말한다. 세 개의 전기장은 SBFTS를 거치면서 다시 각각 두 개로 나누어져 검출기에 도달하는 전기장은 모두 여섯 개의 전기장이 된다.

$$\begin{aligned} u_{11}(t) &= u(t + \tau_3)/2 \\ u_{12}(t) &= u(t + \tau_4)/2 \\ u_{21}(t) &= u(t + \tau_1 + \tau_3)/2 \\ u_{22}(t) &= u(t + \tau_1 + \tau_4)/2 \\ u_{31}(t) &= u(t + \tau_2 + \tau_3)/2 \\ u_{32}(t) &= u(t + \tau_2 + \tau_4)/2 \end{aligned}$$

τ_3 와 τ_4 는 각각 SBFTS에서 거울 간의 중심점의 광로차와 기울어진 거울로 인해 발생한 광로차를 말한다.

검출기에서 검출된 광신호는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.^[2,3]

$$\begin{aligned} I = & 3I_0/2 + Re G(\tau_1) + G(\tau_2) + G(\tau_1 - \tau_2) + 3G(\tau_3 - \tau_4)/2 + G(\tau_1 + \tau_3 - \tau_4)/2 \\ & + G(\tau_1 - \tau_3 + \tau_4)/2 + G(\tau_2 + \tau_3 - \tau_4)/2 + G(\tau_2 - \tau_3 + \tau_4)/2 + G(\tau_1 - \tau_2 + \tau_3 - \tau_4)/2 + G(\tau_1 - \tau_2 - \tau_3 + \tau_4)/2 \end{aligned}$$

$G(\tau)$ 는 시간 가간섭성 함수로서 1차 가간섭성 함수를 이용하여 모사실험을 하였다.

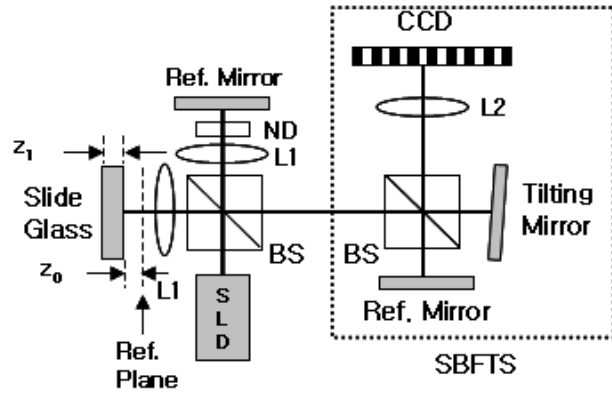


그림 1. 공간영역의 OCT 구성도

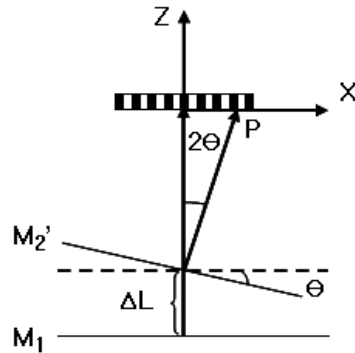


그림 2. SBFTS의 구조

그림 3, 4는 cover glass에 대한 간섭무늬를 모사실험한 결과이다. 그림 3에서 작은 sidelobe이 생긴 것은 첫 번째 간섭계에서 생긴 시료의 표면과 기준거울과의 광로차가 있기 때문이다. 향후과제로는 실제 시스템에서 간섭무늬를 얻어 모사실험과 비교하고 시스템에 대한 정량적인 분석을 할 계획이다.

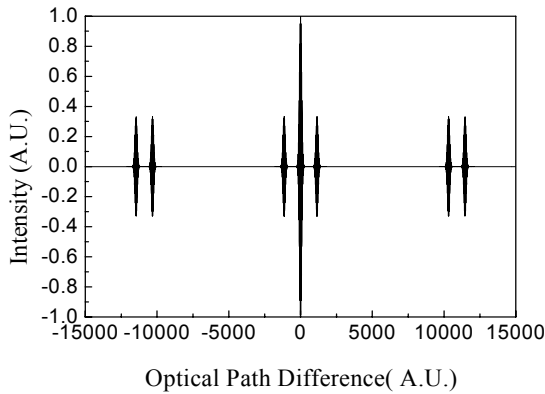


그림 3. $z_0 \neq 0$ 일 때 모사실험 결과

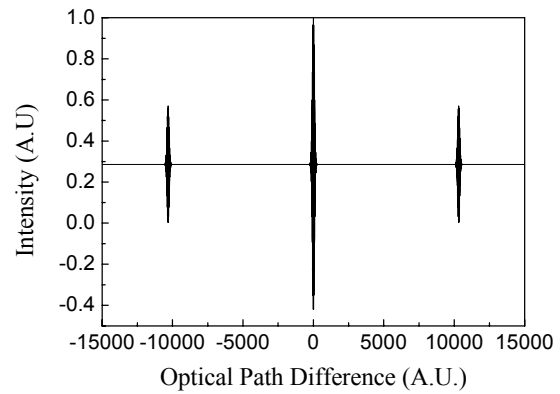


그림 3. $z_0 = 0$ 일 때의 cover glass의 모사실험 결과

참고문헌

[1] Jérôme, Genest, Pierre Tremblay, André Villemaire, "Throughput of tilted interferometers", Applied Optics, Vol. 37, No. 21(1998)
 [2] Adolf F. Fercher, "Optical Coherence Tomography", J. Biomedical Optics. 1(2), 157-173(1996)
 [3] Thomas Hellmuth, M. Welle, "Simultaneous Measurement of Dispersion, Spectrum, and Distance with a fourier transform spectrometer", J. Biomedical Optics. 3(1), 7-11(1998)