플래쉬램프광을 이용한 Intralipid-1% 글루코즈 수용액의 농도별 투과산란 특성

Scattering Properties on Concentrations of Intralipid-1% Glucose Solutions using Flashlamp

황인덕*, 김진덕, 전계진, 김홍식, 윤길원
삼성종합기술원 메디컬응용팀
indhwang@samsung.co.kr

생체 또는 샘플 셀 내의 특정 성분의 농도를 측정하기 위한 분광학적 접근 방법[1]에서 많이 사용되는 광원은 가시광선 및 근적외(NIR) 대역의 CW 형태의 램프, LED, LD 등이다. 특히 당뇨병 환자들이 매일 수회에 걸쳐 측정해야 하는 글루코즈는 혈중 성분중에서도 농도가 아주 미약하며, 현재 이를 non-invasive하게 정확히 측정하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 손가락과 같은 일정 두께를 가진 생체 부위에 적용하기 위한 예비단계로서 생체 조직과 산란특성이 유사한 Intralipid 1%을 사용하여 글루코즈 농도 변화에 대한 파장별 투과 특성을 분석하여 성분 농도를 예측하는 방법을 제시한다.

글루코즈 성분의 농도를 추정하기 위해서는 측정하고자 하는 성분에 가장 잘 감응하는 파장을 갖는 광 뿐만 아니라 간섭 물질이 주는 영향을 효과적으로 상쇄시켜 줄 수 있는 대역에 존재하는 파장도 함께 필요하다. 본 연구에서는 자외 영역에서부터 근적외 영역에 걸쳐 연속 스펙트럼을 발생하는 펄스 형태로 구동하는 Xenon 플래쉬램프를 광원으로 사용하였다. CW 광원에 비해 펄스 광원이 가지는 장점은 매질에 조사될 때의 순간 피크 출력(Peak Power)이 크므로 출력 수광부에서 큰 신호를 얻을 수 있어 신호대잡음비를 크게 개선시킬 수 있다. 본 실험에서는 글루코즈에 큰 흡수를 가지는 1689 nm 파장을 신호광으로 사용하였으며 기준(reference)광으로는 1200 nm와 1300 nm의 두 파장을 사용하였다. 그림 1은 Intralipid 1% 글루코즈 수용액의 농도별 투과특성을 측정하기 위한 실험장치도를 보여준다. 본 시스템은 크게 플래쉬램프 및 구동회로부, 4채널 수광부(Fiber Bundle), 집속 및 시준용 광학계 및 검출기로 구성되어 있다. 사용된 파장들이 NIR 영역이므로 램프 광으로부터 UV 및 가시광선부는 필터를 사용하여 차단하였다. 렌즈를 통해 샘플 셀로 집속된 광은 Intralipid 1% 글루코즈 수용액에서 흡수 또는 다중 산란된다. 그리고 투과된 광은 코아 직경 800 μm의 다중모드 광섬유 여러가닥의 조합으로 제작된 4채널 Fiber Bundle 수광부로 입사된다. 광섬유 끝단에서는 먼저 렌즈에 의해 평행하게 시준되고, 대역투과필터(10 nm 대역폭)를 통해 파장이 선택되어진 후 렌즈에 의해 InGaAs 검출기로 집속된다. 샘플을 통과한 뒤의 파장별 광량은 매우 미약하므로 10^5~10^7 V/A 이득을 가지는 증폭기(Hamamatsu C4159-03)를 통해 증폭된 후 오실로스코프(LcCroy 9374L)로 보내져 채널별로 동시에 저장된다. 플래쉬램프의 광량은 펄스마다 또는 시간이 지남에 따라 변동하므로, 이를 보상하기 위해 램프광이 샘플을 통과하기 전에 일부의 광을 광섬유로 보내 램프 자체의 광량 변화의 기준(Reference)광으로 사용하였다. 데이터 분석시에 채널별 광량을 기준광량으로 나누어 주는 정규화(Normalization) 과정을 거침으로써 램

프 자체의 변동이 신호광량에 미치는 영향을 최소화하였다.

그림 2는 글루코즈 농도를 150 mg/dl씩 증가시켰을 때에 얻어진 3파장별 투과 광량 변화를 보여준다. 한 농도에 대해서는 수신된 10개를 데이터를 평균하여 분석하였다. 그림 2에 나타난 것처럼 각 파장별로 선형 Fitting한 결과 글루코즈 농도가 증가함에 따라 투과되는 광량의 변화 정도를 확연히 구분할 수 있음을 알 수 있다. 각 파장별 측정 결과를 글루코즈의 농도가 0 mg/dl일때의 값을 1로 설정하여 얻은 상대적인 변화량을 비교하면, 1200 nm와 1300 nm에 비해 글루코즈에 큰 흡수를 가지는 1689 nm의 경우 농도별 광량 변화차가 크므로 글루코즈 성분 농도를 예측하기가 용이함을 알 수 있다.

본 실험을 통해 글루코즈 농도가 증가함에 따라 글루코즈의 흡수계수는 커지나, 상대적인 물의 양이 줄어듬에 따라 발생하는 산란계수에서의 감소로 인해 오히려 투과 광량은 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 700 - 2500 nm 의 근적외 영역에서는 글루코즈에 대한 흡수 대역이 넓게 분포되어 있으며, 물에 대한 넓은 배경 스펙트럼에 비해 글루코즈 흡수 피크 값이 상대적으로 작기 때문에, 이러한 영향을 최소화하기 위한 방법에 관한 지속적인 연구가 필요하다.

1. R.J. McNichols, G.L. Cote, "Optical glucose sensing in biological fluids: an overview," J. of Biomedical Optics 5(1), 5-16 (2000).

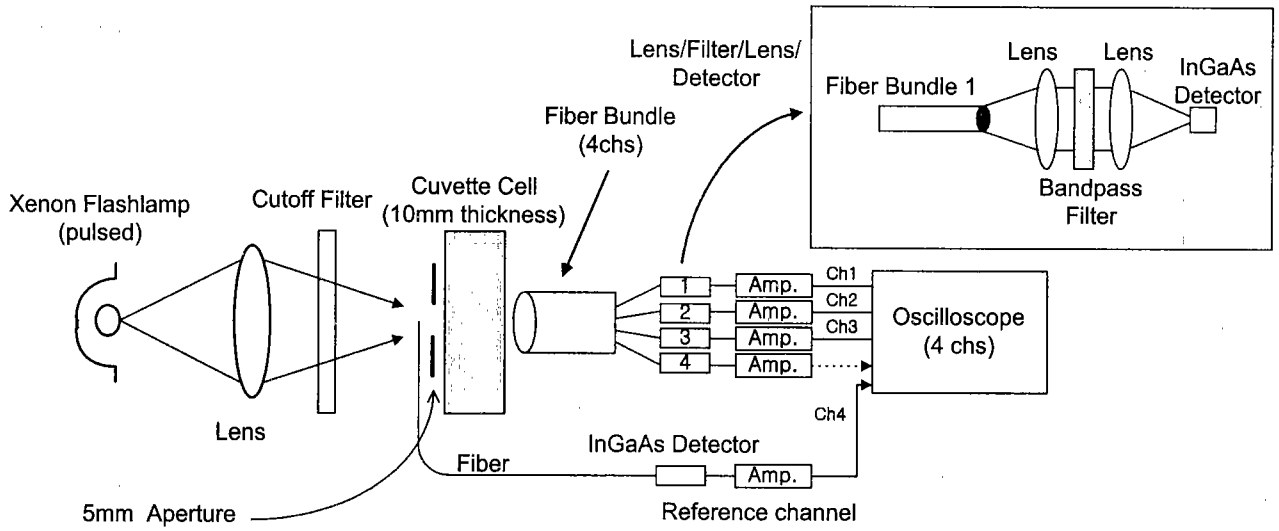

그림 1. 실험장치도.

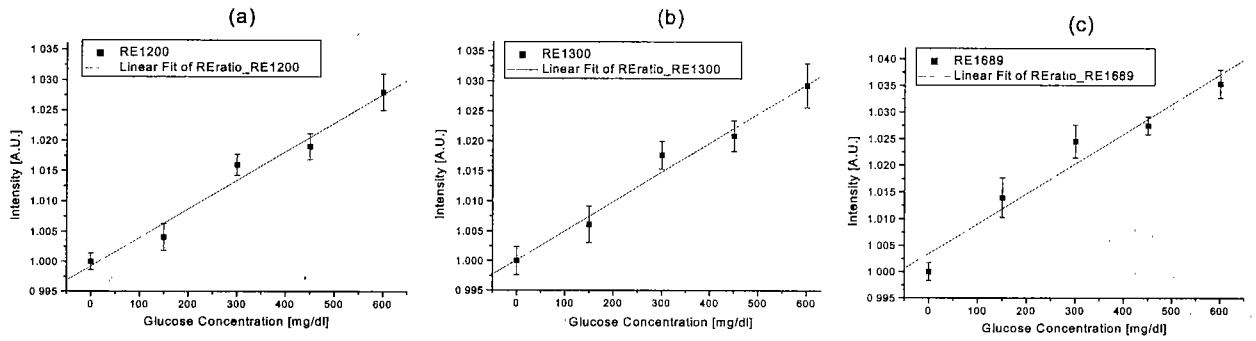

그림 2. 글루코즈 농도 변화에 따른 투과광량 변화 (a) 1200 nm, (b) 1300 nm, (c) 1689 nm.