

루프 미러로 구성된 기준팔을 가지는 파장 스위핑 OCT 구현

Realization of Swept Source Optical Coherence Tomography with Loop Mirror Reference Arm

김 훈 섭* 남궁 명우** 이 정 렬*** 엄 진 섭****
Kim, Hoon-Sup Namgoong, Myung-Woo Lee, Jung-Ryul Eom, Jin-Seob

Abstract

As a reflector of reference arm in OCT systems, a coated fiber reflector has mostly used. Instead, this paper has realized the swept source optical coherence tomography system using a loop mirror within a reference arm. Through the experiments for a tilted thin glass plate, we found that the loop mirror is better than the coated fiber typed mirror for obtaining the clear image.

키워드 : 파장 스위핑 레이저, 광 결맞음 단층촬영 기술
Keywords : Swept Source Laser, Optical Coherence Tomography

1. 서론

최근 OCT(Optical Coherence Tomography)를 이용한 생체 영상진단 기술이 국외는 물론, 국내에서 활발하게 연구되고 있다[1]. 특히, Fourier Domain 방식의 하나인 Swept Source OCT(SS-OCT)는 기존의 Time Domain OCT(TD-OCT)에 비해 고속이며, 안정적이고, 높은 sensitivity를 가진다. 게다가, SS-OCT와 동류의 Fourier Domain OCT 방식인 Spectral Domain OCT(SD-OCT)에서는 회절격자, array detector

등이 요구되어 구성이 복잡함에 비하여 SS-OCT는 단일 광 검출기(Point Photo Detector)를 사용하므로 시스템이 단순하다. 그리고, 미러 이미지(Mirror Images)를 제거하기 위해 SD-OCT는 정교한 셋업이 요구되는데 반하여, SS-OCT는 간단히 전광변조(Electrooptic Modulation)기법만을 이용하면 미러 이미지를 쉽게 제거할 수 있다[2][3].

2. 이론적 배경

그림 1은 실험에서 사용한 SS-OCT의 구성도이다. Swept source로는 Santec사의 tunable semiconductor laser를 사용하였고 51.2 nm(1524.8~1576 nm) 대역에 걸쳐 파장을 스위핑하였다.

* 강원대 전자공학과 공학석사
** 강원대 전자공학과 학부과정
*** 강원대 산학협력중심대학 전담교수, 공학박사
**** 강원대 전자공학과 교수, 공학박사

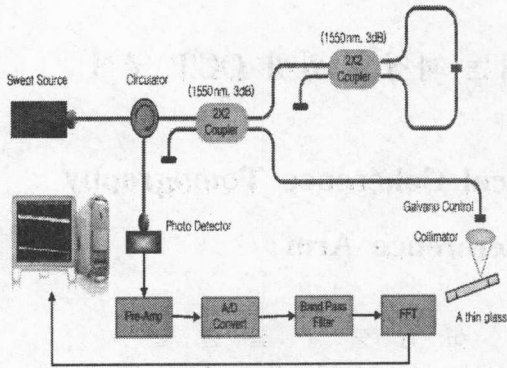


그림 1 SS-OCT 실험 구성도

파장을 스위핑하기 위하여 TI사의 TMS320C31 DSP를 이용하여 파장 제어신호를 생성하였으며 이를 tunable semiconductor laser에 송신하여 사용하였다. 나중에 획득된 스펙트럼에 대한 FFT 신호처리를 위하여 스위핑 대역 51.2nm를 1024개의 구간으로 나누어 스위핑이 되도록 제어신호를 생성하였다. 광검출기로(Photo Detector)로는 NEW FOCUS사의 1611 Low Noise Photoreceiver(IR 1GHz), Pre-Amp로는 Stanford Research Systems사의 Low Noise Pre-amplifier를 사용했다. 기준팔과 샘플팔로 광파워를 배분하는 2 X 2 커플러로서는 90:10 커플러를 사용하여 샘플팔에 많은 광파워가 전달되도록 하였다. 광원과 2 X 2 커플러 사이에 서큘레이터를 그림 1처럼 배치하여 기준팔과 샘플팔에서 반사되어 돌아오는 빛이 광원으로 피드백되는 것을 차단하였으며, 아울러 샘플팔로부터 반사되어오는 광파워가 대부분 그대로 광검출기로 전달되도록 하였다. 이는 샘플팔에 생체 조직이 놓일 경우 이로부터 반사되어 돌아오는 광파워가 무척 적을 것임을 고려한 구성이다. 기준팔에는 2 X 2 커플러(3dB)를 이용한 루프 반사경이 사용되었다. 이는 나중에 반사경이 내장된 Patch cord로 대체되어 두 가지 경우에 대한 영상 품질을 비교하였다.

A/D 변환은 TMS320C31 DSP 키트를 이용하여 수행하였으며 이는 샘플치를 2048레벨(11bit)로 변환시킨다. 샘플은 길이방향으로 5mm 스캔되며, 매번 50 μ m씩 증가되도록 하였다. 따라서 1회의 스캔에서 100개의 샘플위치가 존재한다. 그리고 각 샘플위치에서 파장 sweeping이 1024 단계로 이루어지므로 1회 스캔에서 발생하는 총 샘플링 횟수는 102400회 이다. 이는 DSP에 데이터로 저장된 후에 일회 스캔이 완료되면 컴퓨터로 보내지게 된다.

SS-OCT 방식과 SD-OCT 방식에서는 파장 도메인(λ -domain)상에서 간섭신호가 얻어진다. 따라서 컴퓨터에서 rescaling 과정을 통하여 이를 다시

k -domain상에서의 간섭신호로 바꾸어야 한다.[4] 다음에 이를 FFT하게 되면 이로부터 어느 한 샘플위치에서 기준팔과의 거리차의 함수로서 파워 스펙트럼을 얻을 수 있다. 이를 모니터 상에 표시하면 단층 영상이 얻어진다.

3. 실험

본 실험에서는 샘플로서 얇은 유리판을 빛의 입사각도에 대하여 일정한 각도로 경사지게 배치하였다.

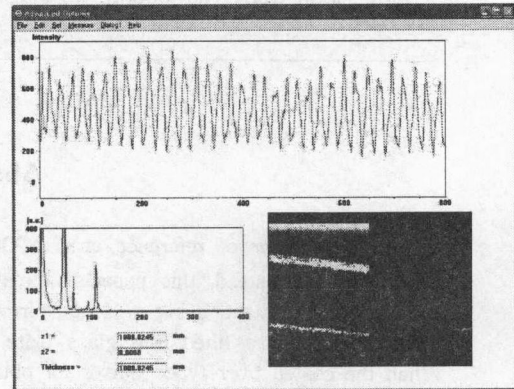


그림 2 Loop 미러를 기준팔로 사용해서 기울어진 유리판을 스캔한 영상

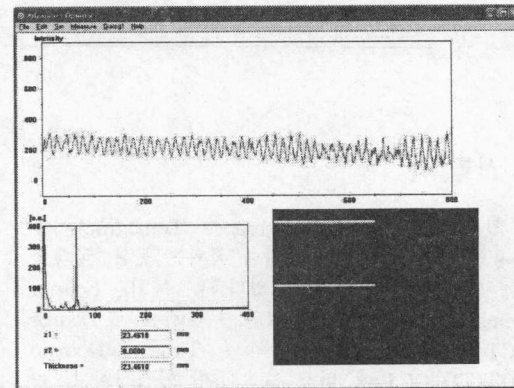


그림 3 반사경 내장 patch cord를 사용해서 기울어진 유리판을 스캔한 영상

그림 2는 기준팔에 루프 미러를 사용했을 때의 측정된 유리판 영상을 보여준다. 그림 2에서 보여지듯이 유리판의 기울어진 모양이 뚜렷하게 얻어짐을 확인할 수 있다. 그런데 그림 2에서는 기울어진 점이 없이 수평한 유리판 영상도 얻어짐을 볼 수 있다 이는 기준팔과의 간섭이 아니라 유리판의 두

면간의 간섭에서 얻어지는 영상이다. 기울어진 유리판을 스캔하여도 유리판의 두 면간의 간격은 일정하므로 항상 같은 위치에 파워 스펙트럼이 얻어지게 된다. 이 미러 이미지는 앞서 언급한 것처럼 한 쪽 팔에 대하여 전광변조를 수행하고 검출된 전기신호에 대한 신호처리 시에 변조주파수를 중심으로 하는 대역통과 필터링을 수행하면 미러 이미지를 제거할 수 있을 것이다[5][6]. 한편 기준팔과의 간섭에서 얻어진 유리 영상이 깨끗하지 못한 것은 루프 미러 내에서 발생하는 편광의 변화 때문에 기준팔의 길이가 시간에 따라 조금씩 변하는 것에 기인하는 것으로 사료된다. 이는 루프 미러를 편광유지 광섬유로 구성하든지 루프 미러 내에 편광조절기를 위치시키면 더 나아진 영상을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그림 3은 기준팔로 반사경 내장 patch cord를 사용했을 때의 측정된 영상을 보여준다. 그림에서 보는 것처럼 루프 미러를 사용한 경우에 비하여 기울어진 유리판 영상이 무척 희미하게 얻어지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

실험에서 사용된 루프 미러와 반사경 내장 patch cord에 대하여 각각 반사율을 측정하여보면 루프 미러의 경우가 반사경 내장 patch cord에 비하여 약 1.5배 정도 반사율이 큰 것으로 확인되었다. 이로부터 기준팔에 루프 미러를 사용하는 것이 반사경 내장 patch cord를 사용하는 것보다 더 선명한 영상을 제공하는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이충희. (2005). 생체 영상 진단 및 생체 물질 측정 기술, 한국 과학 기술 정보 연구원, 한국
- [2] R. A. Leitgeb, C. K. Hitzenberger and A. F. Fercher, "Performance of fourier domain vs. time domain optical coherence tomography," *Optics Express*, vol. 11, pp889-894, 2003.
- [3] Choma, M. A., Sarunic, M. V., Yang, C. H., and Izatt, J. A. (2003). Sensitivity advantage of swept source and Fourier domain optical coherence tomography. *Opt. Express* 11(18), 2183-2189.
- [4] K. Y. Kim, M. Y. Namgoong, H. S. Kim, J. R. Lee, J. S. Eom, "Optical Measurement System Realization of Fourier-Domain using High brightness White LED and CCD Array Detector" *Photonics Conference 2006*, Vol. 14, pp.56-57, 2006. 11.
- [5] Yun, S. H., Tearney, G. J., de Boer, J. F., and Bouma, B. E. (2004). Motion artifacts in optical coherence tomography with frequency domain ranging. *Opt. Express* 12, 2977-2998.
- [6] Zhang, J., Nelson, J. S., and Chen, Z. P. (2005). Removal of a mirror image and enhancement of the signal-to-noise ratio in Fourier-domain optical coherence tomography using an electro-optic phase modulator. *Opt. Lett.* 30(2), 147-149.
- [7] Chinn, S. R., Swanson, E. A., and Fujimoto, J. G. (1997). Optical coherence tomography using a frequency-tunable optical source. *Opt. Lett.* 22(5), 340-342.