

복수 개의 광파장에 대한 상대적 흡광 특성을 이용한 글루코스 농도 측정

김기도 · 손근식 · 임성수 · 이상신[†]

광운대학교 전자공학과

☎ 139-701 서울특별시 노원구 월계동 447-1

(2008년 11월 14일 받음, 2008년 12월 10일 수정본 받음, 2008년 12월 11일 게재 확정)

본 논문에서는 복수 개의 측정 광파장 대역에서의 글루코스 수용액의 상대적인 흡광 특성을 이용한 글루코스 농도 예측 방법을 제안하고 검증하였다. 각 측정 파장에서의 상대적인 흡광도는 기준 파장에서의 흡광도를 기준하여 얻어진다. 선정된 기준 파장(1310 nm)과 네 개의 측정 파장(1064, 1550, 1685, 1798 nm) 대역에서는 글루코스에 대한 흡광도가 서로 반대의 부호를 갖도록 하였으며, 이 특성은 측정 정확도를 높이는 데 도움이 된다. 최종적인 글루코스 수용액의 예측 농도는 각 측정 파장에서 얻어진 예측 값의 평균으로 결정된다. 5 mm의 광경로와 0~1000 mg/dL 농도 범위에서 실제로 측정된 글루코스의 흡광도를 살펴보면, 기준 파장 1310 nm에서는 -1.42×10^{-6} AU/(mg/dL), 측정 파장 1685 nm에서는 $+8.12 \times 10^{-6}$ AU/(mg/dL)로 최대였다. 그리고 제안된 방법을 이용하여 글루코스 용액의 농도를 예측할 경우 얻어진 표준예측오차(SEP: standard error of prediction)는 ~ 28 mg/dL였다.

또한, 온도와 지방층이 글루코스 농도 측정에 미치는 영향을 조사하였다. 먼저 26~40°C 온도 범위에서 측정된 흡수량 변화율은 기준 파장 1310 nm에서 -9.1×10^{-5} AU/°C 였고, 측정 파장 1550 nm에서 -2.08×10^{-2} AU/°C 였다. 그리고 글루코스 수용액에 존재하는 지방층 두께에 따른 흡수량 변화율은 1685 nm 파장 대역에서 $+1.093$ AU/mm로 측정되었다.

주제어: Glucose sensor, Absorption, Absorbance, Spectroscopy, Optical spectrum

I. 서 론

최근에 서구화된 식생활, 운동 부족, 고령화 등으로 인하여 당뇨병 발병률이 급속히 증가하고 있다.^[1] 당뇨병 여부를 판단하고 이를 효과적으로 관리하기 위해서는 혈당 수치를 결정하는 혈액 속의 글루코스 농도를 모니터링하는 것이 필수적이다. 채혈 방식의 글루코스 농도 측정은 고통, 감염의 위험, 스트립으로 인한 비용 부담 등의 문제점이 있다. 반면에 무채혈 또는 체액을 이용한 방식의 농도 측정은 채혈 방식의 문제점을 해결할 수 있는 대안으로서 활발히 연구되어 오고 있다. 패치를 이용한 인체 수용액 내의 글루코스 추출, 센서의 인체 이식, 광전달 특성 분석 등의 방법이 있다.^[2-4] 이 중에서 혈액의 광투과 및 광반사 특성을 이용한 글루코스 농도 측정은 완전한 의미의 무채혈 방법이다.^[5] 한편, 가장 널리 연구되어 온 연속적인 일정 스펙트럼을 이용한 분광법 기반의 농도 측정 방법은 분광기의 사용으로 인하여 크기가 커서 휴대용으로 적절하지 않으며, 가격이 높고, 연속적인 넓은 광파장 대역을 이용하기 때문에 측정 시간이 오래 걸리는 등의 문제점을 갖고 있다.

본 논문에서는 기존의 분광법에서 도입된 연속적인 광파장 대역 대신에 복수 개의 특정 광파장만을 사용하여 글루코스 농도를 측정할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 즉, 한 개의 기준 파장(reference wavelength)과 여러 개의 측정 파장(probe wavelength)을 선택하고, 기준 파장 대비 각 측정 파장의 상대적인 글루코스 흡광도(absorbance: 글루코스 농도 변화에

따른 흡수량 변화율)를 이용하여 글루코스 농도를 예측한다. 특히, 각 측정 파장 간의 흡광도 차이가 클수록 농도 예측 정확도가 높아지는데, 이를 위해 기준 파장은 글루코스 흡광도가 음인 광파장을 선택하고 측정 파장은 흡광도가 양인 광파장을 선택하였다. 여기서 흡광도가 음이라는 것은 글루코스 농도가 0 mg/dL일 때의 흡수량을 기준으로 글루코스 농도가 늘어날수록 흡수량이 감소함을 의미한다. 이와 같은 현상은 물 대체 효과(water displacement effect) 때문이다. 즉, 일부 적외선 파장 대역에서 용액인 물의 흡수도가 용질인 글루코스의 흡수도보다 크기 때문에 글루코스 농도가 증가할수록 물이 글루코스로 대체되어 전체적으로 흡수량이 감소하게 된다. 한편, 특정 광파장에 대한 절대적인 흡수량을 기반으로 농도를 예측할 경우, 광원 자체의 광파워 변화가 측정 오차를 유발한다.^[6] 반면에 제안된 방법의 경우에는 광대역 램프에 특정 광파장 대역의 필터가 결합된 광원을 도입함으로써 광파워의 변화가 존재하는 경우에도 농도 예측 시 오차를 효과적으로 제거할 수 있을 것이다. 또한 주변 온도와 인체 구성 대표 물질 중의 하나인 지방층이 글루코스 수용액의 광투과 특성에 미치는 영향을 조사함으로써, 향후 이들로 인한 농도 측정 시 오차를 효과적으로 제거할 수 있도록 하였다.

II. 제안된 글루코스 농도 예측 방법

제안된 글루코스 농도 예측 방법은 각 광파장마다 글루코스 흡광도가 다른 특성을 이용한다.^[7] 글루코스를 포함한 용액의 흡광도는 글루코스 농도에 따른 흡수량 변화를 나타낸

[†]E-mail: slee@kw.ac.kr

다. 즉, 글루코스 용액의 흡수량 A 는 Beer's law에 따라 $A = -\log \frac{I_o}{I_i} = \alpha LC$ 로 주어진다. 여기서 I_i 는 입력 광파워, I_o 는 출력 광파워, L 은 광경로 길이(용액 두께), C 는 글루코스 농도, 그리고 αL 은 흡광도이다. 특히, 흡광계수(absortivity) α 는 광파장 λ 에 의존한다. 한편, 글루코스 농도가 충분히 낮은 경우에 흡수량은 농도에 따라 선형적으로 변한다고 알려져 있다.^[8]

그림 1은 네 개의 광파장 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 에 대한 글루코스 농도에 따른 흡수량의 관계를 나타낸다. 글루코스 농도를 측정함에 있어 단일 파장만의 특성을 이용할 경우, 글루코스 농도 변화에 대한 흡수량 변화는 그 파장만의 특성에 한정되므로 미세한 글루코스 농도 측정에 한계를 가진다. 이 한계를 극복하기 위해 글루코스 농도 변화에 따른 흡수량 변화를 최대한 크게 해주는 것이 측정에 유리하다. 단일 파장의 글루코스 특성을 변화시키는 것은 쉽지 않으므로 2개 파장의 특성을 사용하여 흡수량 변화를 최대화 시키는 방법을 이용한다. 글루코스 농도 변화에 대한 각 파장의 흡수량 변화는 동일하게 증가하는 파장도 있지만, 오히려 감소하는 파장도 존재한다. 여기서, 흡광도가 음인 λ_0 는 기준 파장, 흡광도가 양인 나머지 광파장 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 은 측정 파장으로 선택하여 이들 간의 상대적인 흡광도 차이를 증가시킴으로써 농도 측정 성능을 향상시키고자 하였다. 서로 반대되는 흡광도를 가지는 파장은 농도가 증가함에 따라 흡수량의 차이가 파장간의 흡광도를 더한 만큼 증가하기 때문에 흡수량 변화를 최대화시키는 것이 가능하다. 이를 통해 특정 농도에 대한 기준 파장과 각 측정 파장 간의 흡수량 차이로부터 글루코스 농도 예측이 가능하다. 글루코스 농도 측정에 사용된 측정 파장은 항상 동일한 오차를 가지고 측정되지 않는다. 각 측정 파장에서 예상치 못한 문제로 인한 오차를 최소화 하기 위해 다수의 측정 파장으로부터 얻어진 농도 예측 결과를 평균하여 최종 예측 농도로 결정하였다.

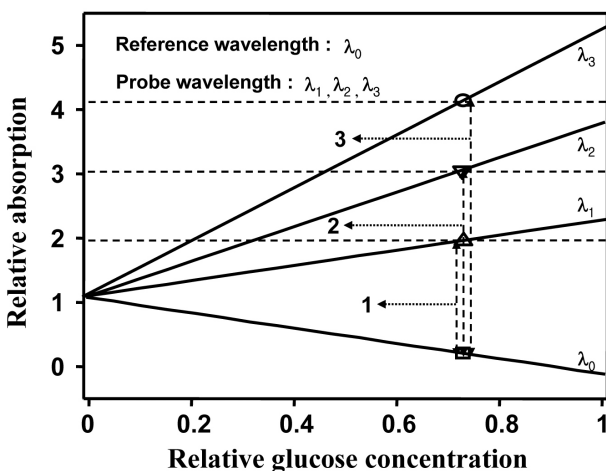


그림 1. 제안된 글루코스 농도 예측 방법.

III. 글루코스 용액의 광투과 특성 측정 및 결과

먼저 글루코스 농도 예측에 사용될 기준 파장과 측정 파장을 선정하기 위하여 글루코스 용액의 광투과 스펙트럼을 조사하였다. 그림 2는 분광기(Shimadzu사 UV-3101PC)로 측정된 300~3200 nm 파장 대역에서의 글루코스 농도에 따른 흡수 스펙트럼을 보여준다.^[9,10] 여기서 글루코스 용액의 농도는 증류수(DI water)에 글루코스를 첨가하여 0~50 g/dL 범위에서 변화시켰다. 그림 2의 결과로부터 1100~1400 nm 광파장 대역에서는 농도가 증가함에 따라 흡수량이 감소(흡광도가 음)하고 이외의 대역에서는 증가(흡광도가 양)함을 알 수 있었다. 이로부터 단일 파장으로 사용이 용이하고 인체에 대한 투과도가 높다고 알려진 1310 nm를 기준 파장으로 결정하였으며,^[11] 측정 파장은 비교적 큰 흡광도를 나타내는 1550 nm, 1685 nm, 1798 nm를 선정하였다. 추가로 글루코스 흡광도가 매우 작고 물에 대한 흡수도 적기 때문에 글루코스 농도 측정 시 다른 요인들의 변화를 확인하여 보정하기에 용이할 것으로 사료되는 1064 nm 파장을 선정하였다.

다음으로 그림 3에 나타난 장치치를 이용하여 기준 및 측정 파장 대역에서 글루코스 농도에 따른 광투과 특성을 조사하였다. 사용된 광원은 300~2400 nm 파장 대역을 갖는 텅스텐 할로겐 램프이고, 글루코스 용액을 투과한 광은 InGaAs 광검출기를 이용하여 측정하였다. 특히, 램프 다음에 각 광파장만을 투과시키는 약 20 nm 대역폭을 갖는 필터가 사용되었다. 글루코스 용액 농도는 증류수에 글루코스를 첨가하여 0~1000 mg/dL 농도 범위에서 단계적으로 변화시켰다. 그림

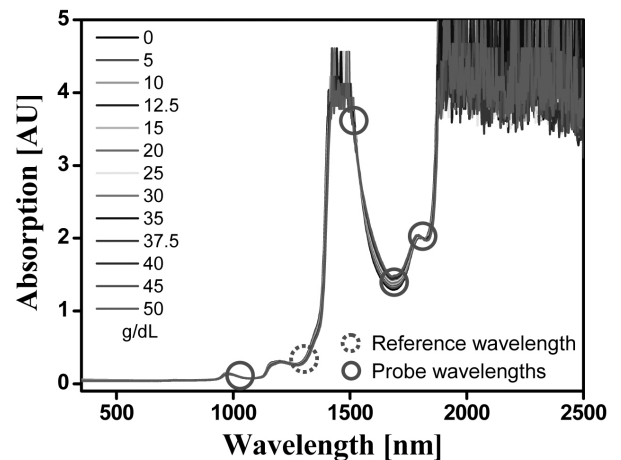


그림 2. 글루코스 수용액의 광흡수 스펙트럼.

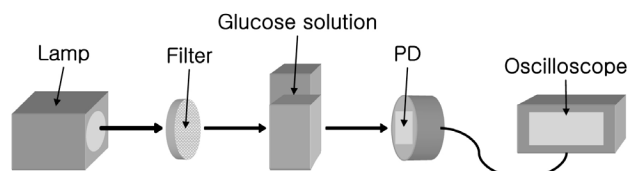


그림 3. 글루코스 광흡수 측정 장치도.

4(a)는 선택된 각 광파장에서의 글루코스 농도에 따른 흡수량 변화를 보여주고, 그림 4(b)는 각 광파장별 흡광도를 나타낸다. 기준 파장 1310 nm는 -1.42×10^{-6} AU/(mg/dL)로 흡광도가 변함을 확인할 수 있었다. 측정 파장 중에 1685 nm에 대한 흡광도는 $+8.12 \times 10^{-6}$ AU/(mg/dL)로 최대였으며, 1064 nm 파장 대역에서는 흡광도가 $+7.19 \times 10^{-8}$ AU/(mg/dL)로 거의 변화가 없음을 확인할 수 있었다. 기준 파장인 1310 nm의 흡광도를 적용할 경우, 각 측정 파장의 흡광도가 $+1.42 \times 10^{-6}$ AU/(mg/dL)만큼 증가하는 효과가 나타남을 알 수 있었다.

다음으로 위의 흡광도를 기준으로 제안된 글루코스 농도 예측 방법을 적용한 결과를 확인하였다. 그림 5(a)는 각 측정 파장에 기준 파장의 흡광도를 적용한 상대적 흡광도를 이용하여 글루코스 용액 농도를 예측한 결과이다. 즉, 각 측정 파장의 상대적 흡광도를 통해 흡수량의 선형적인 변화를 기준값으로 결정하고, 임의의 글루코스 용액에 대해 기준 파장과 측정 파장에 대한 흡수량의 차이 값을 구한 후 이를 앞에서 얻어진 기준값에 적용하여 농도를 예측하였다. 그림 5(a)는 실제 농도 대비 각 측정 파장에서 예측된 글루코스 농도를 보

여주며, 여기서 실선은 실제 농도와 예측 농도가 일치하는 경우를 나타낸다. 그리고 그림 5(b)에는 각각의 측정 파장을 이용한 예측에 대한 SEP와 제안된 방법을 적용한 전체 측정 파장에 대한 평균 농도 예측 값을 이용하여 농도를 예측한 경우에 대한 SEP가 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 한 개의 측정 파장만을 이용할 경우에 SEP는 31~47 mg/dL였으며, 각 측정 파장의 평균 농도 예측 값을 이용한 경우에는 SEP가 약 28 mg/dL로 감소하였다. 한편, 1064 nm 측정 파장에 대한 글루코스 흡광도는 무시할 만큼 작기 때문에 글루코스 이외의 다른 요인의 영향을 감지하는데 효과적으로 사용이 가능하다.

다음으로 온도 변화가 글루코스 용액의 광투과 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 측정에 사용된 각 광파장의 온도 변화에 따른 흡수량 변화를 측정하였다.^[12] 온도 변화를 위해 글루코스 용액을 담고 있는 큐벳을 핫플레이트(hot plate)를 이용하여 가열하였다. 온도 변화는 상온 부근(26~40°C)에서 2°C씩 변화시켰다. 이 때 용액의 온도 측정을 위하여 써모커플(thermo-couple)형 온도계를 용액에 삽입하였다. 그림

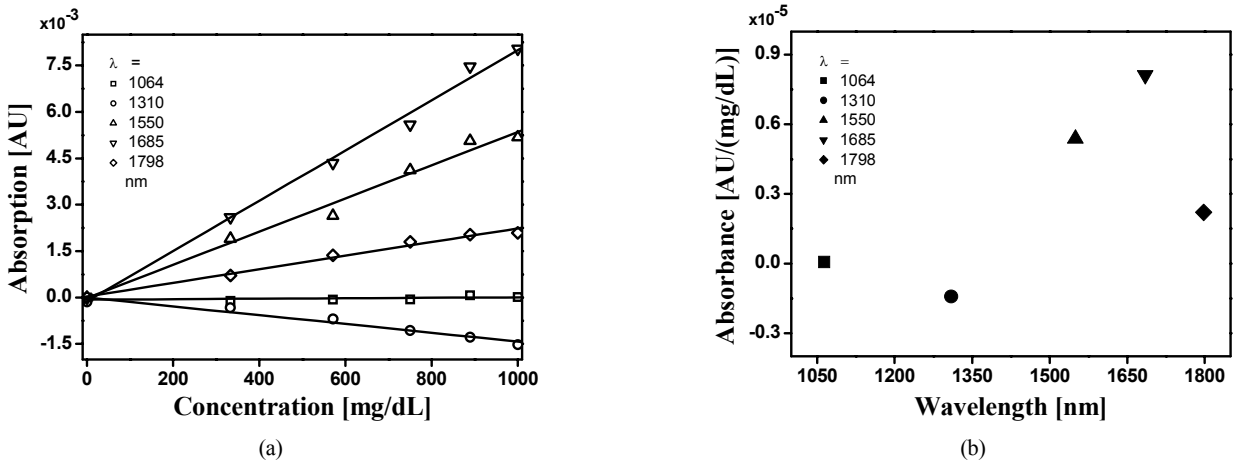


그림 4. 각 파장별 글루코스 수용액의 광흡수 특성 측정 결과 (a) 글루코스 농도에 따른 흡수량 (b) 글루코스 흡광도.

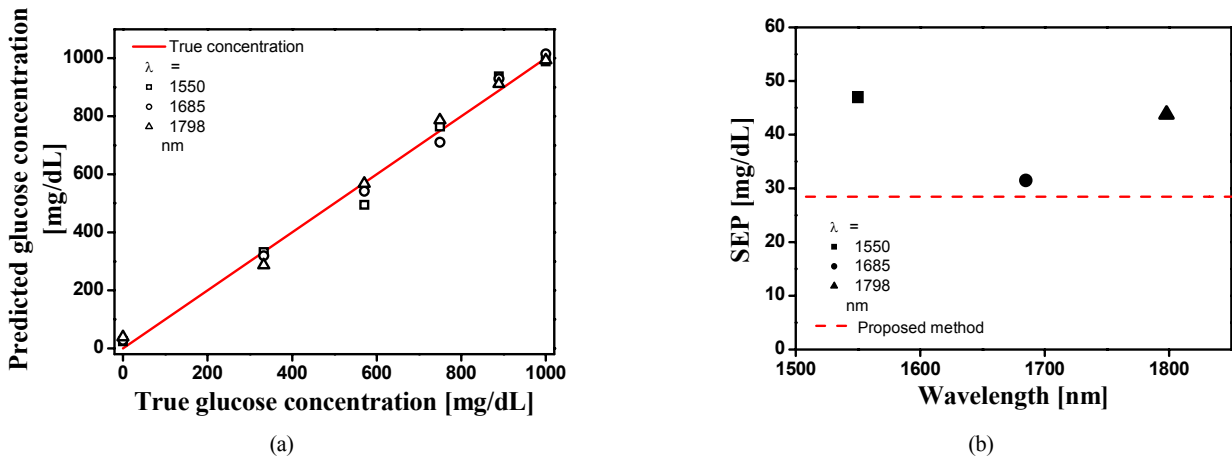


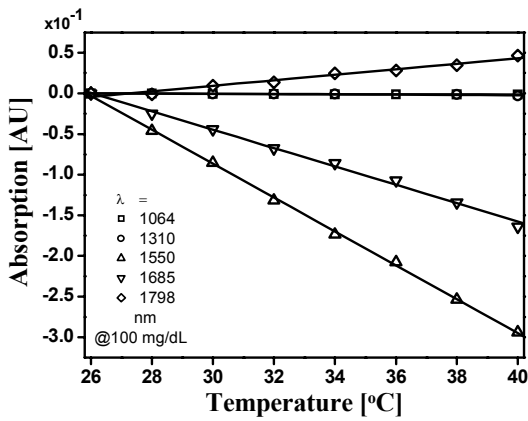
그림 5. (a) 각 측정 파장에서 예측된 글루코스 농도와 실제 농도 비교. (b) 각 측정 파장별 글루코스 농도 예측 시 SEP와 제안된 글루코스 농도 예측 시 SEP.

6(a)는 일정한 농도(100 mg/dL)를 갖는 글루코스 용액을 이용하여 각 측정 파장의 온도 변화에 따른 흡수량 측정 결과를 보여준다. 모든 측정 파장에서 흡수량이 온도 변화에 따라 선형적으로 변함을 알 수 있었다. 그림 6(b)는 각 광파장에 대한 온도 흡수량 변화를 보여준다. 기준 파장 1310 nm와 측정 파장 1064 nm의 온도 흡수량 변화는 각각 -9.1×10^{-4} AU/°C와 -9.19×10^{-5} AU/°C로 가장 작았으며, 측정 파장 1550 nm의 경우에 -2.08×10^{-2} AU/°C로 가장 큰 변화를 나타냈다. 한편, 측정 파장 1064, 1550, 1685 nm에 대해서는 흡수량이 온도가 증가함에 따라 감소하지만, 1798 nm의 경우에는 위와 반대로 흡수량이 증가하였다. 위의 결과로부터 알 수 있듯이 각 광파장에 대한 온도 흡수량 변화가 서로 다르기 때문에, 실제 고정된 글루코스 농도의 경우에도 온도가 변함에 따라 각 광파장에 대한 흡수량이 변하게 되어 결과적으로 농도 예측 시 오차가 유발된다. 1550 nm와 1685 nm 파장에서 글루코스 흡광도를 기준으로 온도 변화를 적용할 경우, 0.1°C 변화에 대해 위의 두 광파장은 각각 389, 139 mg/dL의 오차가 발생함을 알 수 있었다. 각 측정 파장에 대한 온도 흡수량 변화가 큰 오차를 야기하므로 온도를 측정 한 후, 보정하

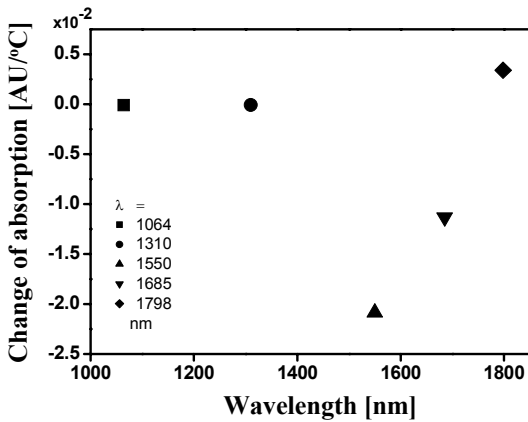
여 글루코스 측정 정확도를 높일 수 있을 것이다.

실제로 온도변화 보정이 글루코스 농도 예측에 미치는 영향을 확인하였다. 먼저 1685 nm 파장 대역에서, 0~5 g/dL 범위의 글루코스 농도를 이용하여 측정하였다. 온도 변화는 기준 온도인 상온 25°C에서 각 농도에 대하여 용액 온도를 약 15°C 정도 범위에서 의도적으로 변화시키면서 용액 온도와 글루코스 흡수량을 측정하였다. 여기서 글루코스 농도 0 g/dL에 대한 온도는 26°C로 측정되었고, 이를 기준 온도로 설정하였다. 각 농도에서 온도 변화에 의해 기준 온도보다 2~7°C 정도 온도가 증가하였다. 그림 7은 온도변화 보정을 하기 전과 한 후의 글루코스 예측 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 온도 보정을 함으로써 농도 예측 정확도를 개선할 수 있음을 확인하였다. 그러나 본 논문에서 수행된 온도 측정의 정확도($\sim 0.5^\circ\text{C}$)가 충분히 높지 못하여 온도 보정 후에도 예측 오차가 존재함을 알 수 있었다. 이를 개선하기 위해서는 온도 측정 정확도를 더욱 향상시킬 필요성이 있다.

마지막으로 제안된 글루코스 농도 예측 방법을 실제 혈당 측정에 사용할 경우, 인체 조직의 영향도 고려하여야 한다. 특히, 지방층 변화는 흡수량에 많은 영향을 줄 것으로 예측된다. 정확한 혈당 측정을 위해 지방층 변화에 따른 흡수량 변화를 측정하였다. 온도 실험과 동일한 글루코스 용액(100 mg/dL)을 이용하여 지방층 두께를 0~2.2 mm 범위까지 변화시키며 흡수량을 측정하였다. 그림 8(a)는 각 측정 파장에 대한 지방층 변화에 따른 흡수량 측정 결과이다. 그림 8(b)는 각 광파장에 대한 지방층 흡수량 변화이다. 기준 파장 1310 nm의 지방층 흡수량 변화는 $+0.637$ AU/mm였다. 측정 파장 1685 nm의 지방층 흡수량 변화는 $+1.093$ AU/mm로 가장 컸고, 1798 nm 파장의 경우에는 $+3.89 \times 10^{-1}$ AU/mm로 가장 작게 측정 되었다. 지방층 변화는 모든 광파장에서 흡수량이 증가하였다. 1685 nm 파장의 경우, 0.1 mm가 변할 때, 약 13 g/dL의 농도 오차를 야기한다. 지방층의 변화는 글루코스 농도 측정에 큰 영향을 미치기 때문에 반드시 보정을 통해 오차를 줄여주어야 한다. 이외에 지방층은 투과와 반사, 산란이 동시에 일어나므로 추가 실험을 통해 복합적인 적용이 요



(a)



(b)

그림 6. 각 선택 파장별 온도 변화에 따른 (a) 글루코스 흡수량 (b) 글루코스 흡수량 변화율.

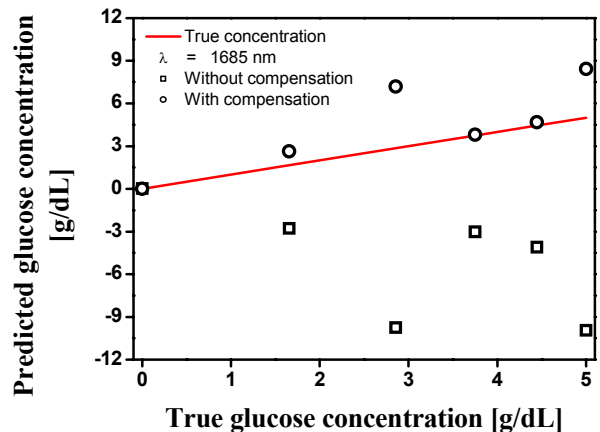
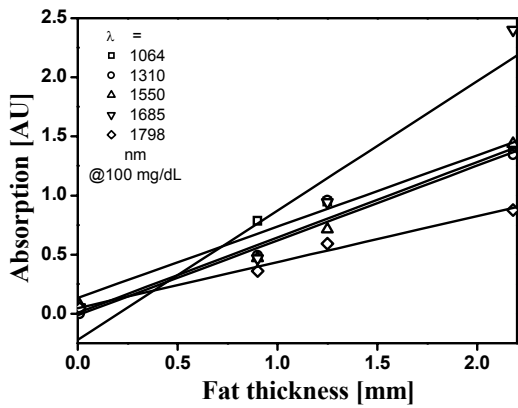
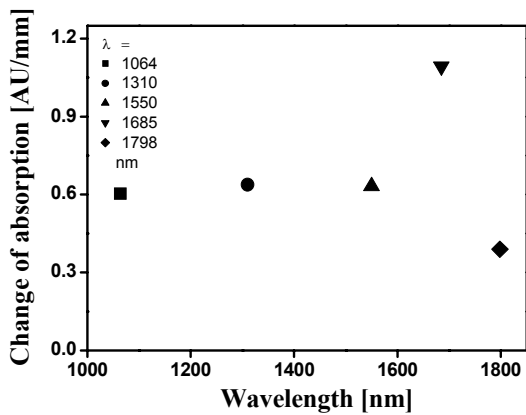


그림 7. 온도변화 보정 전후의 글루코스 농도 예측 비교.



(a)



(b)

그림 8. 각 선택 파장별 지방층 두께에 따른 (a) 글루코스 흡수량 (b) 글루코스 흡수량 변화율.

구된다. 한편, 위의 실험을 통해 온도와 지방층 변화처럼 실제 고정된 글루코스 농도의 경우에도 각 광파장에 대한 흡수량 변화가 유발되어 오차가 발생함을 알 수 있었다. 보다 정확한 농도 예측을 위해서는 측정의 오차를 유발하는 각 요인들의 흡수량 변화를 측정하여 보정해주어야 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 복수 개의 광파장에 대한 상대적 흡광도를 이용한 글루코스 농도 예측 방법의 제안과 구현, 온도와 지방층 변화에 따른 각 광파장별 흡수량 변화를 측정하였다. 글루코스 농도 예측 방법은 기준 파장과 측정 파장을 선택하여 글루코스 농도에 따라 각 광파장간의 흡광도가 다름을 이용하였다. 각 광파장별 흡광도에 온도와 지방층 변화의 영향으로 생기는 흡수량 변화를 적용하여 더 정확한 혈당 측정이 가능함을 알 수 있었다. 이 측정 방법은 단일 파장들을 측정 광원으로 사용하여 소형 집적화가 가능하고, 휴대폰과 다른 기기에 접목이 가능하다. 이 장점들을 통해 유비쿼터스 시대에 많은 활용이 예상된다. 그러나 특정 광파장을 기반으로 하는 제안된 센서를 실제 인체에 적용할 경우에는 글루코스

이외의 혈액 구성 물질(헤모글로빈 등), 피부, 습도 등의 요인으로 인하여 글루코스만을 선택적으로 감지할 수 있는 능력이 아직 결여되어 있다.

감사의 글

본 연구는 「서울시 산학연 협력사업」의 신기술 지원사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] S. M. Benjamin, D. B. Rolka, R. Valdez, K. M. Venkat Narayan, and L. S. Geiss, "Estimated number of adults with prediabetes in the U. S. in 2000," *Diabetes Care*, vol. 27, no. 3, pp. 645-649, 2003.
- [2] Y. J. Kim, G. W. Yoon, and K. J. Jeon, "Influence of other blood components in predicting glucose concentration using design of experiment," *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 22, no. 6, pp. 497-502, 2001.
- [3] T. C. Dunn, R. C. Eastman, and J. A. Tamada, "Rates of glucose change measured by blood glucose meter and the GlucoWatch Biographer during day, night, and around mealtimes," *Diabetes Care*, vol. 27, no. 9, pp. 2161-2165, 2004.
- [4] M. J. McShane, R. J. Russell, M. V. Pishko, and G. L. Cote, "Glucose monitoring using implanted fluorescent microspheres," *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 19, issue 6, pp. 36-45, 2000.
- [5] K. J. Jeon, I. D. Hwang, S. J. Hahn, and G. W. Yoon, "Comparison between transmittance and reflectance measurements in glucose determination using near infrared spectroscopy," *J. Biomed. Opt.*, vol. 11, issue 1, pp. 014022-1-014022-7, 2006.
- [6] Y. Mendelson, A. C. Clermont, R. A. Peura, and B. Lin, "Blood glucose measurement by multiple attenuated total reflection and infrared absorption spectroscopy," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 37, no. 5, pp. 458-465, 1990.
- [7] J. W. Y. Chung, K. L. Fan, T. K. S. Wong, S. C. H. Lam, C. C. Cheung, C. M. Chan, and Y. K. Lau, "Method for predicting the blood glucose level of a person," US Patent, US20060253008 A1.
- [8] S. J. Hahn, G. W. Yoon, G. Kim, and S. H. Park, "Reagentless determination of human serum components using infrared absorption spectroscopy," *J. Opt. Soc. Korea*, vol. 7, no. 4, pp. 240-244, 2003.
- [9] H. J. Kim, Y. A. Woo, S. H. Chang, C. H. Cho, K. Cantrell, and E. H. Piepmeier, "Fundamental investigation of non-invasive determination of glucose by near infrared spectrophotometry," *Analytical Science & Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 47-53, 1998.
- [10] I. Gabriely, R. Wozniak, M. Mevorach, J. Kaplan, Y.

- Aharon, and H. Shamoon, "Transcutaneous glucose measurement using near-infrared spectroscopy during hypoglycemia," *Diabetes Care*, vol. 22, no. 12, pp. 2026-2032, 1999.
- [11] V. Saptari and K. Youcef-Toumi, "Design of a mechanical-tunable filter spectrometer for noninvasive glucose measurement," *Appl. Opt.*, vol. 43, no. 13, pp. 2680-2688, 2004.
- [12] H. Cui, L. An, W. Chen, and K. Xu, "Quantitative effect of temperature to the absorbance of aqueous glucose in wavelength range from 1200 nm to 1700 nm," *Opt. Exp.*, vol. 13, no. 18, pp. 6887-6891, 2005.

Prediction of the Glucose Concentration Based on Its Optical Absorbance at Multiple Discrete Wavelengths

Ki-Do Kim, Geun-Sik Son, Seong-Soo Lim, and Sang-Shin Lee[†]

Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, 447-1 Wolgye-Dong Nowon-Gu, Seoul 139-701, Republic of Korea

[†]E-mail: slee@kw.ac.kr

(Received November 14, 2008; Revised manuscript December 10, 2008; Accepted December 11, 2008)

A scheme for predicting the concentration of a glucose solution based on its relative optical absorbance at multiple probe wavelengths was proposed and verified. The relative absorbance at each of the probe wavelength was obtained with respect to the absorbance at a reference wavelength. The single reference wavelength (1310 nm) and a group of four different probe wavelengths (1064, 1550, 1685, 1798 nm) were selected to exhibit the glucose absorbance with opposite signs, thereby enhancing the accuracy of the prediction. The final glucose concentration was estimated by taking the average of the predicted values provided by the four probe wavelengths. The absorbance of the glucose solution for the path length of 5 mm was -1.42×10^{-6} AU/(mg/dL) at the reference wavelength of 1310 nm and peaked at $+8.12 \times 10^{-6}$ AU/(mg/dL) at 1685 nm. The concentration of the glucose solution was decently predicted by means of the proposed scheme with the standard error of prediction of ~ 28 mg/dL.

In addition, the influence of the ambient temperature and the fat thickness upon the prediction of the glucose concentration was examined. The absorption change with the temperature was -9.1×10^{-5} AU/°C in the temperature range of 26~40°C at the reference wavelength, and -2.08×10^{-2} AU/°C at 1550 nm. And the absorption change with respect to the fat thickness was $+1.093$ AU/mm at the probe wavelength of 1685 nm.

OCIS codes: (170.0170) Medical optics and biotechnology; (170.3890) Medical optics instrumentation; (170.4580) Optical diagnostics for medicine; (300.0300) Spectroscopy; (300.1030) Absorption.