

내장형 분광광도시스템 구성에 따른 조명 영향 평가

이 상 식*, 이 충 호**

Evaluation of illumination effect for on-board spectrometer system

Sangsik Lee*, Choongho Lee**

요 약

본 연구에서는 표준 색차계와의 비교와 색상정보 좌표계 분석법을 이용하여, 비접촉 및 비파괴 측정 장치로 많은 분야에서 사용하고 있는 내장형 분광광도계의 조명 영향을 평가하였다. 본 연구에서 사용한 색상은 표준 반사물질과 만셀 표준 색상인 빨강, 노랑, 초록, 파랑 색상을 사용하였다. 표준 색차계 시스템 및 내장형 분광광도계 시스템을 비교 분석하기 위하여, 실험 재료 색상을 색상지별 20번 측정하였다. 본 연구에서는 비접촉 및 비파괴 검사 장치에 내장형 분광광도계 응용에서 조명을 일정하게 공급하고 캘리브레이션을 정확하게 수행한다면, 조명의 영향을 거의 받지 않는 시스템을 구성할 수가 있을 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

On-board spectrophotometer has been widely used as a non-contact and non-destructive measurement system in many fields. In this study, we evaluated the effect with respect to the light of on-board spectrophotometer based on a comparison with the standard spectrophotometer and color information coordinate system. Red, yellow, green and blue color paper, which were the standard reflective color paper and Munsell color paper, were used for experiments. In order to compare between a standard spectrophotometer system and an on-board spectrophotometer system, each color paper was measured 20 times. We concluded that it is possible to develop a system regardless the effect of light if the light was supplied consistently and a calibration was performed exactly while we applied an on-board spectrophotometer to non-contact and non-destructive measurement system.

keywords : Illumination, Spectrometer, Reflectance, Wavelength, Color

1. 서 론

최근 비접촉, 비파괴 검사기술을 이용한 바이오 및 의용 재료의 물성 측정 및 시스템 개발연구가 IT융합 기술의 발전으로 활발하게 추진되고 있다.

* 성균관대학교 바이오메카트로닉스센터 의공학연구소 (lsskyj@skku.edu)

** 교신저자 전주대학교 공과대학 생산디자인공학과 (leech@jj.ac.kr)

접수일자 : 2010년 4월 15일, 수정일자 : 2010년 4월 26일, 심사완료일자 : 2010년 5월 14일

Norris 등[1]은 분광 반사특성을 이용하여 생물 대상체의 수분을 비롯한 화학적 성분의 측정을 비교적 정확하고 간편한 방법을 개발하여, 바이오 및 의료 분야에 적용할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이[2]는 칼라 컴퓨터 시각장치의 구성에서 조명이 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 최근 센서 기술의 발달과 시스템적인 응용으로 비접촉 및 비파괴 검사 기술은 급속도로 성장하고 있다. 그리고 컴퓨터와 전자부품들의 저가격화와 고기능으로 인간에 의존하는 검사 기능이 거의 대부분 비접촉 및 비파괴 IT 자동화 시스템적인 외관검사로 자리를 잡았다.

비접촉 및 비파괴 검사 장치들은 측정센서, 조명 장치 및 관련 소프트웨어 등으로 이루어진다. 하지만 조명장치의 영향은 시스템의 성능을 좌우할 정도로 중요하다. 기계적 장치는 인간의 오감과는 달리 밝기의 적응성을 느끼지 못하기 때문에 피사체 명암대비 등의 영향을 고려하여야 한다.

특히 비접촉 측정 센서에서 조명의 변화에 따른 인식 수준이 많은 차가 있기 때문에 조명장치가 시스템 전체에 많은 영향을 미친다. 그러므로 비파괴 측정 장치에 미치는 조명의 영향에 관한 체계적인 연구가 필요하다. 최근 의료기기 및 얼굴 인식 등의 생체 인식 분야에 많은 연구가 이루어지고 있다[3, 4, 5, 6, 7].

비접촉 및 비파괴 검사를 위하여 기존의 색차계를 이용하는 방법은 시스템 적용에 한계가 있으므로, 대부분의 시스템에는 시스템 응용이 쉬운 내장형 분광광도시스템을 많이 사용한다. 그러나 내장형 분광광도시스템을 이용하여 색상을 측정하는 것은 시스템 구성에서 조명의 영향에 의해 실제 색상정보와 차이가 있다.

그러므로 본 연구에서는 표준 색차계와의 비교와 색상정보 좌표계 분석법을 이용하여 비접촉 및 비파괴 측정 장치로 많은 분야에서 사용하고 있는 내장형 분광광도계의 조명 영향을 평가하고자 한다.

II. 색상정보 측정

색상정보를 측정함에 있어 색상 차는 색이 주관

적으로 평가될 때 시각적인 오류에 의해 발생된다. 그리고 색을 전달하는 것은 대단히 어려운 것으로서 관찰자의 주관에 따라서 다양각색으로 표현되기 때문에, 객관화된 수치를 사용하는 것은 정확한 색상전달의 필수적인 사항이다. 따라서 보다 신뢰성 있고 정확한 색상정보의 산출을 위하여 표준 색상측정 시스템을 사용하여야 한다.

대상체의 색상 측정방법에는 표준 색차계를 이용한 자극치 직독 방법과 분광광도계를 이용한 분광 측정방법이 있다. 색상은 동일한 색상이라도 주위의 환경의 변화 즉, 조명에 의하여 측정값이 변하게 된다.

색을 수치로 표현하는 방법은 다양하다. 색의 3 요소는 빨강 R(red), 초록 G(green), 파랑 B(blue)이며, 국제 조명위원회에서 정의한 RGB는 각 700nm, 546nm, 435.8nm의 파장을 가지는 스펙트럼의 단색광으로 규정하였다. 그리고 색상은 3차원 공간의 공간좌표로 나타낼 수 있으며 스펙트럼 파장 길이로 나타낸 주요색은 다음 표 1과 같다.

표 1. 색상의 파장 길이
Table 1. Wavelength of color

Color	Wave length(nm)
Violet	450미만
Blue	450 ~ 500
Green	500 ~ 570
Yellow	570 ~ 590
Orange	590 ~ 610
Red	610 ~ 700

색상은 3차원 공간의 좌표로 나타낼 수 있다. 컴퓨터에서 색상정보를 취급하기 위해서는 목적에 따라 몇가지 종류의 좌표가 이용되며, 이들은 RGB좌표계, HSI좌표계, XYZ좌표계, Yxy좌표계, L*a*b*로 표현되는 CIE좌표계 등이 있는데 아래 수식 1-12와 같이 서로 좌표변환이 가능하다.

1) RGB좌표계 → rgb좌표계

$$r = \frac{R}{R+G+B} \tag{1}$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \tag{2}$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \quad (3)$$

2) RGB좌표계 → XYZ좌표계

$$X = 0.490R + 0.310G + 0.200B \quad (4)$$

$$Y = 0.177R + 0.813G + 0.011B \quad (5)$$

$$Z = 0.000R + 0.010G + 0.990B \quad (6)$$

3) XYZ좌표계 → xyz좌표계

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (7)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (8)$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (9)$$

4) RGB좌표계 → L*a*b*좌표계 : 표준 반사물질에 대한 RGB값에서 X_n, Y_n, Z_n 를 구한다.

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (10)$$

$$a^* = 500\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 500\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

$$b^* = 200\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 200\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

III. 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에서 사용한 색상지는 표준 반사물질과 만셀 표준 색상인 빨강, 노랑, 초록, 파랑 색상지를 사용하였다.

2. 실험 방법

표준 색차계 시스템 및 내장형 분광광도계 시스템을 비교 분석하기 위하여 실험 재료 색상지를 색상지별 20번 측정하였다. 측정각도는 표준 관찰자 조건인 2°, 10°에서 측정하였다.

3. 실험 장치

1) 표준 색차계 장치

표준 색차계 장치는 실리콘 포토 다이오드 수광 장치로 이루어진 분광광도계와 A/D변환보드, IBM 호환 컴퓨터로 구성되어 있고, 수광정보는 RS-232C를 통해 컴퓨터에 장착된 A/D변환보드로 입력된 장치는 그림 1과 같다. 그리고 실험 재료의 분광광도를 측정하기 위해서는 약 2.5초정도가 소요된다. 측정방법은 20회의 측정을 평균한 값이 출력되며, 측정과장 범위는 가시영역 즉, 400nm ~ 700nm이며 반사율에 관한 정보를 제공한다. 그리고 표 2는 실험에 이용한 조명이고, 시스템의 구체적인 사양은 표 3과 같다.



그림 1. 표준 색차계 시스템
Fig. 1. Standard Spectrophotometer System

표 2. 조명 사양

Table 2. Specification of Illuminant

Illuminant	Property
A	Incandescent 2854°K
F11	TL84(Commercial fluorescent)
C	Natural Daylight 6770°K

표 3. 표준 색차계 사양

Table 3. Specification of Standard Spectrophotometer

Item	Specification
Measuring geometry	d/8°Fiber optic pickup w/multi-sensor array
Light source	Gas-filled Tungsten lamp
반사율 범위	0 to 200% reflectance
Measuring time	약 2.5초
Dimensions	11.6 * 7.6 * 22.5cm (H * W * L)
Measuring area	11mm illumination / 8mm viewing
Standard observer	2° & 10°
Display	4 * 20 Dot-matrix LCD
Weight	1.4kg

2) 내장형 분광광도계 시스템

내장형 분광광도계 시스템은 실리콘 포토 다이오드로 이루어진 수광장치, A/D변환보드, IBM 호환 컴퓨터로 구성하였다. 수광정보는 RS-232C를 통해 컴퓨터에 부착된 A/D변환보드로 입력된다. 측정된 출력은 측정 소프트웨어를 통해서 모니터로 출력된다. 그리고 시스템 구성은 오션옵틱사의 내장형 분광광도계 시스템을 이용하였으며 대상체와 수광부까지의 거리는 8mm로 하였다. 측정 파장범위는 0nm ~ 1100nm이며 파장별 광학적 반사특성에 관한 정보를 측정하였고 그림 2과 같다.

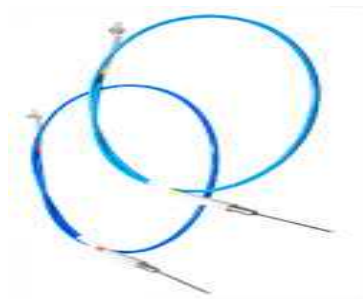


그림 2. 내장형 분광광도계 시스템
Fig. 2. On-board Spectrophotometer System

3) 조명

내장형 분광광도계 시스템에서 실험한 조명은 3가지이며 특성은 다음 표 4와 같다. 실험에 사용한 조명은 백열등, 형광등 및 인버터식 형광등이고, 밝기는 백열등 196 lux, 형광등 205 lux, 인버터식 형광등 143 lux이다.

표 4. 조명의 종류
Table 4. Kinds of Illuminant

Illuminant	Watt	Volt	lux
Incandescent	27	220	196
Fluorescent	28	220	205
Inverter Fluorescent	100	220	143

4. 분석 방법

표준 색차계 시스템 및 내장형 분광광도계 시스템을 비교 분석을 위하여 색상 좌표계에서 Yxy를 비교 분석하여 조명의 영향을 평가한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 캘리브레이션

백열등 조명 상태에서 표준 색차계를 이용한 표준 반사물질과 색상지 측정은 20번을 순서대로 측정하여 평균하였다.

색상지 측정치는 조명별 표준 관찰자 조건 2°, 10°에서 측정된 결과의 차이점은 거의 없었으며, 조명별 명도의 변화는 조도가 동일하다면 거의 동일하게 나타났다. Y, x, y값 추이는 샘플링 결과 모든 색상지에서 표준편차 0.01 이내로 나타났다.

표 5는 표준 반사물질과 빨강, 초록, 파랑 색상지의 결과를 보여주고 있다. 색상에 따른 좌표변환 결과는 색상별 차이가 남을 알 수가 있었다.

내장형 분광광도계 시스템을 이용한 표준 반사물질을 이용한 측정 결과는 표준 색차계 시스템과 동일한 형태의 경향을 보이고 있다. 그리고 표준 색상지 빨강, 초록, 파랑을 이용한 측정 결과에서도 표준 분광광도계 시스템과 유사하게 나타났다.

2. 표준조명에 따른 색상 변화

1) 표준 색차계 시스템

표준 반사 물질을 이용한 측정치는 표 6과 같으며 조명간의 차이를 보여주고 있다.

A(백열등)가 제일 높은 명도를 나타내며, x값, a*값도 A(백열등)가 가장 높게 나타났다.

표준 조명 C(자연광)에서는 다른 표준 조명 A(백열등) 및 F11(형광등)에 비하여 Z값이 크게 나타났다. 그리고 표준조명 C(자연광)에서는 다른 표준 조명 A(백열등) 및 F11(형광등)에 비하여 a*값이 작게 나타났다.

각각의 조명의 20번 측정하여 평균한 반사율은 표준편차 0.01 이내로 나타났고, 20번 측정에서 각각의 조명은 특히 ab값, Y값, xy값이 차이가 있음을 알 수 있었다.

표 5. 캘리브레이션을 위한 색상지 실험 결과
Table 5. Results of color paper for calibration

Cord.	Color: Teflon		Color: Red	
	Standard Spectrophotometer	On-board Spectrophotometer	Standard Spectrophotometer	On-board Spectrophotometer
R	100	96	96	83
G	100	95	7	9
B	100	95	5	2
r	0.3333	0.3357	0.8889	0.8830
g	0.3333	0.3322	0.0648	0.0957
b	0.3333	0.3322	0.0463	0.0213
X	100	96	50	44
Y	100	95	23	22
Z	100	95	5	2
x	0.3333	0.3342	0.6440	0.6454
y	0.3333	0.3334	0.2916	0.3242
z	0.3333	0.3324	0.0644	0.0305
Cord.	Color: Green		Color: Blue	
	Standard Spectrophotometer	On-board Spectrophotometer	Standard Spectrophotometer	On-board Spectrophotometer
R	5	9	5	4
G	29	22	8	9
B	8	6	15	21
r	0.1190	0.2432	0.1786	0.1176
g	0.6905	0.5950	0.2857	0.2647
b	0.1905	0.1622	0.5357	0.6176
X	13	12	8	9
Y	25	20	8	8
Z	8	6	15	21
x	0.2847	0.3259	0.2607	0.2350
y	0.5360	0.5125	0.2483	0.2168
z	0.1793	0.1615	0.4910	0.5482

표 6. 표준 색차계 시스템을 이용한 조명 특성 결과값
Table 6 Property value of Illuminant using Standard Spectrophotometer System

조명	A	C	F11
X	97.41	97.32	97.31
Y	2.34	2.18	2.32
Z	73.65	94.23	84.55
L*	97.41	97.32	97.31
a*	0.66	-0.16	0.22
b*	2.24	2.17	2.31
x	0.5618	0.5023	0.5283
y	0.0125	0.0113	0.0126

2) 내장형 분광광도계 시스템

그림 3에서 볼 수 있듯이 가시광선 영역에서 조명특성이 3가지의 유형으로 나타났다. x축은 주파수이고, y축은 반사율이다. 여러 지점에서 심한 peak점이 있는 것은 인버터식 형광등을 사용한 경우이다. 퍼짐의 정도가 심한 것은 백열등을 사용한 경우이며, 그중간의 형태를 취하고 있는 것은 형광등을 사용한 경우이다.

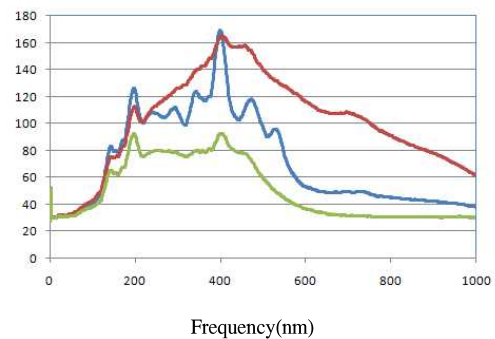


그림 3. 내장형 분광광도계 시스템 실험 결과
Fig. 3. Results of on-board Spectrophotometer System

3. 조명의 영향 분석

표준 색차계 시스템을 이용하여 측정된 Yxy값은 표 7과 같으며, 내장형 분광광도계 시스템의 Yxy좌표계 분석을 실시한 결과는 표 8과 같다.

표 7. 표준 색차계 시스템을 이용한 Yxy 분석 결과
Table 7. Analysis results of Yxy using Standard Spectrophotometer System

Illuminant	Yxy	A	F11	C
Teflon	Y	93.16	93.07	92.76
	x	0.4544	0.3840	0.3142
	y	0.4072	0.3801	0.3229
Red	Y	21.97	18.83	15.1
	x	0.6356	0.5976	0.5538
	y	0.3384	0.3446	0.3258
Yellow	Y	76.52	75.05	68.04
	x	0.5333	0.4969	0.4650
	y	0.4462	0.4711	0.4702
Green	Y	20.81	21.71	24.57
	x	0.3416	0.3229	0.2461
	y	0.5208	0.4913	0.4654
Blue	Y	8.93	8.49	11.8
	x	0.2871	0.2504	0.1848
	y	0.3856	0.2985	0.2725

실험결과는 각 조명에 따라 표준 색차계 시스템과 내장형 분광광도계 시스템의 차이는 표준편차 0.05 이내로 나타났다.

각각 개별 조명에서는 표준 반사물질과 빨강, 노랑, 초록, 파랑 색상지의 결과가 완전히 다르게 나타났지만, 두 시스템 간에는 거의 동일한 결과를 나타냈다.

표 8. 내장형 분광광도계 시스템을 이용한 Yxy 분석 결과
Table 8. Analysis results of Yxy using on-board Spectrophotometer System

Illuminant	Yxy	A	F11	C
Teflon	Y	92.37	92.15	92.77
	x	0.4232	0.3911	0.3099
	y	0.4012	0.3792	0.3199
Red	Y	21.33	18.54	15.14
	x	0.6356	0.5976	0.5538
	y	0.3384	0.3446	0.3258
Yellow	Y	75.27	74.67	68.56
	x	0.5278	0.4899	0.4721
	y	0.4478	0.4689	0.4699
Green	Y	20.72	21.85	24.63
	x	0.3402	0.3311	0.2564
	y	0.5231	0.4945	0.4631
Blue	Y	8.91	8.56	11.76
	x	0.2862	0.2532	0.1855
	y	0.3831	0.2977	0.2745

그림 4는 표준 반사물질의 분석 결과이다. 표준 색차계 시스템과 내장형 분광광도계 시스템은 개

별 조명에서는 거의 비슷한 경향의 결과를 보여주었다.

향후 비접촉 및 비파괴 검사 장치에 내장형 분광광도계 응용에서 조명을 일정하게 공급하고, 캘리브레이션을 정확하게 수행한다면 조명의 영향을 거의 받지 않는 시스템을 구성할 수가 있을 것으로 판단된다.

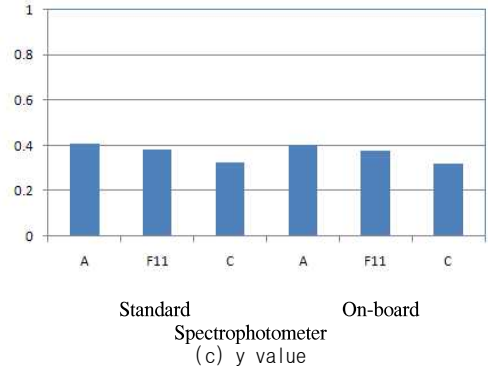
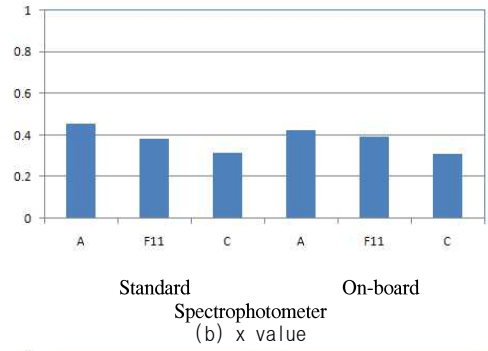
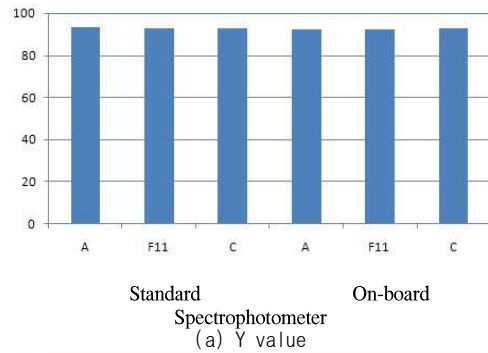


그림 4. 표준 반사물질 분석 결과
Fig. 4. Analysis results of Standard paper, Teflon

V. 결론

본 연구에서는 비접촉 측정 장치인 내장형 분광광도계의 조명 영향을 표준 색차계와의 비교 분석과 색상정보 좌표계 분석법을 이용하여 평가하였다.

1. 비접촉 및 비파괴 분광광도계 시스템 구성에서 각각의 조명에 대하여 조명이 미치는 특성인 감도와 반응이 다른 것으로 나타났다.
2. 표준 반사물질 이용한 조명특징 및 색상지(빨강, 초록, 파랑)의 측정에서 각 시스템의 조명에 따라 시스템에 직접적으로 많은 영향을 주는 것을 알 수가 있었다.
3. 색상 구분을 통한 대상체 검사는 조명의 선택에 따라 시스템 구축에 영향을 미치는 것을 알 수가 있었다.
4. 향후 연구에서 보다 다양한 색상별 최적 조명 선택에 대한 보완 연구가 이루어진다면, 시각정보시스템에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] K. H. Norris, J. E. Moore, J. S. Shenk, "Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy" J. Aim. Sci 33, pp. 889-897, 1976.

[2] 이상식, "칼라컴퓨터 시각시스템 구성에 따른 조명영향 평가", 성균관대학교 석사학위논문, 1995

[3] 김광수, 부덕희, 안정호,곽수영, 변혜란, "부분공간 기반 특징 추출기의 조명 변인에 대한 얼굴인식 성능 분석", 정보과학회논문: 소프트웨어 및 응용 34(7), July 2007.

[4] 류대현, 남승훈, 김용일, 김시찬, "영상처리 기법을 이용한 균열 진전 측정시스템 개발", Journal of the KIIS 17(4), November 2002.

[5] 전봉진, 이진석, 김대진, "이선형 조명 변환과 균등한 국부적 가벼 이진 패턴을 이용한 얼

굴인식", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 22, January, 2010.

[6] 최승호, 양경현, 권용식, 이종선, 성명훈, 김광현, 박광석, "안검카이모그래피: 영상처리를 이용한 새로운 동적 안검운동 분석도구", Korean J Otolaryngol 44(1140-4), 2001.

[7] 황선기, 김문환, 차샘, 조은석, 배철수, "실시간 눈과 시선 위치 추적", 한국정보전자통신 기술학회논문 2(3), June 2009.

저자약력

이 상 식(Sangsik Lee)

정회원



1993년 12월~2000년 6월 : LG전선(주) 연구소
 2000년 2월 : 성균관대학교 생명공학부 박사졸업
 2004년 6월~현재 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스센터 연구부교수 근무

<관심분야> 의료공학, 제어공학, 계측공학

이 충 호(Choongho Lee)

정회원



1996년 2월 : 성균관대학교 생명공학부 공학박사
 2000년 2월~2002년 3월 : 교토대학교 외국인공동연구자
 2005년 3월~현재 : 전주대학교 공과대학 생산디자인공학과 교수 근무

<관심분야> 의료공학, 제어공학, 생산공학