

요검사용 스트립의 분광학적인 특성 분석을 위한 시뮬레이션

조진욱, 김재형, 이승진*, 김건우*, 전계록**
 인제대학교 물리학과, *부산대학교 대학원 의공학협동과정, **부산대학교병원 의공학과,

Simulation for Spectroscopic Characteristic Analysis of the Urinalysis Strip

J. W. Cho, J. H. Kim, S. J. Lee*, K. W. Kim*, K. R. Jun**

Dept. of Physics, Inje University,

*Dept. of Interdisciplinary program in Biomedical Engr., Pusan National University,

**Dept. of Biomedical Engr., Pusan National University Hospital,

Abstract

The spectroscopic characteristic of 9 items in the urinalysis strip are measured to develop the urine analysis system. From experimental results, we determined the wavelength range which could accurately distinguish the degrees of 9 test items. Simulation is performed to distinguish the primary color reaction in the urinalysis strips using reflectance of urine strips, luminous intensity of LEDs, and spectral sensitivity of photodiodes. The simulation results agree well with experimental results by using UV-Visible spectrophotometer.

서론

요분석 시스템을 개발하기 위하여 요검사용 스트립의 9가지 검사항목 즉, 우로빌리노겐(urobilinogen), 당분(glucose), 케톤(ketones), 빌리루빈(bilirubin), 단백질(protein) 아질산염(nitrite), 혈중수소농도(pH), 비혈(occult blood), 비중(specific gravity)의 각 등급에 대한 파장영역별 반사율을 측정하였다. 측정 결과를 이용하여 검사항목의 각 등급을 잘 구별할 수 있는 파장대역을 결정하였다. 그리고 선정된 파장대역에서 각 항목의 정색반응을 정량적으로 구별되도록 하였다. 이를 위하여 광원으로 사용하는 발광다이오드(light emitting diode:LED)의 발광세기(luminous intensity)와 광검출기(photodetector)로 사용하는 photodiode의 분광감도(spectral sensitivity)를 파장 영역별로 분광특성을 측정하였다. 측정된 결과들을 요분석 시스템에 적용하기 전에 9가지 검사항목의 각 등급이 효과적으로 잘 구별되는지를 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 수행결과 요검사용 스트립의 정색반응이 검사항목별로 명확하게 구별되었다.

연구 방법

I. 요검사용 스트립의 반사스펙트럼 측정

요검사용 스트립을 사용하여 검사할 수 있는 9가

지 항목에 대하여 파장에 따른 반사율을 측정하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 스트립의 항목별 각 등급에 민감한 반응을 나타내는 표준시약을 표 1과 같이 직접 제작하여 실험에 사용하였다.

표 1. 요검사용 스트립의 검사항목과 반응시간

Test and reaction time	Degree		Positive					
	Neg	0	1	2	3	4	5	6
Urobilinogen 30sec.(ng/dl)	0.1	1	2	4	8	12		
Glucose 30~60sec.(mg/dl)	Neg	±100	+250	++500	+++1000			
Ketones 30~60sec.	Neg	±	+	++	+++			
Bilirubin 30~60sec.	Normal		+	++	+++			
Protein 30sec(mg/dl)	Neg	Trace	+30	++100	+++300	+++1000		
Nitrite 30sec.	Neg		Pos.	Any degree of pink color is considered positive				
pH immediate	5	6	6.5	7	8	9		
Occult Blood 30sec.	Neg	+	++	+++	+	++		
Specific Gravity 10~30sec.	1.00	1.005	1.010	1.015	1.020	1.025	1.030	

II. LED의 발광세기 측정

요분석 시스템의 광모듈에 사용하는 LED는 특정한 파장대역에서 발광량이 많으며, 빔의 집속력이 뛰어난 직경 5mm의 Red, Orange, Green, Blue의 광을 발생시키는 4 종류의 투명한 LED에 대하여 파장에 따른 발광량(휘도)을 측정하였다. 각 검사항목에 사용한 LED의 파장영역은 표 2와 같다.

표 2. 검사항목별로 사용한 LED의 파장영역

LIGHT SOURCE	Peak Wave length	LED	Item of Strip
SLA562LT	655nm	RED	pH
SLA580M9	567nm	GREEN	glucose, bilirubin, occult blood, ketones
E1L51-3B	476nm	BLUE	urobilinogen
SY5311	636nm	ORANGE	protein, specific gravity
SLA580M9 E1L51 3B	476nm- 567nm	BLUE & GREEN	nitrite

III. Photodiode의 분광감도 측정

요분석 시스템에 사용하는 photodiode의 규격과 특성은 다음과 같다. 사용한 Photodiode는 G3297(H-AMATSU Co., Japan)이며, 요분석용 스트립의 9가지 파장대역인 450-655nm에서 분광감도가 우수하였고, 온도에 따른 분광감도의 분산이 비교적 양호한 특성을 나타내며, 특히 파장범위 700nm 이상에서 나타나는 요검사용 스트립의 반사율을 제거 할 수 있는 특성을 지니고 있었다.

IV. 시뮬레이션

요검사용 스트립에서 발생하는 정색반응은 특정한 파장대역에서 일어나는 반사광의 변화를 의미하지 않고 가시광선 전체 파장영역에서 일어나는 반사광의 변화를 의미한다. 즉, 자연광인 태양(실내인 경우는 실내조명)의 발광스펙트럼, 요검사용 스트립의 반사스펙트럼, 그리고 사람의 눈에 있는 망막의 분광감도^[1,2]를 곱하여 산출되는 값을 의미한다. 따라서 요분석 시스템에서 9가지 항목의 각 등급을 구분할 수 있는 정색반응은 LED의 발광스펙트럼, 요검사용 스트립의 반사스펙트럼, 그리고 photodiode의 분광감도를 곱하여 산출되는 정량적인 값을 나타낸다^[3]. 요검사용 스트립의 분광학적 분석을 위한 시뮬레이션^[4]은 다음과 같은 수식을 사용하여 수행하였다.

$$V_s(i, j, k) = \int L_i(\lambda) R_{jk}(\lambda) D(\lambda) d\lambda$$

여기서 V_s 는 측정값을 이용하여 산출되는 시뮬레이션 값을 의미하고, i 는 LED의 종류를 나타내며, j 는 측정하는 검사항목이고, k 는 표준시약으로 neg., trace, +1, +2, +3,.. 등을 의미한다. 그리고 $L_i(\lambda)$ 는 LED의 발광세기, $R_{jk}(\lambda)$ 는 요분석용 스트립의 반사율이며, $D(\lambda)$ 는 photodiode의 분광감도로 23°C에서 측정된 G3297의 분광감도 측정값을 이용하였다.

시뮬레이션 결과

상기에서 언급한 방법에 의해 요검사용 스트립의 9가지 검사항목의 각 등급에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 1과 같다. 그림 1에서 스트립의 각 항목의 각 등급별 측정시간과 파장영역에 대한 분광학적 특성이 명확하게 구별됨을 알 수 있었다.

결 론

요검사용 시스템을 구성하였을 때 요검사용 스트립에서 일어나는 정색반응을 정확하게 구별할 수 있는지를 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 요검사용 스트립의 정색반응은 9가지 검사항목별 각 등급들이 명확하게 구별되었다. 그리고 시뮬레이션의 결과치는 UV-Visible Spectrophotometer로 요검사용 스트립의 정색반응을 분광학적으로 측정하고 구별가능한 파장대역에서의 반사광 변화를

정량적으로 구별한 결과와 잘 일치하였다.

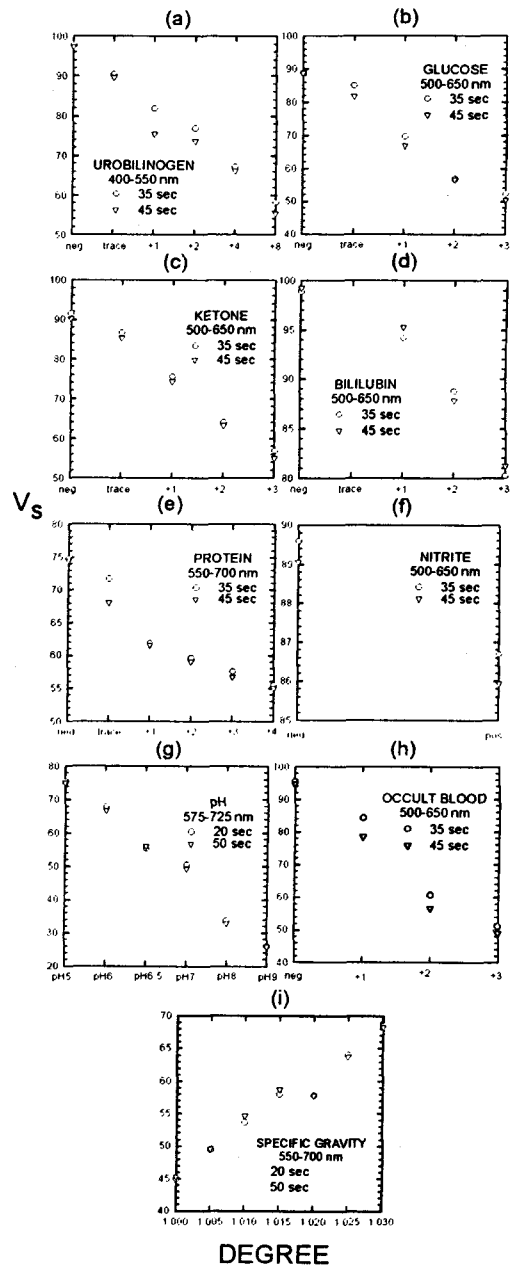


그림 1. 9가지 검사항목의 각 등급별로 시뮬레이션한 결과치

참고 문헌

1. MacDonald and Burns, Physics for the life and health sciences(Addison-Wesley, 1977), chap. 20.
2. 박태영 역, 생명물리학, 청문각, 1997, chap. 10.
3. 김학수, 김재형의 13인 역, 생명과학을 위한 물리학, 집현사, 1997, chap. 15.
4. 조용재, 김재호, 남기곤, 김재형, 전계록, "요분석용 스트립의 분광학적 특성 분석을 위한 DEVS 모델링과 시뮬레이션" 1997년 대한의용생체공학회 춘계 학술대회. 제 19권. 제 1호. pp. 145. 1997.