

총헤모글로빈 진단기 개발을 위한 프로브 측정조건의 결정

Probe Design for Total Hemoglobin Measurement

김수진, 전계진, 박건국, 윤길원
 삼성종합기술원 M-응용 프로젝트 팀
 gyoon@sait.samsung.co.kr

본 연구에서는 실험방법론 중 하나인 다구찌 방법론을 적용하여 총헤모글로빈의 농도를 예측하기 위한 비채혈식 빈혈진단 장치의 센서부(프로브)에 대한 측정조건을 결정하여 기기의 성능특성치에 영향을 주는 인자들을 배치하여 실험을 실시하고 신호대잡음비의 비교를 통해 프로브의 최적 측정조건을 도출하고 그 조건이 재현성이 있는 결과인지 확인하였다.

I. 서론

헤모글로빈은 적혈구의 가장 중요한 기능인 산소운반 역할을 한다.^[1] 총헤모글로빈(tHb, total Hemoglobin)의 농도를 측정하는 비채혈식 진단장치는 측정자의 손가락에 부착되는 광원(LED) 및 광검출기(Photodiode)로 구성된 센서부(프로브)와 마이크로프로세서를 중심으로 한 LED 구동회로 및 광신호 처리부 그리고 PC 인터페이스부의 시스템으로 구성되어 있다. 프로브의 PD에서 검출된 광신호는 마이크로프로세서에 입력되고, 처리과정을 통해 혈관의 맥동성분에 의한 각 파장별 광 흡수량이 계산된다. 하지만, 신호획득시의 실광에 의한 간섭이나 손가락 움직임 등의 오차요인에 의한 영향이 커서 in vivo test 결과를 바탕으로 한 정확하고 잡음에 강한 농도예측모델을 만들기가 어렵고, 이런 요인은 손가락에 부착되어 측정되는 프로브의 조건에 따라 크게 변한다. 본 연구에서는 다구찌 방법론을 활용하여 데이터의 산포를 줄이고 특성치에 유의한 영향을 주는 인자들의 평균치가 목표치에 근접하도록 개선시키고자 프로브의 측정조건에 유의한 인자들의 최적조건을 구함^[2]으로써 측정시스템의 정확도와 Robustness를 개선시키고자 하였다.

II. 실험방법 및 측정

1. 총헤모글로빈농도의 측정 원리

인체에 조사된 빛은 뼈, 생체조직 등의 비 맥동성분과 동맥혈의 맥동성분에 의해 흡수된다. 투과광의 세기(I_p , I_v)로부터 총헤모글로빈에 대한 광흡수 특성을 갖는 각 파장별 맥동성분(AC , $I_p - I_v$)과 비 맥동성분(DC , $(I_p + I_v)/2$)을 구할 수 있는데, 비 맥동성분에 대한 맥동성분의 비(Ratio)는 동맥혈 속에 존재하는 헤모글로빈에 대한 빛의 흡수를 나타낸다.^[3] 모두 5가지 파장에 대한 Ratio값을 얻고, 다시 두 파장의 비($R_{\lambda_1}/R_{\lambda_2}$)를 구하여 총헤모글로빈의 농도예측을 위한 변수로 사용하였다. 본 실험에서는 총헤모글로빈의 농도예측 변수로 569nm와 805nm 두 파장의 비(R_{569}/R_{805})를 사용하였다.

2. 인자설정 및 실험배치

다구찌 방법론에서는 기기의 성능특성에 유의한 영향을 미치는 적절한 제어인자와 기기의 robustness 달성에 적합한 잡음인자를 선정하는 것이 매우 중요하다. 제어인자로는 외부광의 간섭효과에 의한 영향을 고려하여 Probe의 내부색(흰색과 짙은 회색), 광조사부 및 검출부의 크기를 고려하여 detector 감응

면적의 크기 및 사용되는 569파장의 LED의 개수, 사람마다 다른 손가락 두께 효과를 보상하기 위한 광원과 광검출기 사이의 거리조절여부의 4가지로 인자를 선택하였다. 잡음인자로는 프로브에 손가락을 재워치시키면서 반복측정을 하는 경우로 정하고 이와 같은 인자들로 배치된 8가지 실험 조건에서 tHb농도(신호인자)가 다른 5명이 잡음인자의 수준에 따라 반복 측정하여 R_{569}/R_{805} 의 출력 데이터를 얻었다.

III. 결과 및 토의

데이터의 분석 소프트웨어는 MINITAB(Ver. 13.1)을 사용하였다. 다구찌 기법에서는 산포의 특성치로 신호대잡음비(SN비)를 사용한다. 그림 1은 각 4가지 인자들의 수준에 따른 SNR 비를 나타내었다. SN비의 경우, 기울기가 클수록 유의한 인자이며 각 인자에서는 SNR값이 큰 수준이 좋은 조건이다.

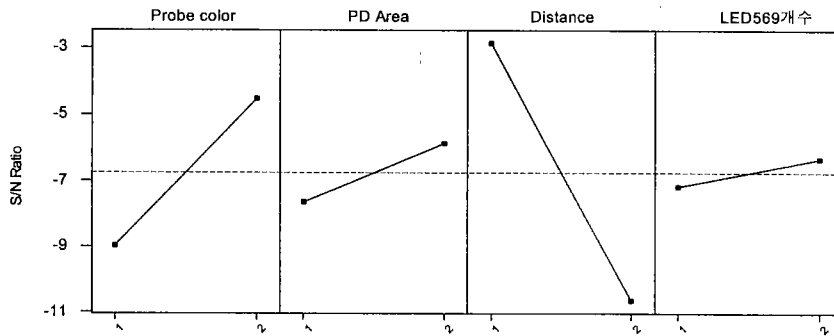


그림 1. Main Effects for S/N Ratios

그림 1에서 SN비에 가장 큰 영향을 주는 인자는 LED와 PD사이의 거리 인자이며, 각 인자별 최적조건은 Probe 색은 짙은 회색(2수준)의 경우가, PD의 면적을 작게 한 경우(2수준), 거리는 손가락 두께별로 조절하는 경우(1수준), 569LED점등개수는 3개인 경우(2수준)가 가장 산포를 최소화시키는 조건이라는 결과를 얻을 수 있었고, Slope값의 비교에서도 각 인자별 절대값이 큰 수준이 SN비가 큰 조건과 동일하였다. 또한, 위에서 얻은 최적조건이 재현성이 있는 결과인지의 확인실험을 실시하여 SN비의 값을 비교하여 재현성이 있음을 판단할 수 있었다. 추가로 R_{569}/R_{805} 외에 tHb농도예측시 유의한 다른 파장의 비, R_{940}/R_{975} 를 변수로 사용하여 분석한 결과에서도 위와 같은 최적 조건을 얻을 수 있었다.

IV. 결론

비채혈식 총헤모글로빈의 농도측정 시스템에서 프로브의 최적 측정조건을 결정하기 위해서 동특성 다구찌 방법론을 적용하여 실험을 수행하였다. 중요한 인자들을 결정하고 조합하여 실험계획에 따라 실시하여 8가지 조건에서 R_{569}/R_{805} 값을 얻고 통계 S/W인 MINITAB을 이용하여 분석하였다. 결과, 신호대잡음비(SNR) 및 Slope 값으로부터 우수한 제어인자의 수준은, Probe 내부색은 회색의 경우가, 광검출부(PD)의 면적을 줄인 경우, LED와 PD사이의 거리는 손가락 두께에 맞게 조절하는 경우, 569LED점등개수는 줄여서 사용하므로써 광조사 면적을 작게 한 경우가 프로브의 최적 조건임을 알 수 있었다. 이와 같은 과정을 통해 얻어진 최적조건에서 측정된 결과로부터 정확성과 Robustness가 우수한 농도예측모델을 만들 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김정진 저, 생리학 (고문사, 1993) p.70
- [2] 박성현 저, 품질공학 (민영사, 1997) p.279-281
- [3] J. G. Webster, *Design of Pulse Oximeter*, (Institute of Physics Publishing, 1997), Chapter1,4,9.