저가형 요분석 시스템의 다중 광 검출 모듈개발

예수영 · 전용욱 · 정도운 · 전계록 · 노정훈*

Development of multi-colorimeter module for low-cost urinalysis strip readers

Soo-Young Ye, Yong-Uk Jeon*, Do-Un Jeong**, Gye-Rok Jeon***, and Jung-Hoon Ro****†

Abstract

An optic module system is developed adopting multiple colorimetry units for the measurement of multi-pad urinalysis dipsticks. Multiple photometry system instead of moving mechanisms has the advantages of system reliability and simplicity as well as economic aspects due to the recent development of economic color light emitting diodes and stable photo sensors. An integration amplifier with programmable integration time, a current source circuit with selectable and stable current settings were connected through analog multiplexers to thirty light emitting diodes for illumination and ten photo transistors for reading each strip pad. All the circuits are controlled by a microprocessor through a simple set of serial communication commands. The detect ability is eighteen times better than the minimum color difference of the test grading which is 0.013 in urobilinogen in the color space defined in this paper.

Key Words : urine analysis, multi-colorimeter, multi-pad urinalysis dipsticks

1. 서 론

요(尿, 소변, urine) 검사는 환자에게 고통을 주지 않으면서 손쉽게 채취가 가능하여 질환의 진단 및 검사 재료로서의 가치가 크므로, 각종 질환의 진단에 필수적으로 실행하는 루틴검사로 인식되고 있다^[1]. 또한 요검사는 질환 전·후의 환자 상태를 지속적으로 관찰함으로써 질환의 진단과 예후 등에 중요한 지표로 삼을 수 있으므로^[2], 재택건강관리(home healthcare)에 대한 관심이 높아진 현대에 있어 가정용 의료기기로서의 관심이 높아지고 있다.

건습 시약에 대한 반사광 측정방법에 의해 임상화학용 자동분석 장치를 구현하여 육안비색법과 비교 평가를 수행하여 검사장비의 안정성을 평가하였다^[5]. 자동

요 검사 기기를 개발하고 요 검사 11가지 항목에 대한 정도관리를 수행한 바 있으며^[6], 색도 좌표 변환 및 분류 기법을 이용한 휴대형 요분석 시스템에 관한 연구가 수행되어 시판된 사례가 있다^[7]. DocUReader (77Electronika, Hungary), UriluxS (Roche, Germany), Uritak (Teco, U.S.A), Clinitak (Bayer, U.S.A) 등 많은 요 분석 시스템이 국외에서도 개발되어 시판된 바가 있으며, 국내에서도 영동전자의 Uriscan Pro와 Meditron사의 Multiscan 720 등의 다양한 종류의 요 분석 시스템이 임상 검사용으로 개발되어 시판되었다. 근래에 들어서 이러한 임상 계측 기기의 발전으로 가정에서도 사용할 수 있는 간편한 요 검사기기에 대한 요구가 커지고 있다. 기존에 개발된 요 분석 시스템은 검사용 스트립의 각 패드 색상을 인식하기 위하여 모터를 사용하거나 검사의 자동화를 위하여 다양한 기능이 내장 되어 있어 고가의 제품들이 대부분이다.

본 연구에서는 저가형으로 휴대가 가능한 소형 장비에 적용할 수 있고, 다중으로 광을 검출하여 스트립의 반사도를 측정할 수 있는 광 모듈을 개발하고자 하였다. 고기능의 소형 마이크로프로세서와 광원으로 사용할 수 있는 다양한 파장대역의 고휘도 발광다이오드(light emitting diode, LED) 및 고감도의 수광용 포토

부산대학교 의학전문대학원 BK21 고급의료인력양성사업단(BK21 Medical Science Education Center, School of Medicine, Pusan National University)
*부산대학교 의학대학 의공학협동과정(Dept. of Interdisciplinary Program in Biomedical Engineering, Graduate School Pusan National University)
**동서대학교 컴퓨터정보공학부(Division of Computer & Information Engineering, Dongseo University)
***부산대학교 의학전문대학원 의공학교실(Dept. of Biomedical Engineering, School of medicine, Pusan National University)

†Corresponding author: syye@pusan.ac.kr
(Received : June 17, 2008, Revised : August 11, 2008
Accepted : August 19, 2008)

트랜지스터(photo transistor)로 구성된 광 모듈을 개발하였다. 개발된 광 모듈은 10개의 검사 패드가 부착된 요 분석용 스트립의 구조에 맞추어 10개의 광센서로 구성되었으며, 각각의 광센서는 발광다이오드와 포토트랜지스터로 구성하였다. 발광다이오드는 적색(C170CKT), 초록색(C150GKT), 청색(C150CBKT), 황색(C150KST)을 사용하였고, 광학계를 간소화하기 위하여 패드마다 동일한 구조의 광센서를 부착하였다. 다중 광 검출 모듈은 기존의 단일 광센서 방식의 기구 구동식 광 모듈보다 정도관리와 내구성에서 우수한 장점이 있다. 개발한 광 모듈의 성능을 정량적 색 좌표계에서의 거리를 측정하여 객관적으로 평가하였다. 개발된 요분석 시스템은 저가의 발광다이오드와 포토트랜지스터(KODEMSHI ST-23G)를 사용하여 스트립의 각 패드 색상을 분석하고자 하였다.

2. 반사 분광 스펙트럼의 정규화

요 분석용 스트립의 색상을 측정하기 위한 기구의 설계는 광원과 센서의 특성을 선정하여야 하며 이를 위하여 요 분석용 스트립의 각 측정항목 별, 등급 별 분광학적 분포 특성을 파악하여야 한다. 현실적으로 기구설계에 적용하기 편리한 광원은 발광다이오드로서 그림 1과 같이 가시영역의 발광 파장대가 400~700 nm 사이로 선택할 수 있다. 그림 1에서 보듯이 황색 LED의 파장은 녹색 LED의 파장 대역과 겹쳐있으므로 본 연구에서는 R, G, B 3개의 LED 정보를 위주로 실험을 하였습니다.

그림 1. LITE-ON사의 LTST 계열 LED의 발광 분광 스펙트럼

Fig. 1. The spectral characteristics of LTST series LED spectrum manufactured by LITE-ON company (Gaussian fit from the datasheets).

그림 2. 400~700 nm 파장영역에서 포토트랜지스터의 감도 변화 특성 곡선

Fig. 2. A characteristic curve of sensitivity variation of used photo transistor in the wavelength range of 400 to 700 nm.

그림 3. 광 모듈의 정규화된 감도 곡선

Fig. 3. Normalized sensitivity curve of the optical module.

그림 2는 본 실험에서 사용한 수광센서의 포토트랜지스터의 파장에 따른 감도 변화 곡선을 나타내었다.

포토트랜지스터의 파장에 따른 감도와 그림 1의 적색, 녹색, 청색 발광다이오드의 분광 스펙트럼을 곱하여 정규화한 감도 곡선을 구하였다(그림 3).

3. 색도도의 정량적 표현과 색 좌표계

3.1. 색도도의 정량적 표현

스트립 패드에서 반사되는 광량은 광의 각 파장 λ 에 서의 스트립에 광을 조사하는 광원의 발광특성 $E(\lambda)$, 스트립 패드의 광반사 특성 $R(\lambda)$, 그리고 반사된 광을 검출하는 광 검출기의 반응특성 $V(\lambda)$ 을 곱한 값의 적분치로 나타난다^[8]. 즉 측색치를 S라고 하면, 광원이나

검출기가 반응하는 파장영역에서의 측색치는 다음과 같은 수식으로 계산되어 진다.

$$S = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda)R(\lambda)V(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

발광 특성 $E(\lambda)$ 와 광 검출기의 반응특성 $V(\lambda)$ 을 곱한 정규화 특성곡선을 $D(\lambda)$ 라하고, 적색(red), 녹색(green), 청색(blue)에 대한 측색치 S_R , S_G , S_B 를 식 (2), (3), (4)에 나타내었다.

$$S_R = k \int_{400nm}^{700nm} D_R(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

$$S_G = k \int_{400nm}^{700nm} D_G(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

$$S_B = k \int_{400nm}^{700nm} D_B(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (4)$$

여기서, 비례상수 k 는 모든 파장에서 100 % 반사도의 패드에 대하여 각 측색치가 편리한 값이 되도록 설정할 수 있다. 즉, 데이터 분석의 편리성을 위하여 $S_R + S_G + S_B = 1$ 가 되도록 설정하였다.

3.2. 색 좌표계

색도란 조명의 밝고 어두움과 관계없이 인지하는 양이며, 요분석기에 사용되는 발광다이오드와 포토다이오드의 감도가 온도와 패드와의 거리와 같은 주변 환경에 따라 변할 수 있으므로 절대적인 광량에 의존하여 판정을 할 경우 오차가 발생하게 된다. 따라서, 식 (2), (3), (4)의 3가지 측색치들의 합으로 정규화한 양을 식 (5)와 같이 정의하여 광의 세기와 무관한 색도치를 얻을 수 있었다.

$$S_T = S_R + S_G + S_B \quad (5)$$

총 자극치 S_T 와 3색의 측색치를 이용하여 상대 자극치 r , g , b 를 식 (6), (7), (8)과 같이 정의할 수 있다.

$$r = \frac{S_R}{S_T} = \frac{S_R}{S_R + S_G + S_B} = 1 - (g + b) \quad (6)$$

$$g = \frac{S_G}{S_T} = \frac{S_G}{S_R + S_G + S_B} \quad (7)$$

$$b = \frac{S_B}{S_T} = \frac{S_B}{S_R + S_G + S_B} \quad (8)$$

식 (6), (7), (8)에서 $r + g + b = 1$ 으로서 세 값은 상호 독립적이 아니고 그 중 두 값만이 독립적이 되면서 특

히 평면상에 색감의 표현이 가능해 진다. 만일 좀 더 일반화를 하여 3개 이상의 측정을 한다면 3 차원이나 그 이상의 공간상에 색도를 표현할 수 있다.

본 연구에서는 온도에 따른 변화가 비교적 적은 녹색과 청색을 기준으로 하여 모든 색도를 평면상에 표현 하였다.

4. 광검출 시스템 설계

4.1. 단일 광 계측부 모듈

본 연구에서 개발하는 광 모듈은 궁극적으로 가정용 요분석기에 적용되어야 하므로 주제어부와와의 간단한 인터페이스가 요구된다. 또한 정도관리를 위하여 PC와도 마찬가지로 통신이 쉽도록 UART (universal asynchronous receiver/transmitter)로 제어와 측정이 되도록 설계하였다.

요 분석용 스트립의 각 측정 항목별 각 등급을 구분하기 위하여 4 가지 종류, 즉 적색, 녹색, 청색, 황색광을 발생시키는 다른 파장의 발광다이오드로 조명하고 스트립의 패드로부터 반사된 광량을 포토트랜지스터로 측정할 수 있는 광 모듈을 설계하였다. 광학적 시스템은 수직 단방향 조명에 45° 수광형식의 0/45 방법을 사용하였으며, 이를 도시화하면 그림 4와 같다.

그림 4. 단일 광 모듈 구성도
Fig. 4. Schematic diagram of the single optic module.

그림 5. 제작된 단일 광 검출부의 구조
Fig. 5. Implemented mechanism of the single part of optical detection module.

렌즈와 같은 별도의 광학계를 사용하지 않고도 패드에서 반사된 광만을 검출할 수 있도록 가는 구멍을 판 불투명체 내에 포토트랜지스터를 장착하였으며, 이의 실물 그림은 그림 5과 같다. 수광부인 포토트랜지스터와 빛의 산란을 막아 빛이 이동할 수 있는 통로를 만들어 정확한 반사광을 측정할 수 있도록 설계하였다.

4.2. 다중 광 모듈 시스템

요 분석용 스트립의 측정 항목별 각 등급들을 구분하기 위하여 스트립의 패드의 수와 동일하게 단일 광 모듈 계측부를 배열하여 이들을 조합한 다중 광 모듈 시스템을 설계하였다. 사용한 스트립은 국내 DFI회사에서 생산하여 판매하는 10가지 검항목으로 구성된 Cybow-10(DFI,Korea) 요분석용 스트립을 사용하였다. 스트립 위치에 맞추어 10개의 다중 광 모듈을 위치시켰다. 다중 광 모듈은 발광원과 정전류원, 아날로그 멀티플렉스(analog multiplexer), 수광원, 적분증폭기(integration amplifier), 마이크로프로세서(micro control unit, MCU) 등으로 구성하였다. 본 연구에 의해 설계된 다중 광 모듈 시스템의 구성도는 그림 6과 같다.

발광원(SMD type, LITE-ON Electronics 사)은 여러 파장을 발생시키기 위한 발광체로 적색, 녹색, 청색, 황색 발광다이오드를 사용하였으며, 정전류원은 발광다이오드에 일정한 전류를 인가하기 위하여 사용하였다. 아날로그 멀티플렉스는 요 분석용 스트립의 측정 항목별로 정색반응을 나타내는 측정 시간이 다르기 때문에 각 항목별로 배열된 단일 광 모듈의 발광다이오드들에 특정 시간에 전류를 인가하기 위하여 사용하였다. 그리고 스트립의 패드로부터 반사된 광량은 수광원인 포토트랜지스터를 사용하여 검출하였다. 단일 광 모듈의 발광원과 수광원은 아날로그 멀티플렉스에 의해 작동되는 시간 대역이 정하여 진다. 측정 시간대에 각 발광다이오드에 의해 조사된 광은 스트립의 패드에서 반사되

그림 6. 설계된 다중 광 모듈 시스템의 구성도
Fig. 6. Block diagram of designed the multi optic module system.

그림 7. 제작된 다중 채널 광 모듈의 PCB optic module
Fig. 7. Photographed PCB image of the sampled multi channel optic module.

어 포토트랜지스터에 의해 검출되며 검출된 광량은 적분증폭기로 입력되도록 하였다. 적분증폭기의 출력은 전체적인 제어를 관장하는 주제어기로 사용한 마이크로프로세서(Atmega32)로 입력되어 내장된 아날로그-디지털 변환기(analog to digital converter, ADC)에 의해 디지털화된 값으로 변환되어 주제어기의 요청에 의해 외부, 즉 PC 및 요 분석용 측정기기로 직렬통신 방식(universal asynchronous receiver and transmitter, UART)에 의해 전달한다. 본 연구에 의해 설계된 다중 채널 광모듈의 PCB optic module을 그림 7과 같다.

5. PC 제어용 광 검출 소프트웨어

요 분석기기 본체를 대신하여 다중 채널 광 모듈을 제어하고 측정치를 분석할 수 있으며, 향후 정도관리를 할 수 있도록 PC 용 제어 프로그램을 작성하였다. PC 용 제어 프로그램의 주요 기능은 다음과 같다. 요 분석용 스트립의 정색반응 시간으로 설정되는 발광원과 수광원의 작동 특정 시간, 적분증폭기의 작동 시간대 및 증폭률 등을 설정할 수 있는 기능을 수행하도록 하였다. 그리고 측정치의 시간적 변이 양상을 관찰하기 위한 측정화면을 두고, 측정치의 간단한 통계분석과 다른 분석을 위해 측정치 저장, 호출하는 기능을 수행하도록 하였다. 그림 8은 구현된 제어용 프로그램으로 적, 녹, 청, 황색의 발광다이오드를 백색의 종이에 조명한 후 반사되는 광량을 포토다이오드로 검출한 후 이 광 신호를 적분증폭기에서 적분한 결과를 PC 기반에서 측정한 결과이며, 적분시간은 11/60초로 설정하여 측정하였다.

그림 8에서 알 수 있듯이 적색광의 경우 발광다이오

그림 8. 광 모듈의 제어와 평가를 위한 PC 기반의 광량 계측 제어 프로그램

Fig. 8. Implemented PC based program to test the developed optic module.

드 구동직후 1 % 정도의 측정치 감소가 발생하는 현상이 관측되었으며, 이 현상은 발광다이오드의 발열에 의한 광량 감소로 판단되었다. 청색과 녹색 발광다이오드의 경우는 비교적 안정된 발광도를 나타내었다.

6. 결과 및 고찰

6.1. 다중 채널 광 모듈의 발광다이오드의 광량 산포

구현된 다중 채널 광 모듈에서 발광원으로 사용된 발광다이오드들의 발광 특성에 관한 실험을 수행하였다. 이를 위하여 10개 채널의 적색, 녹색, 청색, 황색 발광다이오드들 각각에 5 mA의 전류를 인가하여 각각의 발광다이오드로부터 발광된 광을 백색 종이에 조명한 후 반사되는 광량을 동일한 포토트랜지스터를 사용하여 검출하였다. 10개의 광 모듈로부터 측정된 발광다이오드의 광량 산포 특성은 그림 9와 같다.

그림 9에서 알 수 있듯이 녹색과 청색 발광다이오드에 비하여 적색 및 황색 발광다이오드의 개별 발광 세기 산포는 변화 폭이 매우 높게 관찰되었다. 또한 전반적으로 적색 발광다이오드의 광의 세기가 2배 이상 크게 측정됨을 알 수 있었다. 시간적인 변화는 적색과 황색 발광다이오드의 경우 측정을 위하여 발광다이오드를 켜 시간부터 5초 사이에 1 % 정도의 광량이 감소되는 현상이 관찰되었다. 이러한 현상은 전류가 인가됨에 따라 발광다이오드의 온도가 상승하므로 발생하는 것으로 추정된다. 대개의 측정 시는 매우 짧은 시간 동안 단발성으로 측정하기 때문에 측정치에 미치는 영향은

그림 9. 다중 채널 광 모듈에 사용된 채널별 발광다이오드의 광량 산포 특성

Fig. 9. The distribution characteristics of illumination intensity of each channel LEDs in to multi channel optic module.

미미하다고 평가된다. 한편 포토트랜지스터의 암전류가 온도에 매우 민감하나, 측정 시 조명을 제어하고 광보정 알고리즘을 적용하면 보정이 가능하다고 생각된다.

6.2. 다중 채널 광 모듈의 성능 평가

본 연구에서 구현한 다중 채널 광 모듈의 성능을 평가하기 위하여 요 분석용 스트립의 측정 항목별 등급을 구분하는 성능 평가 실험을 수행하였다. 평가 실험은 스트립 회사에서 제공하는 스트립 패드의 비색표를 이용하여 각 측정 항목별 등급을 구분할 수 있도록 적색, 녹색, 청색 발광다이오드들을 비색표에 조명한 후 반사되는 광량을 등급별로 100회씩 측정하였다. 그리고 각 측정 항목별 등급을 보다 명확하게 구분하기 위하여 적색/녹색, 녹색/청색, 청색/적색의 광량 비를 상대적으로 비교하여 평가하는 방법을 제안하였다. 즉 각 측정 항목별 등급별로 측정된 각 발광다이오드의 광량을 상대 비교하여 군집도의 분포 양상에 의해 등급을 구분할 수 있도록 색도 좌표계로 나타내었다. 이 측정에서 측정의 표준편차는 0.07 % 정도로서 아날로그-디지털 변화에 있어 이론적 한계에 근접하는 우수한 값이다.

요 분석용 스트립의 측정 항목별로 등급 구분을 위해 수행한 색도도의 평가 실험 결과의 한 예로 유로빌리노겐, 빌리루빈, 비중의 등급별 적색/녹색, 녹색/청색, 청색/적색의 색도도를 그림 10에 나타내었다.

비색표의 단계별 색체를 측정하여 식 (3)에 의한 상

그림 10. 측정된 비색표 색상의 등급별 R/G, G/B, B/R 색도도 표현

(a) 유로빌리노겐, (b) 빌리루빈, (c) 비중

Fig. 10. Chromaticity diagram representation of the measured color range of urine colorimetry comparison table

(a) Urobilinogen, (b) Bilirubin, (c) S.G.

대적 자극치로서 r-g, g-b, b-r 색도도에 각각 표현한 것이다.

그림 10(a)에서 유로빌리노겐의 경우 음성(0.1 mg/dl)과 양성 1단계(16 mg/dl) 사이가 모두 정상에 해당하는 영역으로서 육안으로는 거의 식별이 힘든 색차이다. 측정에서도 보듯이 적색의 반사도 변화가 거의 없으므로 적색/녹색과 청색/적색의 색도도에서는 간격이 매우 좁

으나, 녹색/청색의 상대 비교에서는 0.1과 1(16)이 다소 간 거리가 있다. 그리고 양성 3, 4, 5에 해당하는 2(33 mg/dl), 4(66 mg/dl), 8(131 mg/dl)은 모든 상대 비교에서 확연히 구분됨을 알 수 있었다.

(b)의 빌리루빈의 경우로서 정상에 해당하는 neg와 양성 1, 2, 3에 해당하는 +, ++, +++의 구분은 다음과 같다. 적색/녹색의 상대 비교에서는 neg와 +은 구분되

그림 11. 요검사 스트립의 검사항목별 총 색차범위

Fig. 11. Total color difference range of the test items of urinalysis strip.

그림 12. 검사항목별, 검사 등급별 색차

Fig. 12. Color difference between test ranges of all urinalysis strip items.

나, ++와 +++의 구분은 모호하였다. 녹색/청색과 청색/적색의 상대 비교에서는 neg, +, ++, +++의 구분이 가능하였으나 군집 현상이 있어 구분에 세밀한 주의가 필요함을 알 수 있었다. (c)의 비중의 경우 정상에 해당하는 1.000, 양성 1, 2, 3, 4, 5, 6에 해당하는 1.005, 1.010, 1.015, 1.020, 1.025, 1.030 모두 적색/녹색, 녹색/청색, 청색/적색의 상대 비교에서 확연하게 구분됨을 알 수 있었다.

스트립의 10가지 각 항목을 적색, 녹색, 청색의 3차원 공간상에 표현하여 각 항목의 색도도 분포 특성을 알아보기 위하여 원점에서 최소의 위치에 있는 등급의 좌표와 최대의 위치에 있는 등급의 좌표 사이의 거리

를 나타내는 총 색차 범위는 그림 11에 나타내었다.

그림 11에서 보듯이 비중(S.G)과 산도(pH)가 3차원의 공간상에 넓게 분포되어져 있음을 알 수 있었다. 적색, 녹색, 청색의 3차원 공간상에서 각 항목별 등급간의 거리를 그림 12에 나타내었다.

그림 12에서 유로빌리겐의 경우 처음의 막대는 neg와 등급1의 간격을 나타내고, 두 번째 막대는 등급 1과 등급 2의 간격을 나타낸다.

그림 11과 12에서 S.G와 pH의 경우 전체적인 분포도가 넓게 분포되어있고, 각 등급간의 거리도 멀어져 있음을 알 수 있다. 즉, 이 항목들은 각 등급별 판별이 용이함을 알 수 있다. 빌리루빈의 경우 전체적인 분포

가 적으며 등급 1+와 2+의 간격과 2+와 3+의 간격이 좁게 나타나므로 등급 구별시 세심한 주의가 필요함을 알 수 있었다. 그림 11에서 알 수 있듯이 검사항목별의 총 색차 범위는 빌리루빈의 0.039에서 비중의 0.45까지 평균 0.2 정도로 분포되어 있다. 각 측정 항목별 등급 간의 색차는 그림 12에서 보듯이 최소 0.013에서 최대 0.197까지 분포됨을 알 수 있었다.

본 연구에 의해 구현된 다중 채널 광 모듈의 성능 평가 실험 결과 광 모듈은 측정 시 총 광량이 100이 되도록 감도를 조정하면 색도도에서 판별할 수 있는 계기적 색차의 한계는 0.1%, 즉 색도 좌표 거리 값으로 0.001 미만이므로 측정 항목별 등급의 구분은 가능함을 알 수 있었다.

7. 결 론

현재까지 상용화된 대부분의 요분석기는 광 검출 시스템이 기계부에 비하여 비교적 고가이기 때문에 단일 광검출 시스템에 다수의 패드를 측정하기 위한 기계적 구동부를 채택하고 있다. 그러나 최근에 들어서 가시영역의 다양한 발광다이오드 광원과 우수한 성능의 수광원인 광센서가 염가에 보급됨에 따라 다채널의 광 검출 시스템을 구성하여 스트립을 이동시키기 위해 적용한 구동부를 대체하는 방법이 장비의 성능 향상과 신뢰성 및 재현성 확보 및 경제성의 등에 도움이 되었다.

본 연구에서는 가정 및 요양원과 유비쿼터스 헬스케어 시범사업 등에 적용 가능한 요 분석용 스트립을 사용하는 소형화된 요 분석기기의 개발에 필수적인 다중 채널 광 모듈 시스템을 개발한 후 성능을 평가를 수행하였다.

본 실험에 사용된 광원인 발광다이오드의 경우 적색 발광다이오드는 부품별 광량의 편차가 많이 발생하였으며, 심한 경우 50% 이상의 광량 차이가 발생하였다. 녹색과 청색의 발광다이오드의 경우에는 비교적 균질한 특성을 나타내었다. 요 분석기기의 개발에 있어서 이러한 오차는 정도관리 및 광 보정 알고리즘을 적용하여 교정할 수 있으나 부품 품질의 안정화가 절실하게 요구되는 실정이다. 또한 수광원으로 사용한 포토트랜지스터의 온도에 따른 광전류의 변화가 1%/°C 정도임을 알 수 있었다. 아울러 적색 및 황색 발광다이오드의 경우는 전류가 인가된 후 2~3초 간의 발열에 따른

광량의 감소가 무시할 수 없게 됨에 따라 측정모듈의 온도 보상 알고리즘의 개발이 필요하다. 본 연구에 의해 개발된 다중 채널 광 모듈 시스템은 스트립을 광 모듈의 위치까지 이동시키는 이동 메커니즘을 배제하였기 때문에 소형으로 제작할 수 있었고, 실험 결과 모든 측정 항목에서의 오차 범위가 판정 범위 내에 수렴하는 것으로 관측되었다. 따라서 본 연구 결과인 다중 채널 광 모듈 시스템을 적용한 요 분석기기의 개발 완료 시 국내 의료기기 산업의 육성과 수입대체 효과를 창출할 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(과제번호: A040032).

참고 문헌

- [1] L.E. Armstrong, C.M. Mares, J.W. Castellani, M.F. Bereron, R.W. Kenefick, K.E. LaGasee and D. Riebe, "Urinary indices of hydration status.", *Int. J. Sport Nutr.*, vol. 4, pp. 265-279, 1994.
- [2] L.E. Armstrong, J.A. Soto, F.T. Hacker, D.J. Casa, S.A. Kavouras and C.M. Mares, "Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration", *Int. J. Sport Nutr.*, vol. 8, pp. 345-355, 1998.
- [3] William E. Neeley, "Reflectance photometer for multilayer dry film slides", *Anal. Chem.*, vol. 56, pp. 742-745, 1984.
- [4] Adam Zipp and W. E. Hornby, "Solid-phase chemistry : Its principles and applications in clinical analysis", *Talanta*, vol. 31, no. 10B, pp. 863-877, 1984.
- [5] 유동주, 정태화, 민홍기, "건습시약 스트립을 사용한 임상화학분석장치 개발[I]", *의공학회지*, 제13권, 제4호, pp. 229-305, 1992.
- [6] John A. Lott and Elias Khabbaza, "Haemoglobin analysis on whole blood by reflectance photometry", *J. of Automat. Chem.*, vol. 7, no. 4, pp. 197-200, 1985.
- [7] 이승진, "색도 좌표 변환 및 분류 기법을 이용한 휴대형 요분석 시스템의 구현", 부산대학교 박사학위논문, 2002.
- [8] Roy S. Berns, "Principles of color technology", John Wiley & Sons, Inc., pp. 222-226, 2000.

예 수 영(Soo-Young Ye)

- 1998년 2월 부산대학교 전자공학 (공학석사)
- 2004년 2월 부산대학교 의공학협동과정 (공학박사)
- 2006년 10월~ 부산대학교 의학전문대학원 BK21 고급의료인력양성 사업단 연구 교수
- 주관심분야 : 신호처리, 생체계측, 의공학

전 용 욱(Yong-Uk Jeon)

- 2005년 3월 부산외국어대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2008년 8월 부산대학교 의공학협동과정 (공학석사)
- 주관심분야 : 의용계측, 생체신호처리

정 도 운(Do-Un Jeong)

- 2000년 동서대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 2002년 2월 부산대학교 대학원 의공학협동과정 졸업(공학석사)
- 2005년 8월 부산대학교 대학원 의공학협동과정 졸업(공학박사)
- 2005년 3월~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 전임강사
- 주관심분야 : 생체계측시스템, 생체신호처리, 유비쿼터스 헬스케어

전 계 록(Gye-Rok Jeon)

- 1982년 2월 부산대학교 전자공학 (공학석사)
- 1993년 3월 동아대학교 전자공학 (공학박사)
- 1985년~ 부산대학교 의과대학 교수
- 주관심분야 : 의용계측, 영상신호처리, 생체시스템 모델링

노 정 훈

- 1984년 3월 부산대학교 물리학(이학사)
- 1986년 2월 부산대학교 물리학(이학석사)
- 2001년 2월 부산대학교 물리학(이학박사)
- 주관심분야 : 물리학, 의공학