

Polarization Sensitive Low Coherence Interferometer를 이용한 Glucose 농도 측정

Measurement of Glucose concentration using Polarization Sensitive Low Coherence Interferometer

이상원, 김법민
연세대학교 의공학부 의광학연구실
ysviper@msn.com

최근 수년간 polarimetry, Raman spectroscopy, near infrared (NIR) absorption spectroscopy, NIR scattering, optoacoustics 등의 방법을 통하여 비침습적으로 Glucose의 농도를 측정하려는 연구가 많이 시도되었다. 일반적으로 이들 방법은 sensitivity 와 signal-to-noise ratio가 매우 낮고 복잡한 알고리즘이 요구되어져 glucose 농도 측정에 한계가 있음이 드러났다.⁽¹⁾ 본 연구에서는 polarization sensitive optical coherence tomography (PS-OCT)에 사용되는 polarization sensitive low coherence interferometer (PS-LCI) 기법을 이용하여 비침습적으로 glucose의 농도 측정을 가능하게 하는 시스템 개발에 중점을 두었다. 궁극적으로 이 시스템을 바탕으로 glucose의 농도 측정 가능성을 타진해보고 연구 방향을 제시하고자 한다.

산란 (scattering)은 생체 조직을 통하여 전달되는 빛의 편광 상태를 바꾸는 주요한 원인이다. 단독의 산란 (single scattering)이 발생한 후에 빛의 편광 상태는 산란물질, 산란 방향 등에 영향을 받는다. 또한 많은 생체 조직은 collagen 등 비선형적 결정구조를 포함하기 때문에 복굴절 특성을 나타내며⁽²⁾ glucose 분자도 이러한 복굴절 특성을 가지고 있다. PS-LCI는 이러한 복굴절 물질 사이를 통과한 거리에 대해 비례하는 orthogonal한 편광 구성 성분 사이의 phase retardation을 측정하게 된다. LCI는 기본적으로 적외선 영역의 빛을 50/50 빔 분배기를 이용하여 둘로 나누고 reference mirror (scanner)에서 반사되는 빛과 샘플에서 back-scattering 된 빛이 다시 빔 분배기에 모였을 때, 두 빛의 경로차에 의한 가간섭 원리 즉 Michelson Interferometer를 응용한 것이다.⁽³⁾ 왼쪽의 Fig. 1은 이를 약간 변형한 PS-LCI 시스템의 개략도를 나타낸다.

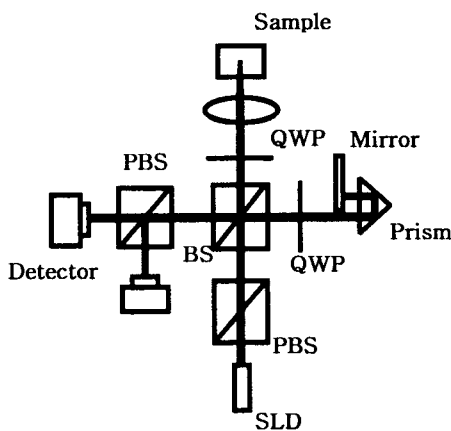


Fig. 1 PS-LCI 시스템 기본 개략도
BS: Beam splitter, QWP: Quarter-wave plate,
PBS: Polarizing beam splitter

먼저 SLD에서 나온 빛은 PBS를 통과하여 수평 방향으로 편광된 빔을 만들어낸다. 수평 빔은 BS를 통하여 한쪽으로는 수평에 대해 22.5°의 QWP를 통과하여 reference mirror에 들어가고, 다른 한쪽은 45°의 QWP를 통과하여 sample에 들어간다. 각각의 빛은 다시 돌아와 PBS 앞에서 모여지며, 이 빛을 별도의 PBS를 통과시켜 두 개의 Detector로 받는다. Detector에서 검출된 신호는 DAQ board와 LabView 프로그램을 사용하여 Demodulation을 한 후 저장하였으며, 한

샘플에 대하여 300번의 스캐닝을 통해 얻어진 데이터의 평균값을 취하였다. 이렇게 얻어진 두 개의 horizontal, vertical에 대한 데이터를 다음의 식에 의해서 그 비에 대한 phase retardation을 구하게 된다⁽²⁾

$$I_H(z) = |A_H|^2 \propto R(z) \sin^2(k_0 z \Delta n) \quad \text{-----}[1]$$

$$I_V(z) = |A_V|^2 \propto R(z) \cos^2(k_0 z \Delta n) \quad \text{-----}[2]$$

$$\phi(z) = \arctan \left[\sqrt{\frac{I_V(z)}{I_H(z)}} \right] = k_0 z \Delta n \quad \text{-----}[3]$$

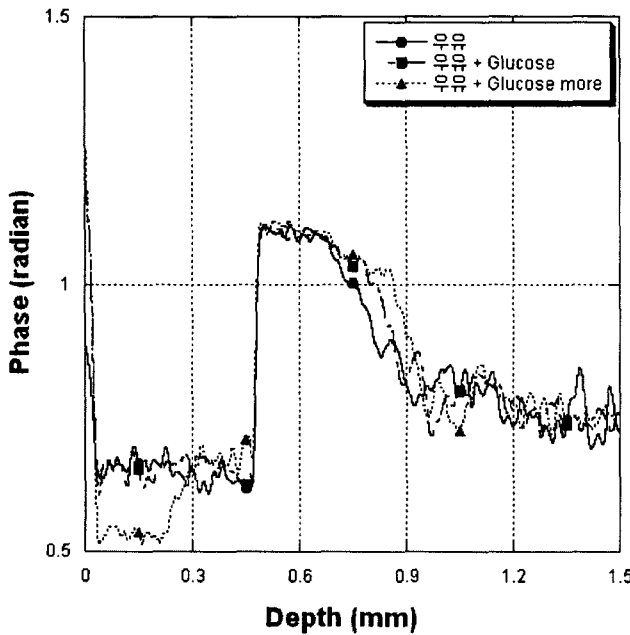


Fig. 2 Glucose의 농도에 따른 Phase retardation 결과 그래프

본 실험에서 광원으로는 1300nm, FWHM $\Delta\lambda = 40\text{nm}$ 를 갖는 Super luminescence diode(SLD)를 사용하였다. Scanner로는 Galvanometer에 프리즘을 올려놓아 5°의 회전각도를 주어 약 2mm에 해당하는 빛의 경로차를 만들어 주었다. 검출기로는 InGaAs Photodiode를 사용하였다.

Fig.2는 [3]번 식에 의해서 구해진 우유 속에서의 glucose 농도에 따른 phase retardation 결과 그래프이다. 그래프를 보게되면 glucose의 농도가 짙어질수록 깊이에 따른 phase retardation값이 커짐을 볼 수 있다. 이는 glucose의 농도가 짙어질수록 깊이에 따른 I_V 의 감쇠비율이 I_H 의 감쇠비율보다 작음을 말해준다. 이 그래프를 바탕으로 본 연구에서는 PS-LCI 시스템으로 glucose의 농도 측정 가능

성을 확인하였다. 앞으로 본 연구는 좀더 정밀한 PS-LCI 시스템 개발로 signal-to-noise ratio를 개선해야 할 것이며, glucose 농도의 정량화를 통하여 측정 알고리즘 개발에 중점을 두어야 할 것이다. 또한 실제 인체 상에서 glucose를 측정할 때에는 많은 인자가 glucose만의 농도를 선택적으로 측정하는데 방해가 될 것이므로 기존의 다른 방법과 병행하여 사용하면 보다 나은 결과를 가져올 수 있으리라 사료된다.

1. Kirill Larin, Irina Larina, Massoud Motamedi, Valentin Gelikonv, "Potential application of optical coherence tomography for non-invasive monitoring of glucose concentration"
2. Johannes F. de Boer, Thomas E. Milner, "Review of polarization sensitive optical coherence tomography and stokes vector determination", Journal of Biomedical Optics 7(3), 359-371 (2002)
3. E.A. Swanson, M.R. Hee, G.J. Tearney, B. Boumar, S. Boppart, J. Izatt, M.E. Brezinski, J.S. Schuman, "Optical coherence tomography principles, instrumentation, and biological applications", Biomedical Optical Instrumentation and Laser-Assisted Biotechnology, 291-303 (1996)