

LED 휘도의 디지털 제어 방식에 관한 연구

(A Study on Digital Control Method of LED Luminance)

강신호* · 염정덕**

(Shinho Kang · Jeongduk Ryeom)

요 약

발광다이오드(LED)의 휘도를 제어하는 기존 방식은 펄스폭변조(PWM)방식이 주로 사용되었다. PWM 방식은 LED의 점등시간비와 휘도가 비례하는 아날로그적인 방식으로 통신 등의 디지털 방식과는 호환이 어려운 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 디지털 방식으로 적, 녹, 청색 LED의 휘도를 제어하는 실험을 하였다. 이를 위해 LED 구동회로와 디지털 논리회로로 구성된 LED 디지털제어 장치를 개발하였다. 디지털 입력에 대한 적, 녹, 청색 LED의 점등 펄스 수를 제어하여 다양한 광색을 구현하고, 측정된 광색의 x, y 색도좌표가 원하는 색의 CIE 색도도 영역에 포함될 수 있도록 디지털 코드를 최적화시켰다. 본 연구 결과는 디지털 통신을 이용한 LED 램프의 원격 제어로 풀 컬러를 구현하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

Abstract

The pulse width modulation(PWM) method has been generally used as conventional method controlling luminance of LED(light emitting diode). PWM method as analog method with a relation that duty ratio of LED be proportional to luminance has weak point that it is not compatible with digital method of communication etc. In this paper, a experiment is conducted which the luminance of RGB LED be controlled by digital method. For this, the LED digital control system is developed which consist of LED driving circuits and digital logic circuits. By controlling the number of pluses on RGB LED versus digital input, various lighting colors is implemented and digital codes are optimized in order that measured x, y chromaticity coordinates of lighting colors are comprised in the CIE chromaticity coordinates area of targeted lighting colors. The result of this study can be utilized usefully in research on implementing full color by using remote control of LED lamp with digital communication.

Key Words : LED, Luminance, Digital Control, CIE Chromaticity Coordinates

* 주저자 : 송실대학교 대학원 전기공학과 석사과정

** 교신저자 : 송실대학교 전기공학부 부교수

Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125

E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr

접수일자 : 2009년 9월 17일

1차심사 : 2009년 10월 7일

심사완료 : 2009년 12월 14일

1. 서 론

근래에 들어 전 세계적으로 대두되고 있는 화석 연료(석유, 석탄, 천연가스)의 고갈이 에너지생산비용을

증가시키는 원인이 되고 있다. 따라서 일상생활에 사용되는 제품들 중 소비전력이 적은 고효율 제품들이 각광을 받고 있다. 또한 환경문제가 민감한 사항이 되면서 친환경 제품들의 개발이 요구되고 있다[1].

이와 같은 추세는 조명 분야에서도 적용되고 있다. 우리나라에 설치되어 있는 교통 신호등은 이미 대부분 발광 다이오드(LED; light emitting diode)로 대체되었고, 가로등도 점차 LED 램프로 교체되고 있으며, 또한 일상의 조명으로도 형광램프보다는 LED 램프를 이용하고자 하는 움직임이 보이고 있다. LED 램프는 납, 수은 등 유해물질을 사용하지 않고, 기존 광원보다 수명이 높다는 장점을 가지며 유리제품을 사용하지 않아 안정성이 높다[2-3]. 또한 적외선이나 자외선만을 발생시키는 LED제품을 제외하면 LED램프는 가시광선만을 발생시키므로 적외선에 의한 열방사가 적고, 컬러 필터를 사용하지 않아 효율이 높다. 수명과 효율이 높다는 장점 이외에도 LED램프가 각광을 받는 이유는 광량조절이 가능한 광원으로 적, 녹, 청색 LED의 조합으로 풀 컬러의 구현이 가능하여 감성조명으로 사용할 수 있다는 점이다[3-4]. 이러한 장점들을 바탕으로 사회 전반에 걸쳐 LED가 차세대 조명용 광원으로 인식되어 많은 산업체, 연구기관이나 학교에서 연구, 개발이 한창이다[2].

조명용 LED 휘도를 제어하는 종래의 방식은 주로 펄스폭변조(PWM; pulse width modulation)방식이 사용되었다[5]. PWM방식은 휘도가 점등유지시간의 비(duty ratio)에 비례한다는 점에서 아날로그적인 방식으로 볼 수 있으며 통신 등의 디지털방식과 호환하기 위해서는 디지털에서 아날로그로 변환하는 과정을 거쳐야 하므로 디지털방식과 직접 호환이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 LED의 휘도를 완전 디지털방식으로 제어하기 위하여 LED 구동회로와 디지털 논리회로를 개발하고, LED의 휘도를 디지털 제어하는 실험을 하였다. 이 실험을 통하여 얻은 결과 값을 분석하여 각종 광색에 대응하는 적, 녹, 청색의 디지털 코드를 최적화하여 LED의 디지털 제어 가능성을 확인하였다.

2. LED 디지털 제어 장치

그림 1은 종래의 PWM 구동 방식과 본 논문의 디지털 구동방식의 차이점을 보인 것이다. 한주기의 시간(8.3[ms]) 안에서 최대 밝기를 256단계로 나누고 이 중에서 168 만큼의 시간 동안 LED 램프를 점등할 경우, PWM 방식은 펄스가 입력되기 시작하는 부분부터 끝부분까지 연속적으로 LED가 점등된다. 반면에 본 논문의 디지털 방식은 2진 가중된 펄스가 각 [bit]에 해당되는 시간동안 이산적으로 입력되어 이 펄스의 개수만큼 LED가 점등된다.

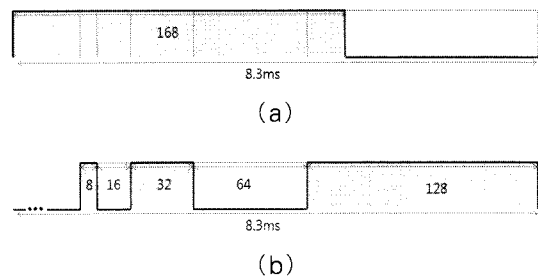


그림 1. (a) PWM과 (b) 디지털방식의 차이점 (168/256 점등의 예)

Fig. 1. The difference of (a) PWM and (b) digital method (The example of lighting 168/256)

그림 2는 본 연구에 사용된 LED 디지털 제어장치의 구성도이다. 이 장치는 디지털 논리회로의 구현에 Altera사의 FPGA(field programmable gate array)를 사용 하였다. 실험에서 입력되는 디지털 비트의 크기는 8비트로 정하였다. 8비트의 디지털 값을 입력하면 펄스발생기 모듈(Pulse Generator)에서 입력 값에 대응하는 펄스열이 발생된다. 발생된 펄스 들은 LED 구동회로의 FET gate단에 인가되고, 구동회로에 펄스가 입력된 시간 동안만 LED가 점등되도록 FET의 스위칭 타이밍을 제어한다. 구동회로는 저항과 FET로 구성된 간단한 회로를 사용하고, 저항에 의하여 LED에 흐르는 전류를 제어한다.

실험에서 사용된 LED는 지름이 5[mm]이며 적, 녹, 청색 3개의 LED가 하나로 패키징되어 있는 제품으로 각각 개별 제어할 수 있다. 적, 청, 녹색 LED를 각각

LED 위도의 디지털 제어 방식에 관한 연구

16개씩 병렬로 연결하여 LED 램프를 제작하였고, 적, 청, 녹색 LED 램프에는 각각 하나의 저항이 직렬로 삽입되어 있다. LED 램프의 기판 표면은 검은색 테이프를 부착하여 반사광의 영향을 최대한 감소시킴으로써 배광을 고려하지 않았다. LED 램프의 색도좌표와 휘도를 측정하기 위하여 Konica Minolta사의 cs-200을 사용하였다. 또한, 램프의 분광 스펙트럼을 측정하기 위하여 Ocean Optics사의 s2000을 사용하였다. LED 램프의 점등 주기를 16.6[ms](60[Hz])로 설정하여 실험한 결과 출력 광이 펄럭이는 플리커(flicker) 현상이 발생하여 이를 배속시킨 8.3[ms](120[Hz])로 주기를 정하여 출력 광을 안정시켰다. 적, 녹, 청색에 대응하는 디지털 값을 3개의 LED 램프에 동시에 입력하여 각 LED 램프를 동시에 점등시켰다.

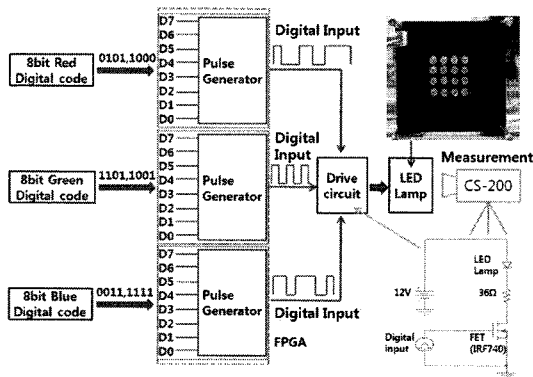


그림 2. LED 디지털 제어장치의 구성도
Fig. 2. Diagram of LED digital control system

그림 3은 색온도 6,500[K]의 백색광을 얻기 위해 최적화된 디지털 입력 값이다. 한주기를 255 등분하였으므로 펄스 1개에 해당하는 시간(T_1)은 약 32.549[μ s]이다. 디지털 입력 값의 각 비트는 각각의 펄스의 개수에 대응된다. 그리고 비트 값이 1일 때는 펄스가 입력되어 LED가 점등 상태를 유지한다. 예를 들어, 디지털 입력 값이 0000,0001일 때, 1개의 펄스폭인 T_1 의 시간만큼 LED가 점등되고, 0000,0010일 때는 2개의 펄스폭의 합인 $2 \times T_1$ 의 시간 동안 점등된다. 또한 1000,0000일 때는 128개의 펄스폭인 $128 \times T_1$ 의 시간 동안 점등된다. 8[bit]를 한 주기로 하였으므로 각 [bit]가 1일 때는 펄스의 개수의 합인 T_1 의 1, 2, 4, 8, 16, 32,

64, 128배 동안 LED가 점등되며 이들 [bit]의 조합으로 256단계의 밝기를 제어한다. 그리고 펄스와 펄스 사이의 휴지기는 없도록 설계하여 불필요한 시간의 낭비를 제거하였다.

그림 3에서 적색 LED에 0111,1011의 디지털 값을 입력할 경우, 한 주기 동안에 1, 2, 8, 16, 32, 64에 해당하는 펄스들이 각각의 할당된 시간만큼 입력되므로 총 $123 \times T_1$ 의 시간 동안 LED는 점등한다. 이때 그림에서 입력된 펄스는 굵은 선으로 표시하였다. 녹색 LED에도 역시 0111,1011의 디지털 값을 입력하여 총 $123 \times T_1$ 의 시간 동안 LED는 점등한다. 청색 LED에는 0100,0101의 디지털 값을 인가하여 총 $69 \times T_1$ 의 시간 동안 LED는 점등한다. 이 입력 값들로 LED 램프를 점등시켜 x, y 색도좌표를 측정된 결과 6500[K]에 근접한 6515[K]의 백색광을 얻었다.

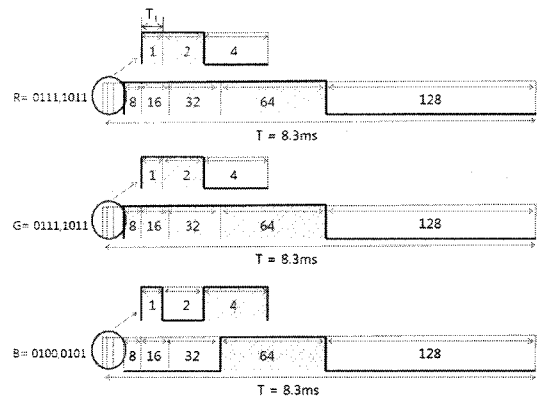


그림 3. 색온도 6,500[K] white의 디지털 입력 값
Fig. 3. Digital input values of color temperature 6,500K white

3. LED 램프의 특성

일반적으로 LED의 휘도제어방식으로 전압제어방식보다는 전류제어방식을 많이 사용한다. 전류제어방식을 많이 사용하는 원인 중 하나는 LED가 짧은 전압 구간에서 전류 변동이 큰 성질을 가지고 있기 때문이다[6]. 본 연구에서는 16개의 LED를 병렬로 연결하였으므로, LED 램프의 전기적 특성을 파악하기 위하여 V-I 특성실험을 진행하였다.

표 1은 LED 램프의 V-I특성을 실험적으로 측정하

표 1. 적, 녹, 청색 LED Lamp의 V-I 특성 값
(a) 적색 LED, (b) 녹색 LED,
(c) 청색 LED

Table 1. V-I characteristics values of RGB LED Lamp, (a) LEDs of RED, (b) LEDs of GREEN, (c) LEDs of BLUE

(a)

Input voltage[V]	LED voltage[V]	LED current[mA]
1.5	1.5	0
1.64	1.6	1.1
1.72	1.68	2.2
2.08	1.76	8.8
3.92	1.84	57.3
9.5	1.92	153.72
12	2	275.48

(b)

Input voltage[V]	LED voltage[V]	LED current[mA]
1.5	1.5	0
1.84	1.76	2.2
2.6	2.48	3.3
2.88	2.64	3.86
3.2	2.72	13.22
3.72	2.8	36.64
4.52	2.88	45.18
6	2.96	83.75
7.24	3.04	115.7
10.6	3.12	206.06
12	3.2	242.42

(c)

Input voltage[V]	LED voltage[V]	LED current[mA]
1	1	0
1.52	1.28	6.61
2	1.68	8.82
2.52	2.16	9.92
3	2.4	15.53
3.52	2.56	26.45
4	2.64	37.47
5	2.72	62.81
6.12	2.8	91.46
7.28	2.88	121.21
8.92	2.96	164.19
12	3.04	246.83

것이고 그림 4는 이것을 그래프로 나타낸 것이다. V-I 특성을 측정한 후 데이터 값을 분석한 결과 입력전압이 12[V]일 때 LED 램프의 순방향 전압강하는 적색

2[V], 녹색 3.2[V], 청색 3.04[V]였으며 이때 전류는 각각 275[mA], 242[mA], 247[mA]였다. 측정조건은 LED 램프의 순방향 전압이 순간적으로 변할 때의 입력전압을 측정하여 램프에 흐르는 전류를 계산하였다. 적색의 경우 1.76~2[V]구간, 녹색은 2.72~3.2[V]구간, 청색은 2.4~3.04[V]구간에서 큰 램프전류의 변동을 보였다. 즉, 적, 녹, 청색 LED 램프는 각각 V-I특성이 다르므로 동일 입력 전압에서 램프 전류 값이 모두 다르다.

현재 시판중인 지름 5[mm] LED의 V-I 특성을 보면 적색 LED의 전압강하는 2.2~2.7[V], 녹색과 청색은 3.6~4.0[V]로 적색 LED의 전압강하가 가장 낮다 [7-9]. 그러므로 이번 실험에서 제작한 적, 녹, 청색 LED 램프의 V-I 특성은 단품 LED의 그것과 유사하다고 할 수 있다. 표 1에서 입력전압이 12[V]인 경우 적색 LED에 흐르는 전류가 가장 크다. 그러므로 같은 전압을 인가하였을 경우 적색 LED에 정격전류 보다 많은 전류가 흐를 수 있으므로, LED 램프를 보호하기 위하여 가장 전류가 많이 흐르는 적색 LED를 기준으로 입력전압을 결정하였다.

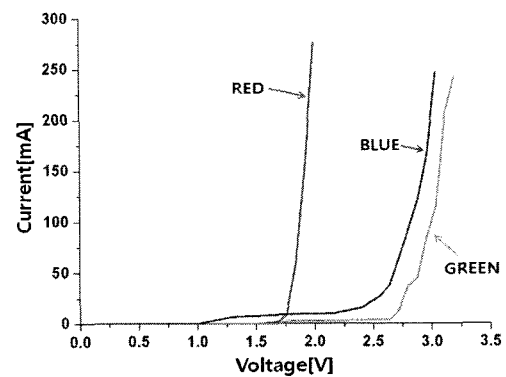


그림 4. 적,녹,청색 LED Lamp의 V-I 특성 곡선
Fig. 4. V-I characteristics curves of RGB LED Lamp

그림 5는 실험에 사용한 적, 녹, 청색 LED 램프의 분광 분포이다. 분광 분포의 측정은 Ocean Optics사의 s2000을 사용하였다. 이 장비는 200~1,100[nm]까지의 파장범위를 측정할 수 있으며 광학적 해상도는 0.3~10.0[nm]이다. s2000의 방사에너지 측정값은 절대

LED 휘도의 디지털 제어 방식에 관한 연구

적인 값이 아니라 상대적인 값이다.

동일한 12[V] 입력전압에서 적, 녹, 청색 LED 램프에 1111,1111(최대 입력값)의 디지털 값을 각각 입력하였을 때의 분광 분포를 측정된 결과, 실험에서 사용한 LED 램프는 적색 633.76[nm], 녹색 512.2 [nm], 청색 470.01[nm]에서 최대값을 가지며 청색의 최대값이 가장 높고, 녹색의 최대값이 가장 낮다. 이때 cs-200으로 측정된 휘도값들은 적색 12,430[cd/m²], 녹색 20,908[cd/m²] 그리고 청색 5,926[cd/m²]으로 녹색이 가장 높다.

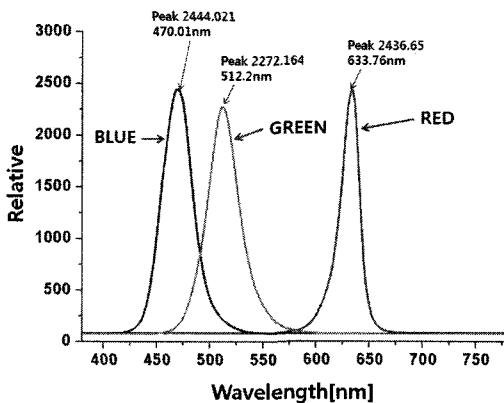


그림 5. 적, 녹, 청색 LED 램프의 분광 분포
Fig. 5. Spectrum distribution of RGB LED Lamp

4. LED 휘도제어 실험결과

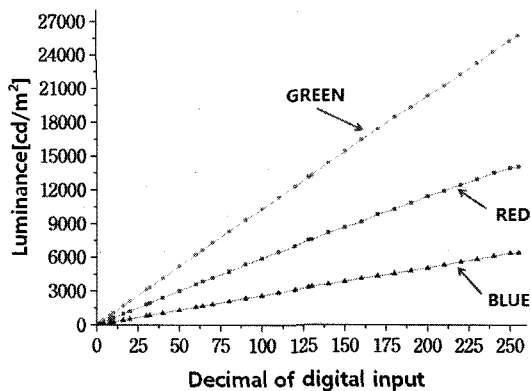


그림 6. 디지털 입력 값에 따른 적,녹,청색 LED의 휘도변화
Fig. 6. Luminance variation of RGB LED versus values of digital input(decimal)

그림 6은 디지털 입력을 십진수로 10단위씩 증가시켰을 때 적, 녹, 청색 LED 램프의 휘도변화를 나타낸 그래프이다. 그림으로부터 디지털 입력 값과 휘도는 비례관계라는 것을 알 수 있다. 그리고 입력에 따른 변화 폭이 가장 큰 것은 녹색 LED, 가장 작은 것이 청색 LED로 나타났는데 그 이유는 시감도가 고려되었기 때문이다. 디지털 입력과 휘도가 비례관계이므로 디지털 제어로 손쉽게 휘도를 변화시킬 수 있다.

그림 7은 CIE 색도도 상에 구현한 LED 램프의 광색에 대한 x, y 색도좌표 위치를 나타낸 것이다. 구현된 광색의 x, y 색도좌표는 CIE 색도도의 정의된 색 영역에서 가급적 중앙에 위치하도록 최적화하였다. 실험에서는 그림의 색도도 상에 표시한 점들의 광색을 모두 구현하였으나 이 중 대표적인 광색의 x, y 색도좌표 값만 논문에 나타내었다.

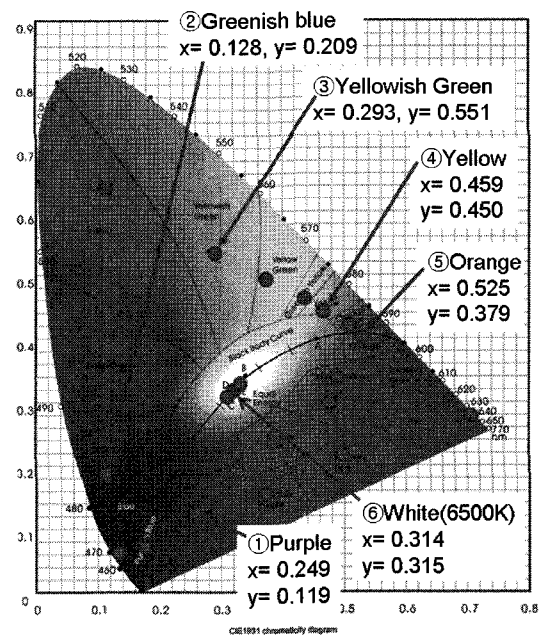


그림 7. 구현한 색의 CIE 색도도의 x,y 색도좌표 위치
Fig. 7. Position of x, y coordinate of implemented lighting colors in CIE chromaticity coordinates

표 2는 실험을 통하여 얻은 여러 가지 광색의 x, y 색도좌표, 휘도 및 디지털 코드 들이다. 풀 컬러를 구현하기 위해 디지털 코드를 입력하여 LED 램프를 점

등시키고 cs-200으로 색도좌표 및 휘도를 측정하였다. 이 측정값을 평가 기준이 되는 CIE 색도도의 x, y 색도좌표 값과 비교하여 입력 값을 최적화하였다. 실험의 정밀성을 높이기 위해 컬러마다 x, y 색도좌표 및 휘도를 20번씩 측정한 후 평균을 내어 결과 값을 도출하였다. 측정 시 입력전압은 12[V]로 일정하게 하였고, 이때 입력전류는 LED 램프를 보호하기 위하여 320[mA]에서 340[mA] 사이로 제한하였다. 또한 LED 램프에서 4.5[cm] 떨어진 전면에 확산판을 설치하여 적, 녹, 청색광이 균일하게 혼합되도록 하였다.

표 2. 색에 따른 디지털 입력 값과 휘도, xy 색도좌표
Table 2. Digital input, luminance and x,y chromaticity coordinate versus lighting colors

Color	Luminance [cd/m ²]	x	y	R-digital code	G-digital code	B-digital code
Purple	9407	0.249	0.119	0110.1100	0000.0000	1100.0001
Greenish blue	14900	0.128	0.209	0000.0000	1000.0110	1011.0000
Yellowish green	23171	0.293	0.551	0101.0101	1110.1100	0000.0000
Yellow	20045	0.459	0.450	1011.0000	1001.0011	0000.0000
Orange	17252	0.525	0.379	1101.0011	0101.1011	0000.0110
White (6515k)	17488	0.314	0.315	0111.1011	0111.1011	0100.0101

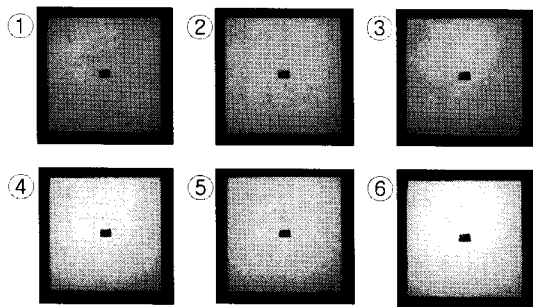


그림 8. 실험을 통하여 구현한 LED 램프의 광색
Fig. 8. Implemented lighting colors of LED Lamp through the experiment

그림 8은 실험을 통하여 구현한 LED 램프의 광색을 디지털 카메라로 촬영한 이미지이다. 이미지의 중앙에 있는 검은색 점은 카메라의 초점을 맞추기 위해 부착한 테이프로 램프의 색 좌표와 휘도 측정 시에는 부착하지 않았다. 이 그림으로부터 본 연구에서 개발한 LED 휘도 디지털 제어장치를 사용하면 다양한 광색

을 얻을 수 있다는 것을 알았다.

그림 9는 광색에 따른 디지털 입력 값을 십진수로 변환하여 막대그래프로 표현한 것으로 광색을 구현할 때 적, 녹, 청색이 각각 얼마나 섞였는지를 나타낸 것이다. purple의 경우 적색광이 108/255, 청색광이 193/255 섞여 있으며 백색의 경우 적색광이 123/255, 녹색광이 123/255, 청색광이 69/255 섞여 있다. 백색을 제외하면 그림의 x축에서 좌측은 파장이 짧은 영역이고 우측은 파장이 긴 영역을 뜻한다. 그러므로 짧은 파장의 광색에는 청색광의 비율이 크고 긴 파장의 광색에는 적색광의 비율이 큰 것을 알 수 있다.

그림 10은 꺾은 선 그래프로 표현한 광색에 따른 휘도와 x, y 색도좌표의 변화를 나타낸 것이다. x좌표는 녹색에서 최소값을 나타내고 점차 장파장영역으로 갈수록 증가하는 것을 볼 수 있다. y좌표와 휘도의 그래프는 변화하는 형태가 유사한 모습을 나타내고 있다. 휘도는 황녹색에서 23,171[cd/m²]의 최대값과 자주색에서 9,407[cd/m²]의 최저값을 얻었다.

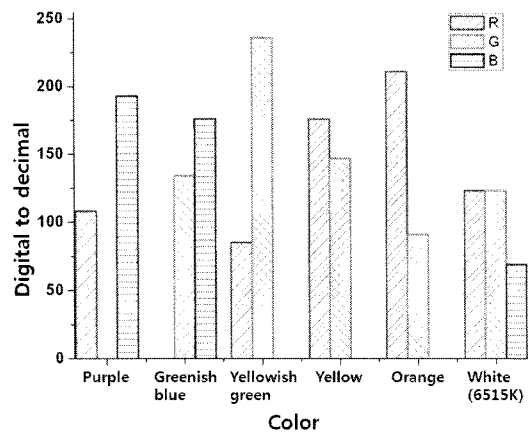


그림 9. 광색에 따른 디지털 입력의 십진수 값
Fig. 9. Decimal value of digital input versus lighting colors

그림 5에서 보인 바와 같이 분광계로 측정된 방사에너지는 방사계측(radiometry)값이고 휘도계로 측정된 값은 광계측(photometry)값이다[10]. 광계측값은 비시감도에 의하여 가중치된 광량과 비례한다[11]. 그러므로 분광 분포에서의 적, 녹, 청색광의 최대치의 비와 휘도에서의 최대치의 비는 다른 경향을 나타내며 동

일한 이유로 그림 10의 휘도 곡선은 비시감도 곡선과 유사한 형태를 나타내게 된다.

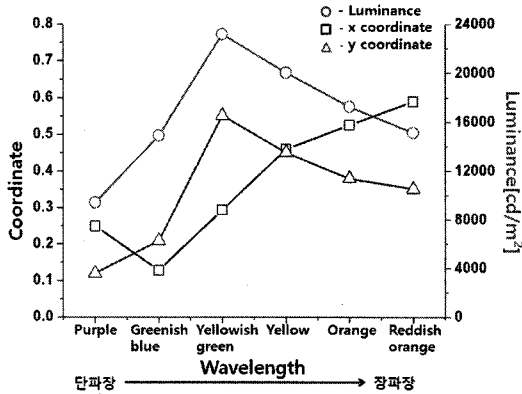


그림 10. 파장에 따른 광색별 휘도 및 x, y 색도 좌표 변화
 Fig. 10. Variation of iuminance and x, y chromaticity with each lighting colors versus wavelength

5. 결 론

본 연구에서는 적, 녹, 청색 LED 램프를 제작하고 램프의 V-I 특성을 측정하였다. 측정결과 V-I 특성은 적, 녹, 청색 LED 램프 모두 다르며 적색 LED의 순방향 전압강하가 가장 낮았다. 그러므로 LED 램프를 보호하기 위하여 적색 LED 램프를 기준으로 입력전압을 설정하였다. 또한 LED 램프를 점등시키기 위하여 LED 구동회로와 디지털논리회로로 구성된 LED 디지털 제어 장치를 개발하였으며 이 장치를 이용하여 적, 녹, 청색 LED 램프의 휘도를 디지털 제어하고 다양한 광색을 구현하는 실험을 하였다. 실험을 통하여 다양한 광색에 대응하는 적, 녹, 청색 LED 램프의 디지털 코드를 최적화하였다. 본 연구 결과는 디지털 통신을 이용하여 LED 램프를 원격 제어할 경우에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 보이며 추후에는 상대 계측한 분광 스펙트럼 데이터와 실 계측한 휘도 데이터를 토대로 적, 녹, 청색 LED 램프의 색 제어 함수를 이론적으로 도출할 필요가 있다.

본 연구는 송실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌습니다.

References

- [1] 장준호, 박병철, 최안섭, '시제품 조사를 통한 백색 LED의 기능적 특성에 관한 연구', 한국조명·전기설비학회 춘계 학술대회 논문집 pp.105-108, 5월 2007년.
- [2] 박창규, 조상묵, 이민진, 김진선, 김정수, 정희석, 이영주, 'Power LED의 신뢰성 평가 규격 비교 연구', 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp216-219, 5월, 2008년.
- [3] J. R. de Britto, A. E. Demian Jr., L. C. de Freitas, V. J. Farias, E. A. A. Coelho, J. B. Vieira Jr, 'A Proposal of Led Lamp Driver for Universal Input Using Cuk Converter', IEEE, pp2640-pp2644, 2008.
- [4] 주대영, '녹색성장의 총아인 LED 조명산업 발전전략', KIET 산업경제, pp14-pp23, 3월, 2009년.
- [5] L. Svilainis, 'Considerations of the Driving Electronics of LED Video Display' Proc. of ITI Int. Conf. on Information Technology Interface. pp431-436, June, 2007.
- [6] 한수빈, 'LED 조명용 전원의 설계기술 현황', 한국조명·전기설비학회지, pp39-pp49, 4월, 2003년.
- [7] Seoul Semiconductor, 'Specification LR770D', December 2007.
- [8] Seoul Semiconductor, 'Specification LT770D', December 2007.
- [9] Seoul Semiconductor, 'Specification LB770D', December 2007.
- [10] 장우진, 여인선, 김 훈, 이진우, 염정덕, 김수길, '최신 조명환경원론', 문운당, pp23, 2008.
- [11] IES lighting Handbook Reference Volume, Illuminating Engineering Society of North America, pp1-21, 1984.

◆ 저자소개 ◆

강신호 (姜信浩)

1983년 9월 2일생. 2009년 송실대학교 전기공학부 졸업. 현재 송실대학교 대학원 전기공학부 석사과정.

염정덕 (廉正德)

1960년 5월 14일생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992~1995년 LG전자(주) 영상미디어(연) 선임연구원. 1996년 日本 電氣·通信大學 外國人研究者. 1997년~1999년 삼성SDI(주) PDP팀 선임연구원. 2000~2005년 경주대학교 컴퓨터정보시스템공학부 조교수. 2006년~현재 송실대학교 전기공학부 부교수. 본 학회 이사.