

Polarization Sensitive Optical Coherence Tomography를 이용한 Glucose 농도 측정 : Phantom Study

Measurement of Glucose concentration using Polarization Sensitive Optical Coherence Tomography : Phantom Study

강진호*, 이상원*, 유지영*, 김법민*

*연세대학교 의공학부 의광학연구실

crali@naver.com

최근 전 세계적으로 당뇨병 환자의 수를 2억 3천만명으로 추정하고 있다. 당뇨병 환자의 혈당을 비침습적으로 측정하기 위해 수년간 Polarimetry, Raman spectroscopy, Near Infrared (NIR) absorption spectroscopy, NIR scattering, Optoacoustics 등의 방법을 통하여 Glucose의 농도를 측정하려는 연구가 많이 시도되었다. 그러나 이러한 방법들은 sensitivity 와 signal-to-noise ratio가 매우 낮고 복잡한 알고리즘이 요구되어져 Glucose 농도 측정에 한계를 가지고 있음이 알려져있다.⁽¹⁾ 본 연구에서는 Polarization Sensitive Optical Coherence Tomography (PS-OCT)를 이용하여 Intralipid와 Glucose의 농도에 따라 Stokes parameter S_0 , S_3 를 추출하여 농도에 따른 Degree of Circular Polarization (DOCP)의 변화값을 측정하였다. 측정된 DOCP의 변화값을 통해 비침습적이고 더 효과적인 Glucose농도의 측정 가능성을 확인하는데 목적이 있다.

산란의 변화는 물질의 농도에 따른 굴절률 차이에 의해 발생하게 되며⁽²⁾ 이러한 산란의 변화는 DOCP의 값에 영향을 미치게 된다. DOCP는 역산란광의 광강도에 대한 원형 편광의 정도를 나타내는 것으로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$DOCP = \frac{S_3}{S_0}$$

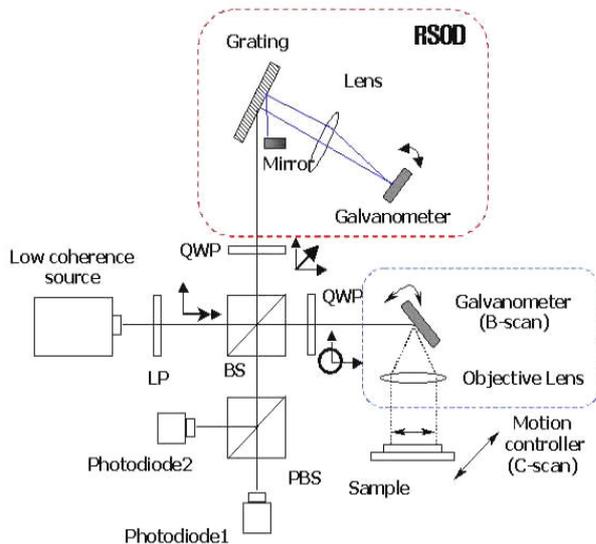
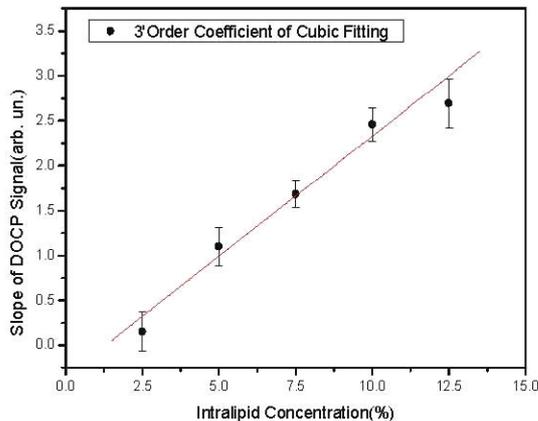


그림 1. PS-OCT 기본 개략도

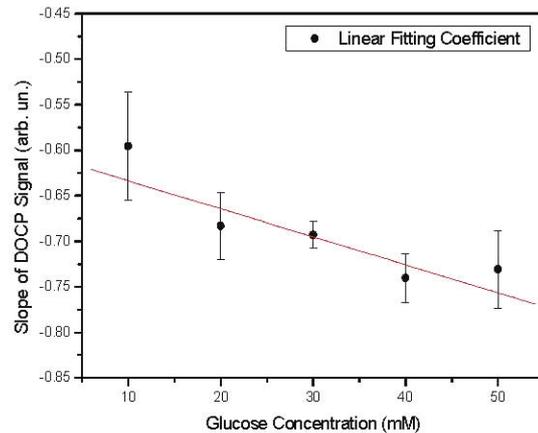
LP: linear polarizer, NBS: non-polarizing beam splitter, PBS: polarization beam splitter, QWP: quarter wave plate

그림 1은 PS-OCT의 기본 개략도를 나타낸다. SLD에서 나온 1300nm의 중심 파장을 가진 빛은 LP를 통과하여 순수한 수평 편광 빛으로 바뀐다. 이 빛은 다시 BS를 통해 둘로 나뉘지며 한쪽 빛은 수평에 대해 22.5°의 QWP를 통과하여 reference mirror를 거쳐 BS로 돌아왔을 때 45°선형 편광이 되도록 하였고, 다른 한쪽의 빛은 45°의 QWP를 통과하여 원형 편광 빛이 sample로 들어가도록 하였다. 각각의 빛은 PBS에서 다시 모아지며 PBS를

통해 수평 편광 성분과 수직 편광 성분으로 나뉘어져 두 개의 Detector에 의해 검출된다. 검출된 두 신호는 DAQ-board를 통해 수집되어 A/D 변환을 통해 저장한 후 MATLAB을 이용하여 digital filter, Hilbert transform, DOCP 계산과정을 수행하였다. 또한 각각의 농도 샘플들에 대해 1000번의 스캔을 통해 데이터의 평균값을 취하는 과정을 5회씩 수행하였다.



(a) Intralipid 농도에 따른 DOCP Coefficient



(b) Glucose 농도에 따른 DOCP Coefficient

그림 2. Intralipid 와 Glucose 농도에 따른 DOCP 결과 그래프

현재까지 DOCP에 관한 정량화된 데이터 분석 방법은 나와 있지 않다. 따라서 본 실험에서는 DOCP의 기울기 변화를 이용하여 데이터를 분석하였다. 위 그림 2(a)는 각각의 Intralipid용액의 농도에 대한 DOCP의 기울기 변화를 나타낸 것이다. Intralipid의 변화는 3차 polynomial fitting을 사용하였고 3차 계수의 값을 그래프로 나타내었다. 그래프에서 볼 수 있듯이 Intralipid의 농도가 증가 할수록 DOCP의 기울기가 변화하는 것을 볼 수 있다. 다음으로 그림 2(b)는 2.5% Intralipid 용액에 Glucose 농도를 10mM 씩 증가 시키면서 측정된 DOCP의 기울기 변화이다. Glucose의 농도 증가에 따른 DOCP의 기울기 변화는 linear fitting을 사용하였다. 그래프를 보면 각각의 Glucose의 농도의 변화에 따라 DOCP의 기울기가 변화하는 것을 볼 수 있다. 두 그래프 통해 농도에 따라 DOCP가 변화할 것이라고 예측할 수 있으며, DOCP는 역산란광의 광강도의 원형 편광 정도를 나타는 것으로써 광강도의 변화와 관계 없이 일정한 값을 가지며, 이것을 이용한 Glucose 농도 측정은 하나의 상수값으로 정량화된 측정이 가능하다는 것을 나타낸다.

앞으로의 연구 방향으로는 실제 DOCP의 변화가 농도에 의해 일어나는 것인지에 대한 정확한 확인을 위해 실험을 할 예정이며, DOCP를 통하여 Glucose 농도를 더 정량적으로 분석할 수 있는 알고리즘을 개발하는데 중점을 둘 예정이다.

1. Kirill Larin, "Potential application of optical coherence tomography for non-invasive monitoring of glucose concentration"
2. Kirill larin, "Noninvasive Blood Glucose Monitoring With Optical Coherence Tomography", Diabetes Care 25(12), 2263-2267(2002)