



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

자연광과 동기화된 감성조명제어



2012年 2月

釜慶大學校大學院

制御計測工學科

金炳杉

工學碩士 學位論文

자연광과 동기화된 감성조명제어



釜慶大學校大學院

制 御 計 測 工 學 科

金 炳 杉

金炳杉의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2011年 12月



主 審 工學博士 邊 基 植



委 員 工學博士 黃 龍 淵



委 員 工學博士 金 萬 高



목 차

| | |
|------------------------------------|-----|
| 목차 | i |
| Abstract | iii |
| | |
| I. 서론 | 1 |
| 1.1 연구 배경 | 1 |
| 1.2 연구 목표 및 구성 | 2 |
| | |
| II. 이론적 고찰 | 3 |
| 2.1 감성조명 | 3 |
| 2.1.1 감성조명의 개요 | 3 |
| 2.1.2 감성조명의 필요성 | 4 |
| 2.2 자연광 | 6 |
| 2.2.1 자연광의 특성 | 6 |
| 2.2.2 색온도 산출식 | 8 |
| 2.2.3 연색성 | 15 |
| | |
| III. 감성조명 설계 | 16 |
| 3.1 LED 조명기구 설계 | 17 |
| 3.1.1 LED Chip 특성 | 17 |
| 3.1.2 LED 조명기구의 회로 설계 | 19 |
| 3.2 컬러센서 설계 | 20 |
| 3.3 LED 드라이버 및 디지털 제어기 설계 | 23 |
| 3.3.1 LED 드라이버용 IC 및 PSoC 특성 | 23 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 3.3.2 LED 드라이버 및 디지털 제어기 회로 설계 | 25 |
| 3.3.3 LED 드라이버 전류 설정 | 27 |
| 3.3.4 PSoC 내부 블록 및 UI 설계 | 29 |
| IV. 실험 및 고찰 | 33 |
| 4.1 감성조명 제작 | 33 |
| 4.1.1 LED 조명기구 | 33 |
| 4.1.2 컬러센서 모듈 | 34 |
| 4.1.3 LED 드라이버 및 디지털 제어기 | 35 |
| 4.2 실험 방법 및 결과 | 37 |
| 4.2.1 실험 방법 | 37 |
| 4.2.2 실험 결과 | 39 |
| 4.2.2.1 색온도, 조도, 연색지수 측정 | 39 |
| 4.2.2.2 연색지수 개선 | 41 |
| 4.2.2.3 컬러센서 모듈에 의한 색온도 측정 | 47 |
| V. 결론 | 49 |
| 참고문헌 | 51 |
| 부록 | 53 |
| 감사의 글 | 55 |

Emotional lighting control synchronized with natural light

Byeong-Sam Kim

*Department of Control & Instrument Engineering Graduate
School of Pukyong National University*

Abstract

The lighting accounts for 20% of electrical energy. So, the lighting industry is focusing on LEDs to next-generation light source due to energy depletion and environmental issues. Because LEDs are high efficiency, long life, low-power advantages.

The brightness of LEDs are changed by current control. Current control is used PWM dimming method. If the people use the RGB LEDs, the people can get a variety of colors, And if the people use the 백색 LEDs, the people can get a variety of color temperature and illuminance. Therefore, LED lighting can apply to buildings, parks, bridges on landscape lighting, And it can apply to emotional lighting indoor.

According to the color temperature and illuminance people feel different emotion. So, The spectral characteristics of natural light

change during the day, people produce various physiological responses. Therefore, LED lighting will improve the quality of lighting environments by controlling color temperature and illuminance.

This paper implement emotional lighting to stimulate the emotions of people by controlling color temperature and illuminance, and synchronized with natural light in real-time. In addition, To improve the quality of the lighting by adding Green LED improves color rendering index.

Emotional Lighting are composed LED lighting, constant-current LED driver, digital controllers and color sensors module. First, LED lighting was made using White LEDs of different color temperature. Second, Constant current LED driver was made using only constant current IC. Third, Digital controller for generating a PWM used the PSoC Program. Last, Color sensor was used to measure the color temperature of natural light in real-time.

I. 서론

1.1 연구 배경

요즘 에너지 고갈과 환경문제로 인해 에너지의 효율적 사용이 무엇보다 중요시 되고 있다. 그 중에서 조명에 사용되는 전기 에너지의 양이 약 20%를 차지하고 있어 최근 고효율 조명기구 개발에 대한 요구가 한층 높아지고 있는 상황이다. 만약 조명 효율을 25% 향상 시키면 적어도 2,500억[KWh]의 전력과 1억 5천만 톤의 CO₂를 절감 할 수 있을 것으로 기대됨으로 앞으로의 조명산업은 차세대 대체광원으로 고효율, 장수명, 저전력 등과 같은 장점을 가진 LED에 집중하고 있다[1],[2].

LED의 수명은 잦은 스위칭에 영향을 받지 않아 PWM 디밍 방식을 이용하여 LED 조도 제어에 사용하고 있다. 특정 파장대역의 LED를 혼합하여 넓은 범위의 색상을 얻을 수 있고, 백색 LED의 다양한 색온도를 조합하여 넓은 범위의 색온도를 얻을 수 있다. 그러므로 LED를 통해 건축물, 공원, 다리 등에 감성적인 경관조명으로 적용할 수 있고, 나아가 실내 공간에서도 감성적인 분위기를 연출할 수 있다[1],[2].

감성적인 분위기를 연출하는 조명을 감성조명이라 하며 조명의 색온도와 조도 및 연색지수를 조절하여 사람의 심리상태와 생체리듬에 맞게 적용하고 사람의 감성을 자극함으로써 삶의 질을 향상 시킬 수 있다. 특히, 사람은 자연광과 깊은 연관성이 있어 하루 동안 변하는 자연광의 스펙트럼 특성과 빛의 리듬, 계절적인 빛에 따라 사람은 다양한 생리적 반응을 일으킨다. 그러므로 하루에 끊임없이 변하는 자연광에 대해 조명의 색온도와 조도를 제어하여 빛을 연출할 경우 사람에게 심리적 효과를 줄 수 있다[3].

1.2 연구 목표 및 구성

본 논문에서는 사람의 감성을 자극하여 심리적 효과를 얻을 수 있는 조명으로 색온도와 조도 및 연색지수 제어가 가능한 감성조명을 구현하고 실시간으로 자연광의 특성을 측정하여 이에 따른 자연광 모사가 가능한 감성조명 제어 방법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 서로 다른 색온도를 가진 조명용 백색 LED와 녹색 LED를 배치하여 LED 조명기구를 설계하고 각 LED에 대한 구동 전류 제어를 통해 넓은 범위의 색온도와 조도, 연색지수를 제어한다. 각 LED의 전류 제어하는 디지털 제어기는 PSoC를 활용하여 PWM 디밍 방식을 사용하였고, 자연광의 색온도를 모사하기 위해 컬러센서의 활용방법에 대해 연구하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 1장은 서론으로 연구의 배경과 목표, 내용에 대해 소개하며 2장은 본 연구의 내용을 이해하기 위한 이론 부분으로 감성조명에 대한 개요와 필요성, 자연광의 특성, 색도좌표와 색온도 그리고 연색성에 대해 설명한다. 3장은 감성조명을 구현하기 위한 LED 조명기구와 컬러센서 모듈, LED 드라이버, 디지털 제어기 설계에 대하여 기술하고, 4장은 설계된 감성조명에 대한 실험결과를 기술한다. 마지막으로 5장은 실험결과를 바탕으로 감성조명에 대한 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 이론적 고찰

2.1 감성조명

2.1.1 감성조명의 개요

사람은 빛을 시각이 아닌 느낌으로 인지 할 수 있는 것은 사람의 신체 리듬은 빛과 관계가 있기 때문이다. 빛의 색온도와 조도의 변화가 인간의 감성을 자극하여 심리적 상태에 영향을 준다. 그러므로 조명은 단순히 어둠을 밝히는 기능에서 인간 중심적인 조명인 감성조명으로 발전하고 있다.

감성조명은 인간의 심리·생리적인 특성과 문화, 환경 경험 등을 고려하여 조명의 색온도와 조도 및 연색지수를 통해 조명의 질 높여, 조명을 이용하는 사람들에게 삶의 질을 높일 수 있는 조명이다[4],[5].

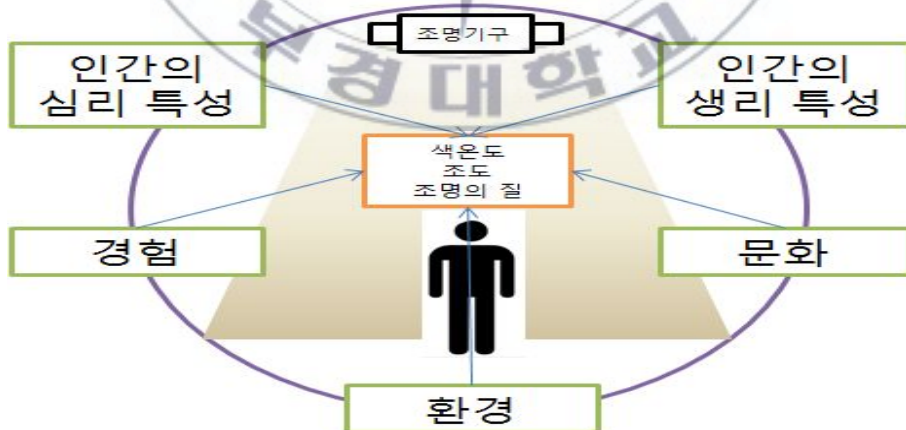


그림 2.1 감성조명의 정의[4]

Fig 2.1 The Definition of Emotional Lighting

2.1.2 감성조명의 필요성

조명은 사용 장소와 목적, 사용 대상 등에 따라 색온도와 조도를 다르게 적용할 경우 사람이 느끼는 감성에 영향을 미칠 수 있으며 이로 인해 업무의 효율성 또는 학습능력을 향상시키고, 실내 공간을 편안한 분위기로 조성할 수 있다.

그림 2.2는 Kruithof's 곡선으로 색온도와 조도 사이에 밀접한 관계가 있음을 보여준다. Kruithof's 곡선에서 색온도에 따라 사람이 편안함을 느끼는 조도영역이 존재하므로 색온도에 따른 알맞은 조도가 될 경우 편안한 조명환경을 만들 수 있다[6].

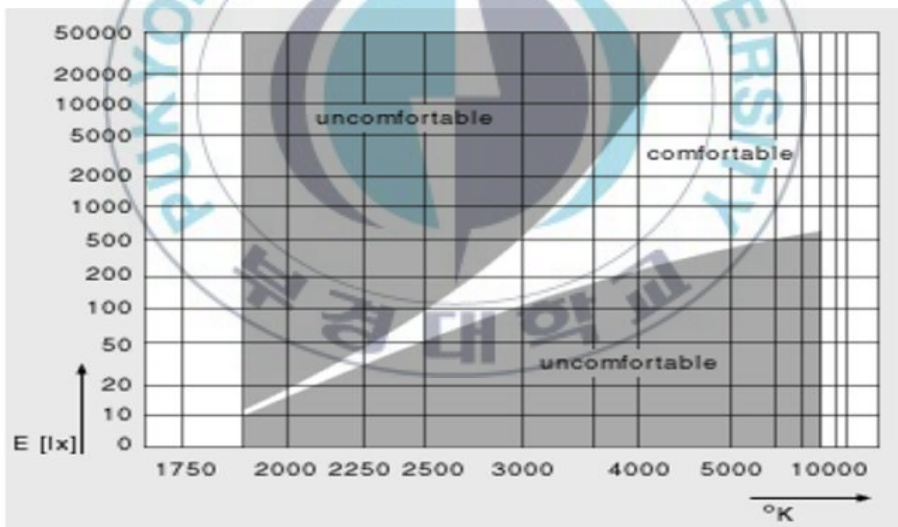


그림 2.2 Kruithof's 곡선[6]

Fig 2.2 Kruithof's curve

하지만, 동일한 조명환경에서도 사람들이 어떤 활동을 하느냐에 따라 느끼는 감정이 달라질 수 있기 때문에 Kruithof's 곡선으로 최적의 조명 환경을 연출하기에는 항상 유용하지 않다.

그림 2.3은 Kruithof's 곡선의 문제점을 보완하기 위해 Kruithof's 곡선 위에 사람의 실내 활동의 종류에 따라 선호하는 조명환경의 색온도와 조도영역을 구체적으로 나타낸 것이다. 실내 활동 중 대표적으로 가족모임 (gathering), 학습(studying), 휴식(relaxing), 수면(retiring)으로 나누어 나타낼 수 있다[6].

다양한 실내 활동유형을 모두 만족시키는 감성조명을 구현하기 위해 넓은 범위의 색온도와 조도가 요구되며, 연색지수가 증가할수록 조명의 질을 향상 시킬 수 있다.

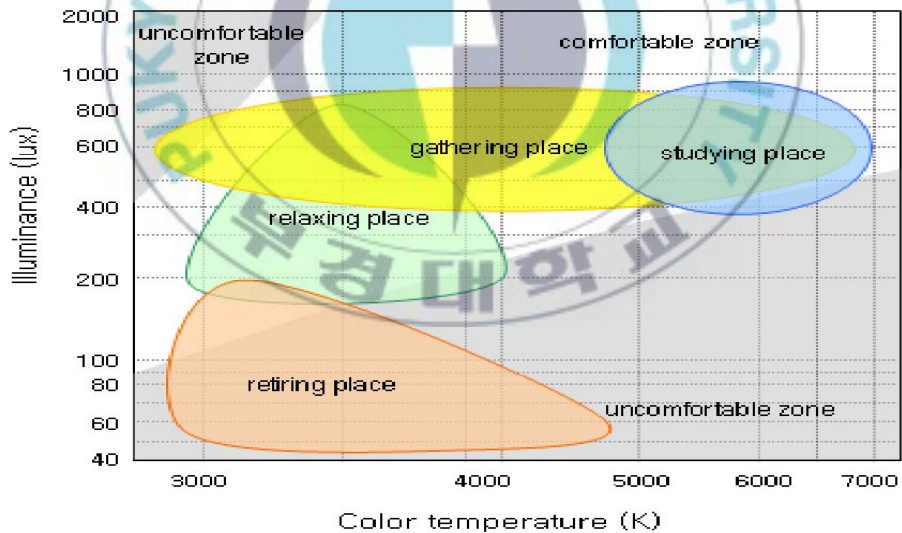


그림 2.3 실내 활동유형에 따른 색온도와 조도 선호영역[6]

Fig 2.3 Color temperature and illumination based on the type of indoor activities

2.2 자연광

2.2.1 자연광의 특성

빛은 전자기파의 일종이며 사람의 눈으로 인지할 수 있는 파장대역을 가시광선 대역이라고 하며 380[*nm*] ~ 780[*nm*]의 파장대역에 있다. 낮은 파장은 청색계열의 색을 가지며 높은 파장은 붉은색 계열의 색을 가지고 있다. 대기를 통해서 지상에 도달하는 태양복사의 광량의 가시광선 대역에서 파장대역 별로 가지고 있는 빛의 크기에 따라 자연광의 색온도가 변하게 된다. 그림 2.4는 빛의 전자파의 파장과 가시광선 대역을 나타낸 것이다[7].

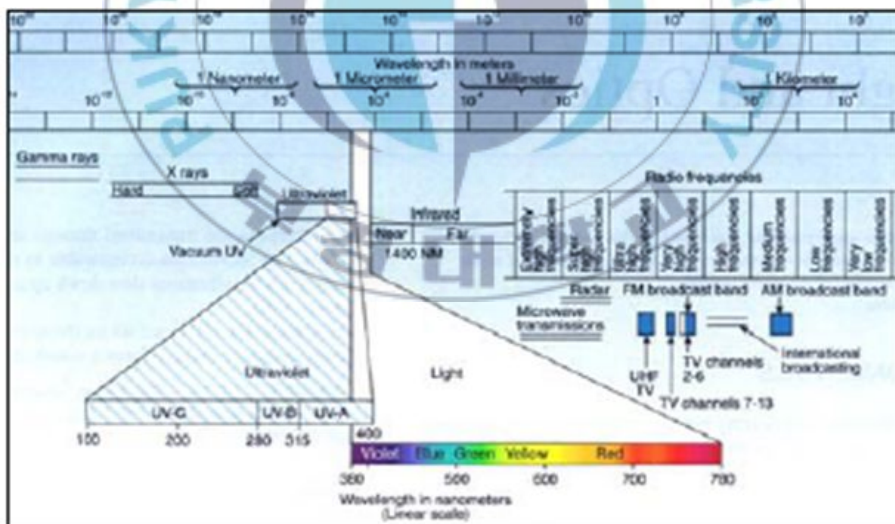


그림 2.4 빛과 색의 파장

Fig 2.4 Light and Color Wavelength

하루 동안 자연광의 변화를 색온도 관점에서 도식화 하면 그림 2.5와 같다. 자연광은 아침, 저녁에는 2500[K]~3500[K]의 낮은 색온도를 가진 붉은색 계열의 낮은 조도의 조명환경을 연출하고, 낮에는 4000[K]~7000[K]의 높은 색온도를 가진 푸른색 계열의 높은 조도의 조명환경을 연출한다[8].

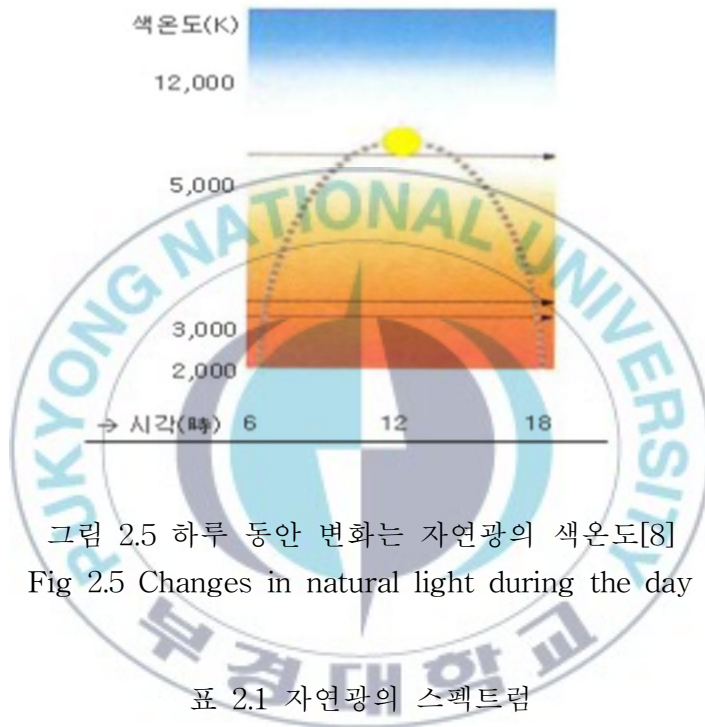


그림 2.5 하루 동안 변화는 자연광의 색온도[8]
Fig 2.5 Changes in natural light during the day

표 2.1 자연광의 스펙트럼

Table 2.1 The Solar Spectrum

| CCT | CIE chromaticity | | Spectral Distribution |
|------|------------------|---------|-----------------------|
| | x | y | |
| 5800 | 0.32551 | 0.33513 | |

2.2.2 색온도 산출식

색온도란 ‘온도’의 개념을 도입하여 어떤 색에 대해(백색을 포함한 무채색 영역) 좀 더 쉽게 설명하기 위한 것으로 CIE x y 색도좌표 위에 표시되는 수치보다 훨씬 직관적이며 이해하기 쉽다.

색온도의 사전적 의미는 “이상적인 흑체가 방출하는 빛의 색은 플랑크의 복사 법칙에 의해 온도에 의해서만 정해진다. 물체가 가시광선을 내며 빛나고 있을 때 어떤 온도에서의 흑체가 복사하는 색과 같아 보일 경우, 흑체의 온도와 물체의 온도가 서로 같다고 보고 그 온도를 물체의 색온도라고 한다. 즉, 물체의 색온도는 흑체의 온도(절대온도 K)로 표시된다.”라고 정의된다. 색온도가 높을수록 차가운 느낌의 푸른색 계열의 빛을 나타내고, 색온도가 낮을수록 따뜻한 느낌의 붉은색 계열의 빛을 나타낸다[9].



그림 2.6 색온도

Fig 2.6 Color Temperature

자연광은 흑체에 가까운 특성을 가지고 있기 때문에 색온도의 개념을 적용할 수 있지만 인공 광원의 경우 흑체와는 다른 궤적을 그리며 빛을 방사하기 때문에 흑체궤적과는 다르지만 유사한 빛의 색상에 대해 상관색온도의 개념을 적용한다. 그림 2.7은 흑체궤적과 상관색온도 궤적을 나타낸 것이다.

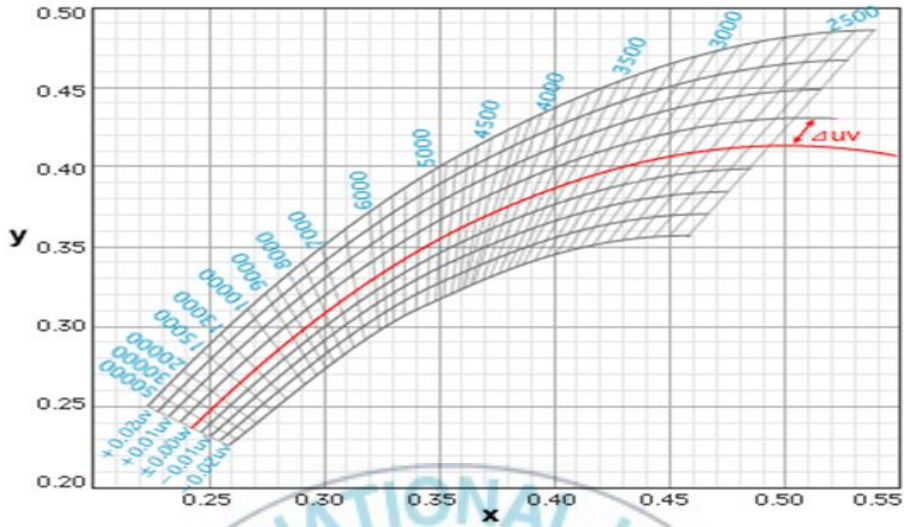


그림 2.7 상관색온도
Fig 2.7 Correlated Color Temperature

자연광 또는 인공 광원의 색온도를 산출하는 다양한 방법들 중에 대표적으로 Robertson방법, McCamy방법, 개선된 McCamy방법이 있다.

위의 방법을 통해 색온도를 산출하기 위해서 색도좌표가 필요하다. 색도좌표는 광원의 삼자극치 값을 이용하여 계산할 수 있으며 삼자극치는 등색함수인 $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ 에 근거를 두어 결정된다. 삼자극치는 어떤 광원에 포함된 적색, 녹색, 청색의 크기를 X, Y, Z로 나타낸 것이다. 삼자극치 X, Y, Z는 식(2.1)~(2.4)을 활용하여 계산할 수 있으며 그림 2.8은 삼자극치를 계산하기 위한 등색함수를 나타낸 것이다.

$$X = K \int_{vis} R(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (2.1)$$

$$Y = K \int_{vis} R(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2.2)$$

$$Z = K \int_{vis} R(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (2.3)$$

$$K = 100 / \int_{vis} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2.4)$$

여기서, $S(\lambda)$: 광원의 분광분포

$R(\lambda)$: 반사물체의 분광반사율

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: 등색함수

vis : 가시 파장영역

K : 비례상수

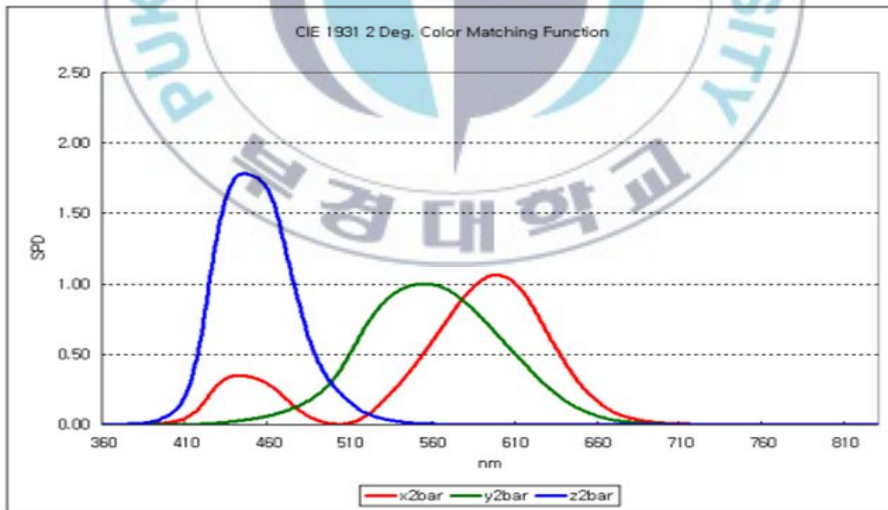


그림 2.8 등색함수

Fig 2.8 Color Matching Functions

식(2.1)~(2.4)에 의해 얻어진 광원의 삼자극치 X, Y, Z를 이용하여 색도좌표 x, y를 아래의 식(2.5) 이용하여 구해진다.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (2.5)$$

광원의 색도좌표를 2차원 평면상에서 나타낸 것은 그림 2.9의 CIE xy 색도좌표도이다. CIE xy 색도좌표는 최초로 도입된 것으로 좌표에 표시된 색들 간의 차이가 균일하지 못하다. 이 문제점을 해결하기 위해 도입된 것이 그림 2.10의 CIE u'v' 색도좌표도이며 u', v'는 아래의 식(2.6)을 이용하여 구해진다.

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z}, \quad v' = \frac{6Y}{X+15Y+3Z} \quad (2.6)$$

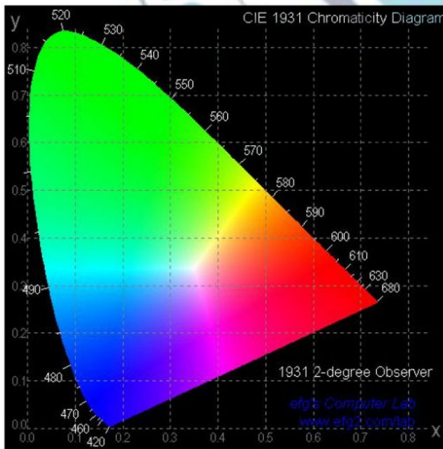


그림 2.9 CIE xy 색도좌표
Fig 2.9 CIE xy Chromaticity
Diagram

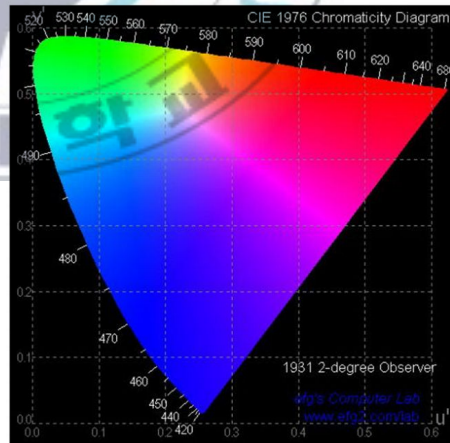


그림 2.10 CIE u'v' 색도좌표
Fig 2.10 CIE u'v' Chromaticity
Diagram

삼자극치에 의해 얻어진 x, y 색도좌표와 u', v' 색도좌표를 이용하여 색온도를 산출한다.

먼저 Robertson방법에 의한 색온도 산출은 그림 2.11과 같이 CIE 1960 UCS 색도도 위에 색온도가 T_n 이고 기울기가 m_n 인 등색온도선 31개와 흑체궤적을 그려 넣은 후 u', v' 색도좌표를 (u_T, v_T) 로 표시한다. 색도좌표가 j 번째와 $j+1$ 번째 등색온도선 사이에 있을 경우 다음 식(2.9)을 활용하여 색온도를 산출한다. 식(2.11)의 θ_1, θ_2 는 측정광원의 색도좌표 (u_T, v_T) 와 주변의 등색온도선과의 각도로 식(2.9)로 변환할 수 있다.

Robertson방법은 측정광원의 색도좌표와 좌표 주변의 등색온도선과의 거리에 따라 보정하는 식으로 정확한 색온도를 산출할 수 있다[10],[11].

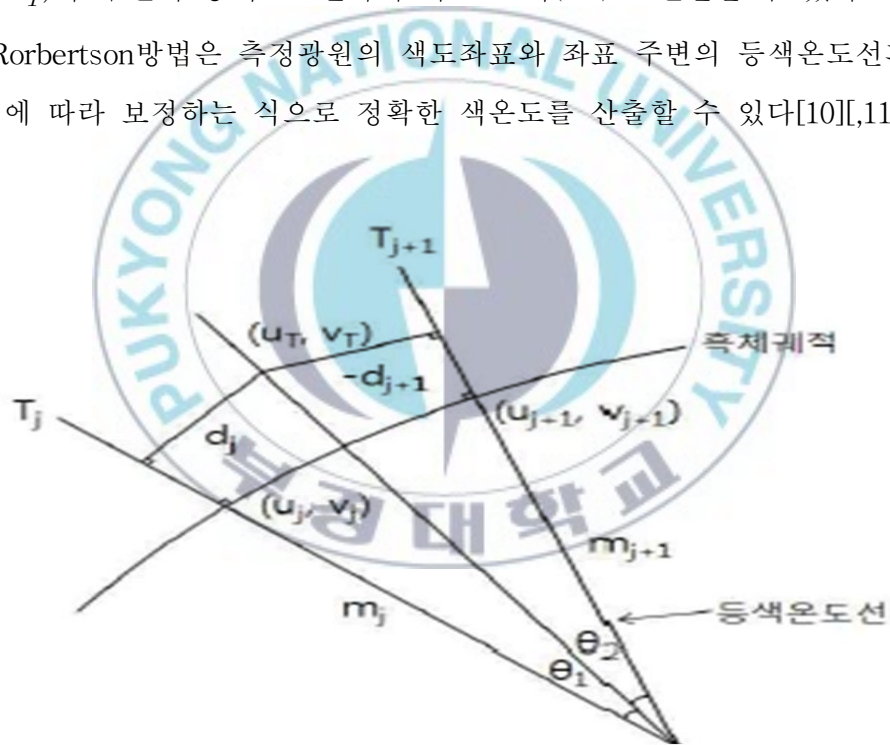


그림 2.11 Robertson방법에 의한 상관색온도 계산[10],[11]

Fig 2.11 Robertson methods for CCT calculations

$$d_j = \frac{[(v_T - v_j) - m_j(u_T - u_j)]}{\sqrt{1+m_j^2}} \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{T_C} = \left[\frac{1}{T_j} + \frac{\theta_1}{\theta_1 + \theta_2} \left(\frac{1}{T_{j+1}} - \frac{1}{T_j} \right) \right] \quad (2.8)$$

$$\frac{1}{T_C} = \left[\frac{1}{T_j} + \frac{d_j}{d_j + d_{j+1}} \left(\frac{1}{T_{j+1}} - \frac{1}{T_j} \right) \right] \quad (2.9)$$

여기서 d_j : 광원의 (u_T, v_T) 와 등색온도선 T_j 의 최단거리

(u_j, v_j) : j번째 등색온도선과 흑체궤적의 교점

T_C : 측정광원의 상관색온도

θ_1, θ_2 : 광원의 (u_T, v_T) 와 j와 j+1번째 등색온도선 사이의 각도

다음 색온도 산출방법은 McCamy방법으로 식(2.10)과 같이 색도좌표 x, y로부터 색온도를 산출하는 방법으로 복잡하지 않고 간편하게 색온도를 산출 할 수 있다.

Javier Hernandez-Andres등 3명에 의해 개선된 McCamy방법은 직사일광과 천공광의 색온도 범위 전체에 대한 색온도를 산출하기 위해 식(2.11)으로 개선하였으며, 표 2.2는 식(2.11)에 사용되는 상수로 색온도 범위에 따라 두 가지 경우로 구분되어 사용된다[10],[11].

$$T = -437n_1^3 + 3601n_1^2 - 6861n_1 + 5514.31 \quad (2.10)$$

$$CCT(x, y) = A_0 + A_1 \exp(-n_2/t_1) \quad (2.11)$$

$$+ A_2 \exp(-n_2/t_2) + A_3 \exp(-n_2/t_3)$$

여기서 $n_1 : (x - 0.3320)/(y - 0.1858)$

$n_2 : (x - x_e)/(y - y_e)$

표 2.2 개선된 McCamy방법의 상수

Table 2.2 Constants of improved McCamy methods

| 색온도 | 3,000 ~ 50,000 [K] | 50,000 ~ 800,000 [K] |
|-------|--------------------|--------------------------|
| x_e | 0.3366 | 0.3356 |
| y_e | 0.1735 | 0.1691 |
| A_0 | -949.86315 | 36284.48953 |
| A_1 | 6253.80338 | 0.00228 |
| t_1 | 0.92159 | 0.07861 |
| A_2 | 28.70599 | 5.4535×10^{-36} |
| t_2 | 0.20039 | 0.01543 |
| A_3 | 0.00004 | - |
| t_3 | 0.07125 | - |

2.2.3 연색성

연색성은 빛이 색에 미치는 효과를 나타내는 광원의 중요한 성질의 하나로 광원의 어떤 물체에 빛을 주었을 때 본래의 색을 얼마만큼 잘 재현을 시키느냐를 의미한다. 광원의 에너지 분포가 균일할수록 연색성이 좋으며 그 정도를 연색성 평가지수(Color Rendering Index ; CRI)라고 하며 단위는 Ra로 나타낸다. 또한, 연색성은 색온도와는 다른 성질로 광원의 색온도가 서로 같다고 하더라도 연색성이 다른 경우는 색재현성이 서로 다르다[7].

연색지수 측정하기 위해 색온도에 따라 변하는 흑체복사 스펙트럼과 광원의 스펙트럼을 비교한다. 그 유사 정도는 8가지 시험 색들을 이용하여 색차를 구한 후 색차의 평균치에 100으로 나눈 것으로 구할 수 있다. 이 때, 색차가 작을수록 연색지수는 100에 가깝고 100에 가까워질수록 “광원의 연색성이 좋다”라고 말한다.



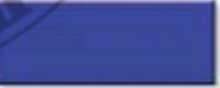






| R _a | Colour rendering of different phosphors | | |
|----------------|---|---|--|
| >90 | LUMILUX® DE LUXE  |  |  |
| 80-89 | LUMILUX®  |  |  |
| <80 | BASIC  |  |  |

그림 2.12 CRI 변화에 따른 색상의 변화(예)[7]

Fig 2.12 Color differences depending on CRI(ex.)

Ⅲ. 감성조명 설계

본 장에서는 감성조명 구현 및 제어를 위해 하드웨어와 소프트웨어 부분으로 구분할 수 있다. LED 조명기구, 컬러센서 모듈, LED 드라이버, 디지털 제어기와 같은 하드웨어 부분과 컬러센서의 출력 값을 UI(User Interface)를 통해 모니터링하고, 자연광의 색온도를 산출하여 LED 조명기구의 전류를 제어하여 다양한 색온도와 조도 및 연색지수를 연출하는 프로그램을 설계하여 자연광과 동기화된 감성조명을 구현한다.

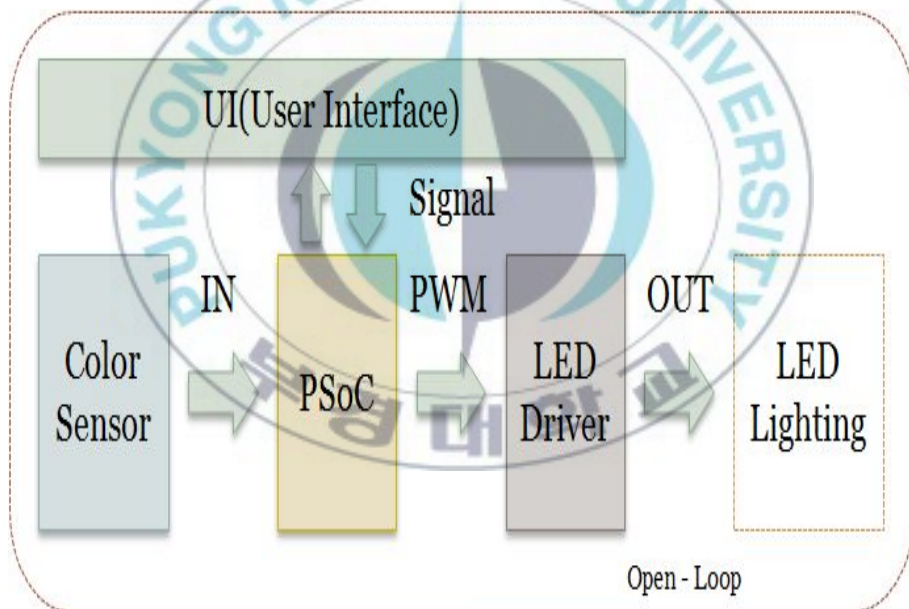


그림 3.1 감성조명제어 블록도

Fig 3.1 Block Diagram of Emotional Lighting control

3.1 LED 조명기구 설계

3.1.1 LED Chip 특성

색온도와 조도 가변이 가능하고 고연색지수를 가진 LED 조명기구 설계는 낮은 색온도를 가진 Warm White계열과 높은 색온도를 가진 Cool White계열의 백색 LED를 사용한다. 서로 다른 색온도를 가진 백색 LED를 서로 혼합할 경우에는 색온도의 최대값은 Cool White에 의해, 최소값은 Warm White에 의해 결정된다.

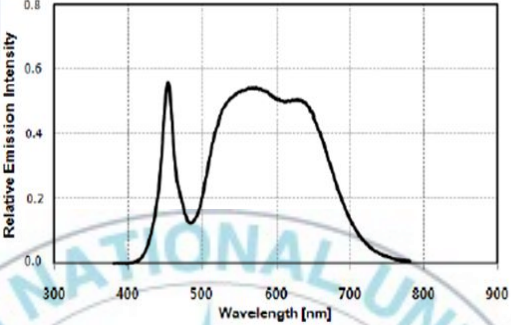
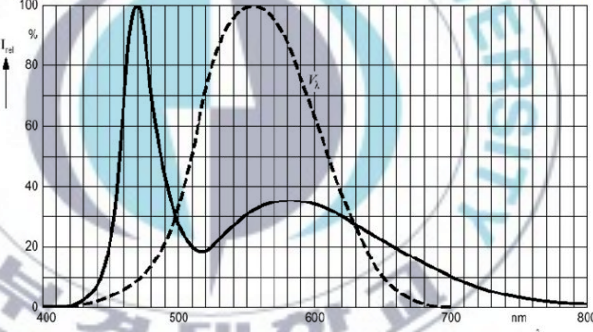
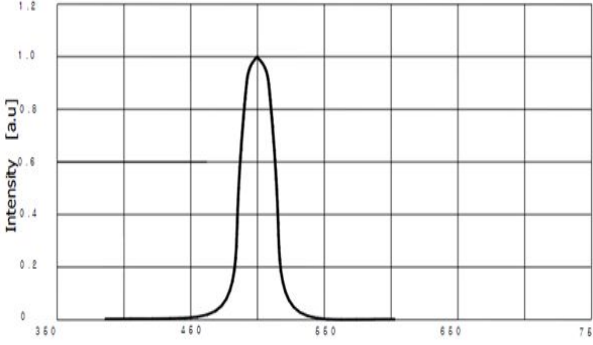
LED 조명기구는 3300[K]의 Warm White LED와 5500[K]의 Cool White LED, 그리고 녹색 LED를 배치한다. 이때, 녹색 LED는 조명기구의 연색지수를 개선하기 위하여 사용된다.

표 3.1 백색 LED의 전기적 및 물리적 특성

Table 3.1 Electrical and Physical Characteristic of White LED

| 종류 | 동작 전압[V] | | 동작 전류 [mA] | CCT[K] | | CRI | 파장 [nm] | |
|-------|----------|-----|------------|--------|------|-----|---------|-----|
| | min | max | | min | max | | min | max |
| W/W | 3.0 | 3.1 | 60 | 3300 | 3450 | 90 | · | · |
| C/W | 3.1 | 3.2 | 60 | 5000 | 5600 | 75 | · | · |
| Green | 3.1 | 3.2 | 60 | · | | · | 500 | 505 |

표 3.2 백색 LED의 스펙트럼
 Table 3.2 Spectrum of White LED

| CCT | Spectrum |
|-------|--|
| 3300 | <p>7. Luminous Intensity. vs Wavelength Distribution, based on $T_A = 25^\circ\text{C}$</p>  |
| 5600 | <p>$V(\lambda)$ = standard eye response curve $(T_A=25^\circ\text{C}, I_f=60\text{mA})$</p>  |
| Green |  |

3.1.2 LED 조명기구의 회로 설계

LED 조명기구의 회로를 구성할 때 LED의 직·병렬연결은 입력 전압과 전류에 따라 결정된다. 만약, 너무 많은 수의 LED를 직렬연결 할 경우 LED에서 발생하는 전압강하로 인해 LED 사이에 광량 차이가 발생하여 고른 배광특성을 얻기 어렵다. 반면, LED를 병렬로만 연결 할 경우 입력 전압이 낮은 대신 전류의 크기가 LED 개수만큼 커지므로 배선 구조나 전선의 연결 시에 굵은 전선을 사용해야하는 단점이 있다[1].

이를 바탕으로 LED 조명기구의 입력전압은 12[V]로 결정하고 LED의 동작 전압과 전류를 고려하여 회로를 설계한 결과는 LED 조명기구는 36개의 Cool White LED와 18개의 Warm White LED, 9개의 Green LED를 사용하여 그림 3.2와 같이 Cool White LED는 3직렬 12병렬, Warm White LED는 3직렬 6병렬, 녹색 LED는 3직렬 3병렬 구조를 가지고 있다.

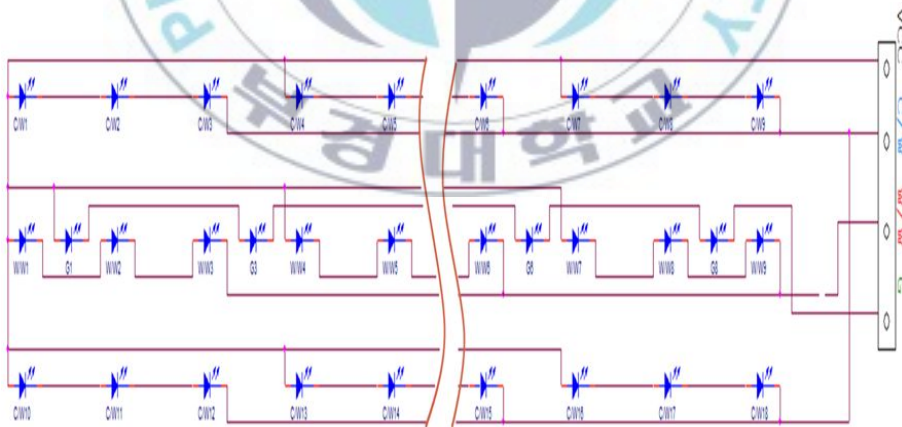


그림 3.2 LED 조명기구 회로 구성
Fig 3.2 Circuit of LED Lighting

3.2 컬러센서 설계

자연광과 동기화하여 감성조명을 구현하기 위해 컬러센서를 활용하여 Red, Green, Blue에 해당하는 삼자극치 X, Y, Z의 크기를 측정하고 이에 따른 센서 출력을 이용하여 자연광의 색온도를 산출하고 그에 따른 LED 구동 전류를 제어한다.

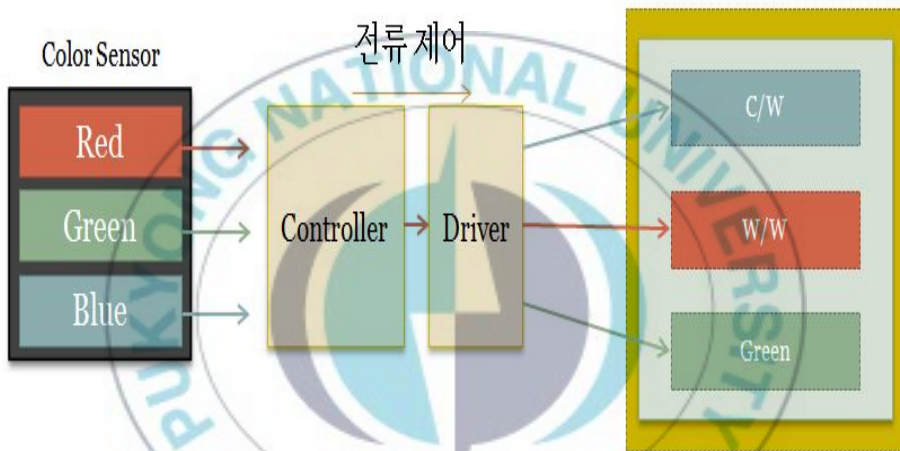


그림 3.3 컬러센서 블록도

Fig 3.3 Color-Sensor Block Diagram

본 논문에서 사용된 컬러센서 TCS2300은 빛의 크기를 주파수로 변환하여 출력한다. TCS2300은 Red, Green, Blue의 포토다이오드로 구성되어 있으며 출력단자는 하나뿐이다. 그러므로 Red, Green, Blue의 포토다이오드를 동시에 사용하여 빛을 감지 할 수 없으며 S_2, S_3 핀에 의해 측정할 Red, Green, Blue의 포토다이오드를 결정한다.

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | CLEAR PHOTODIODE S2 = H, S3 = L | | | BLUE PHOTODIODE S2 = L, S3 = H | | | GREEN PHOTODIODE S2 = H, S3 = H | | | RED PHOTODIODE S2 = L, S3 = L | | | UNIT |
|---------------------------------|---|------------------------------------|-----|-----|-----------------------------------|------|------|------------------------------------|------|------|----------------------------------|-----|-----|------|
| | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| f _o Output frequency | E _e = 45.6 μW/cm ² , λ _p = 470 nm | 16 | 20 | 24 | 11.2 | 16.4 | 21.6 | | | | | | | kHz |
| | E _e = 39.2 μW/cm ² , λ _p = 524 nm | 16 | 20 | 24 | | | | 8 | 13.6 | 19.2 | | | | kHz |
| | E _e = 32.8 μW/cm ² , λ _p = 635 nm | 16 | 20 | 24 | | | | | | | 14 | 19 | 24 | kHz |
| | E _e = 0 | | 2 | 12 | | 2 | 12 | | 2 | 12 | | 2 | 12 | Hz |

(a) Type 1 of Output frequency

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | CLEAR PHOTODIODE S2 = H, S3 = L | | | BLUE PHOTODIODE S2 = L, S3 = H | | | GREEN PHOTODIODE S2 = H, S3 = H | | | RED PHOTODIODE S2 = L, S3 = L | | | UNIT |
|--|---|------------------------------------|------|------|-----------------------------------|-----|-----|------------------------------------|-----|------|----------------------------------|-----|-----|------|
| | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| f _o Output frequency (Note 9) | E _e = 47.2 μW/cm ² , λ _p = 470 nm | 12.5 | 15.6 | 18.7 | 61% | 84% | 22% | 43% | 0% | 6% | | | | kHz |
| | E _e = 40.4 μW/cm ² , λ _p = 524 nm | 12.5 | 15.6 | 18.7 | 8% | 28% | 57% | 80% | 9% | 27% | | | | |
| | E _e = 34.6 μW/cm ² , λ _p = 640 nm | 13.1 | 16.4 | 19.7 | 5% | 21% | 0% | 12% | 84% | 105% | | | | |

(b) Type 2 of Output frequency

그림 3.4 TCS2300의 출력 주파수
Fig 3.4 Output frequency of TCS2300

각 포토다이오드에 따른 빛의 출력 감도는 그림 3.4의 (a)와 같이 다르
고, 각 포토다이오드는 특정 파장대역의 빛만 출력하는 것이 아니라 그림
3.4의 (b)와 같이 각 파장대역에 대한 전체 주파수의 출력 주파수 비를
가지고 있다. 그러므로 색온도 계산에 필요한 X, Y, Z 값은 각 포토다이
오드에서 출력되는 각 파장대역의 빛의 크기를 구분해야 한다.

삼자극치 X, Y, Z는 아래의 식(3.1)~(3.4)을 이용하여 얻을 수 있다. 그리고 색도좌표는 식(3.5)을 이용하여 구하고, 색온도는 식(3.6)을 이용하여 구한다.

$$f_R = \frac{f_{out_R}}{0.58}, \quad f_G = \frac{f_{out_G}}{0.34}, \quad f_B = \frac{f_{out_B}}{0.36} \quad (3.1)$$

$$X = (f_R \times 1.05) + (f_G \times 0.12) + (f_B \times 0.21) \quad (3.2)$$

$$Y = (f_R \times 0.27) + (f_G \times 0.8) + (f_B \times 0.28) \quad (3.3)$$

$$Z = (f_R \times 0.06) + (f_G \times 0.43) + (f_B \times 0.84) \quad (3.4)$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (3.5)$$

색온도는 McCamy방법을 이용하여 산출한다.

$$T = -437n_1^3 + 3601n_1^2 - 6861n_1 + 5514.31 \quad (3.6)$$

여기서 $n_1 : (x - 0.3320)/(y - 0.1858)$

TCS2300의 출력 주파수는 50%의 Duty Cycle을 가진 구형파로 S_0, S_1 핀에 의해 출력 주파수의 Scale이 결정된다.

3.3 LED 드라이버 및 디지털 제어기 설계

3.3.1 LED 드라이버용 IC 및 PSoC 특성

LED는 전류 크기에 따라 광량이 결정되므로 LED 조명기구의 안정된 동작을 위해 드라이버 방식을 정전압 보다 정전류를 선호한다. 정전류 드라이버에 의해 안정된 전류가 공급될 경우에는 LED 사이에 광량 차이가 줄어 고른 배광을 얻을 수 있다.

본 논문에서 사용된 AMC7140 IC 회로구성이 간단하고 700[mA]까지 안정적인 전류를 공급한다. AMC7140 IC는 5[V]~50[V]의 넓은 입력 전압을 가진 IC로 출력 전류는 외부저항 R_{SET} 에 결정되며, PWM 신호를 OE 핀으로 인가될 경우 PWM Duty 비에 따라 출력 전류의 크기가 가변된다. 정전류 IC에서 발생하는 열은 LED 전압강하 후 남은 전압과 출력 전류에 비례하여 발생하므로 이에 따른 방열판이 필요하다.

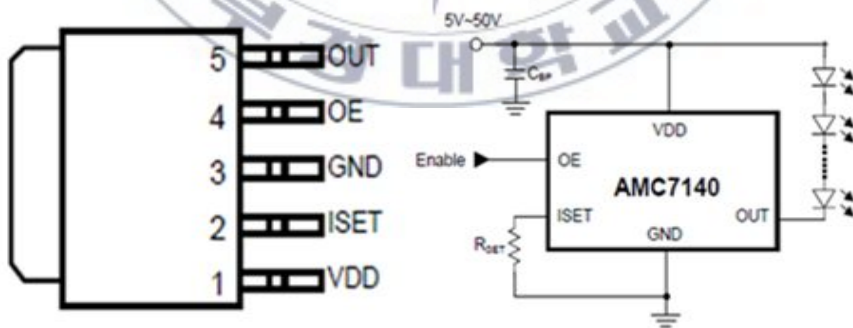


그림 3.5 AMC7140

Fig 3.5 Circuit of AMC7140

디지털 제어기의 MCU로 사용된 PSoC(Programmable System on Chip)는 임베디드 시스템에서 일반적으로 사용되는 다양한 기능들을 한 개의 칩에 집약한 디바이스로 그림 3.6에서 표현된 바와 같이 MCU에 다양한 기능을 설정하여 사용한 혼합 시그널 어레이(Mixed-signal array)로서 FPGA의 구성능력 및 ASIC의 집적화를 조합한 마이크로컨트롤러이다.

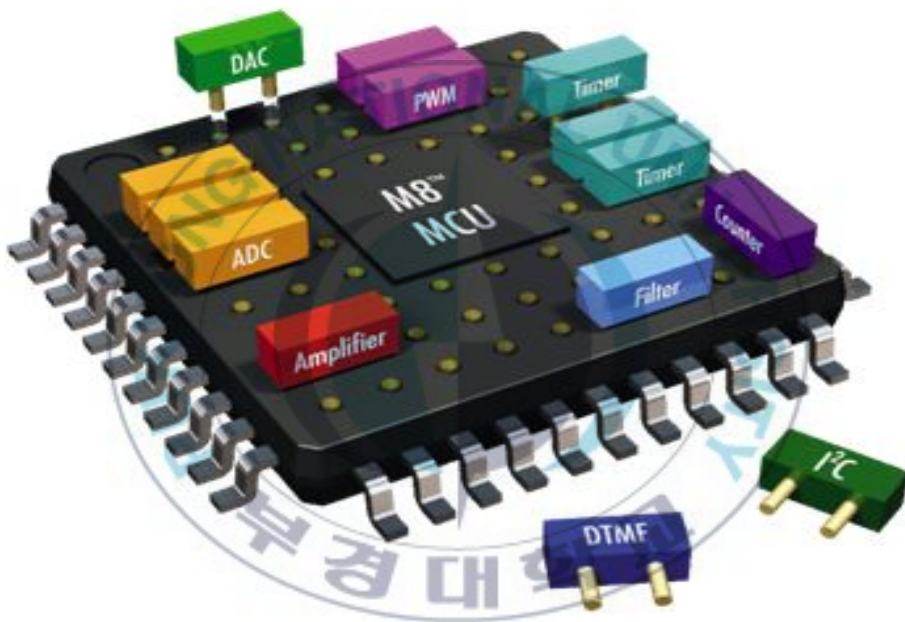


그림 3.6 PSoC의 개념[12]
 Fig 3.6 Concept graphic of PSoC

PSoC는 디지털 블록과 아날로그 블록을 내장하고 있으며, 아날로그 블록은 A/D, D/A, 증폭기, 아날로그 필터 등의 아날로그 모듈을 구현할 수 있고, 디지털 블록은 카운터, 타이머 및 PWM등 디지털 모듈을 구현할 수 있는 공간이다.[12]

3.3.2 LED 드라이버 및 디지털 제어기 회로 설계

LED 드라이버의 회로는 그림 3.7과 같이 각 LED를 독립적으로 구동하기 위한 정전류 LED 드라이버용 IC 3개와 각 드라이버의 출력 전류를 결정하는 외부저항, 추가적인 부품들로 간단하게 구성된다. SMPS의 출력 전압은 IC의 Vcc 핀으로 입력되고 컨트롤러에서 발생하는 PWM 신호는 OE 핀으로 입력된다. 그리고 OUT 핀에는 LED의 (-)극이 연결된다.

그림 3.8은 디지털 제어기와 LED 드라이버, 컬러센서 모듈을 연결한 회로이다. 디지털 제어기에서 PWM 출력 포트는 각 LED 드라이버에 연결되고 컬러센서의 각 포토다이오드를 설정하기 위해 컬러센서 모듈의 S_2, S_3 에 출력 포트가 연결된다. 마지막으로 통신 포트를 통해 UI(User Interface)와 서로 데이터를 주고받을 수 있도록 RS-232 통신을 설계한다.

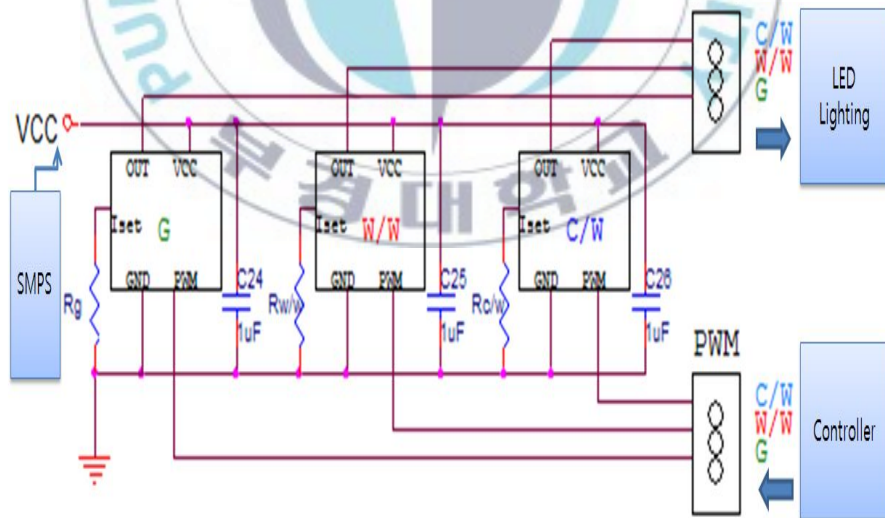


그림 3.7 LED 드라이버 회로 구성

Fig 3.7 Circuit of LED Driver

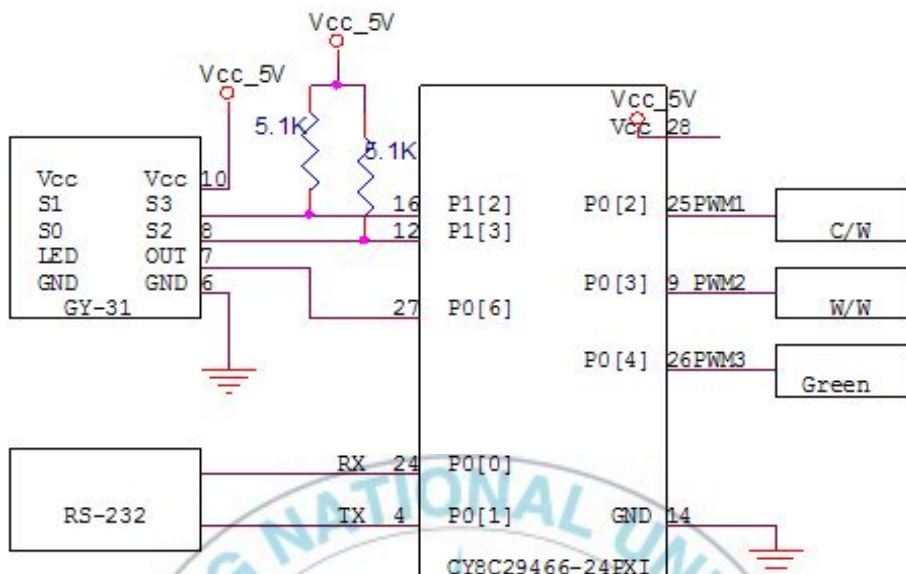


그림 3.8 디지털 제어기 회로구성
Fig 3.8 Circuit of Digital Controller

3.3.3 LED 드라이버 전류 설정

AMC7140 IC의 외부저항 R_{SET} 은 식(3.7)~(3.9)에 의해 결정된다.

$$I_{OUT} = 500 \times I_{SET} \quad (3.7)$$

$$I_{SET} = 1.2V/R_{SET} \quad (3.8)$$

따라서 $R_{SET} = \frac{1.2V}{I_{OUT}} \times 500 \quad (3.9)$

각 LED의 구동 전류는 $I_{C/W} = 720mA$, $I_{W/W} = 360mA$, $I_G = 360mA$ 이며 외부저항 R_{SET} 은 식(3.7)~(3.9)을 활용하여 계산된다.

먼저 Cool White LED 드라이버의 출력 전류 $I_{C/W} = 720mA$ 에 대한 외부저항은 다음과 같다.

$$I_{C/W} = 500 \times I_{SET} = 720mA \quad (3.10)$$

$$I_{SET} = \frac{720mA}{500} = 1.44mA \quad (3.11)$$

따라서 $R_{C/W} = \frac{1.2V}{1.44mA} = 833[\Omega] \quad (3.12)$

그리고 Warm White LED 드라이버의 출력 전류 $I_{W/W} = 360mA$ 에 대한 외부저항은 다음과 같다.

$$I_{W/W} = 500 \times I_{SET} = 360mA \quad (3.13)$$

$$I_{SET} = \frac{360mA}{500} = 0.72mA \quad (3.14)$$

따라서 $R_{W/W} = \frac{1.2V}{0.72mA} = 1667[\Omega]$ (3.15)

마지막으로 녹색 LED 드라이버의 출력 전류 $I_G = 180mA$ 에 대한 외부저항은 다음과 같다.

$$I_G = 500 \times I_{SET} = 180mA \quad (3.16)$$

$$I_{SET} = \frac{180mA}{500} = 0.36mA \quad (3.17)$$

따라서 $R_G = \frac{1.2V}{0.36mA} = 3334[\Omega]$ (3.18)

최종적으로 LED 조명기구의 정전류 LED 드라이버 설계에 사용된 외부저항 R_{SET} 값은 다음과 같다.

$$R_{C/W} = 1[K\Omega], \quad R_{W/W} = 2.2[K\Omega], \quad R_G = 3.9[K\Omega] \quad (3.19)$$

3.3.4 PSoC 내부 블록 및 UI 설계

PSoC는 1차적으로 컬러센서 모듈의 측정 포토다이오드를 결정하고, 각 포토다이오드에 의해 출력되는 주파수 값을 처리하여 시리얼 통신을 통해 UI(User Interface)로 전달하는 역할을 한다. UI(User Interface)은 각 포토다이오드에 의한 출력 주파수를 삼자극치 X, Y, Z 값으로 변환하고, 이를 이용하여 색도좌표와 색온도를 산출하여 자연광의 상태를 실시간으로 모니터링 역할을 한다. 산출된 색온도는 PSoC으로 전달되어 PSoC에서 발생하는 PWM 신호에 의해 LED 조명기구의 색온도와 조도 및 연색지수를 제어한다.

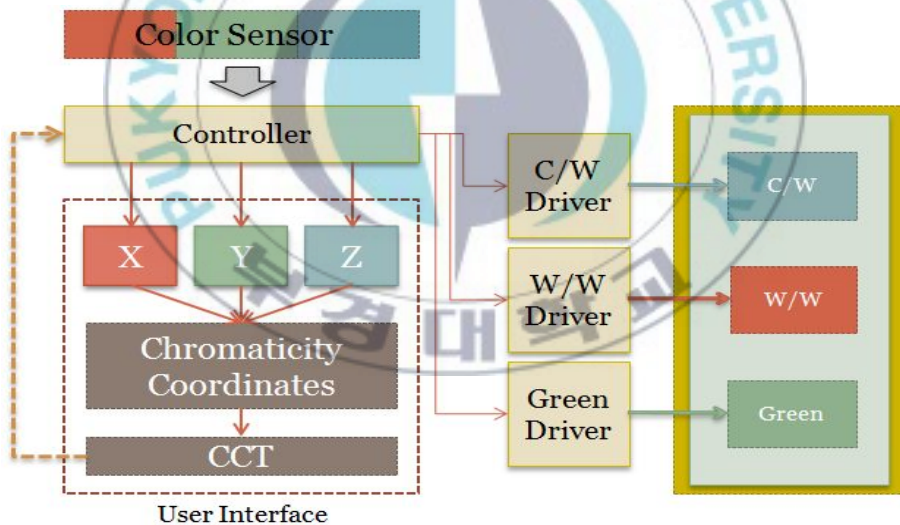


그림 3.9 디지털 제어기에 의한 감성조명제어

Fig 3.9 Emotional Lighting Control by Digital Controller

PSoC의 내부 블록 설계는 펄스폭 변조 신호를 발생시키는 PWM 모듈과 컬러센서 모듈의 출력 주파수를 측정하는 Timer/Counter 모듈, 시리얼 통신을 위한 UART 모듈로 구성된다.

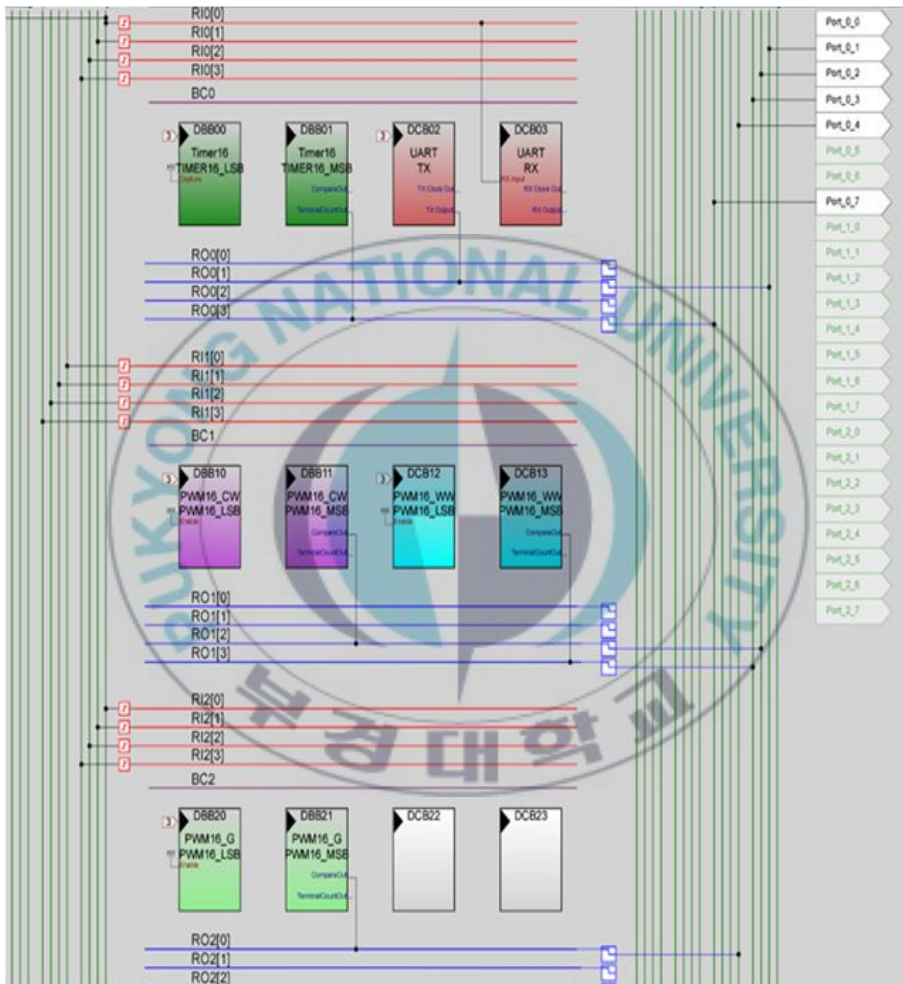


그림 3.10 설계된 PSoC의 내부 블록도
 Fig 3.10 Designed internal block diagram of PSoC

그림 3.11은 설계된 UI(User Interface)의 구성이고, 이에 따른 각 부분에 대한 구성요소의 명칭은 표 3.3과 같다.

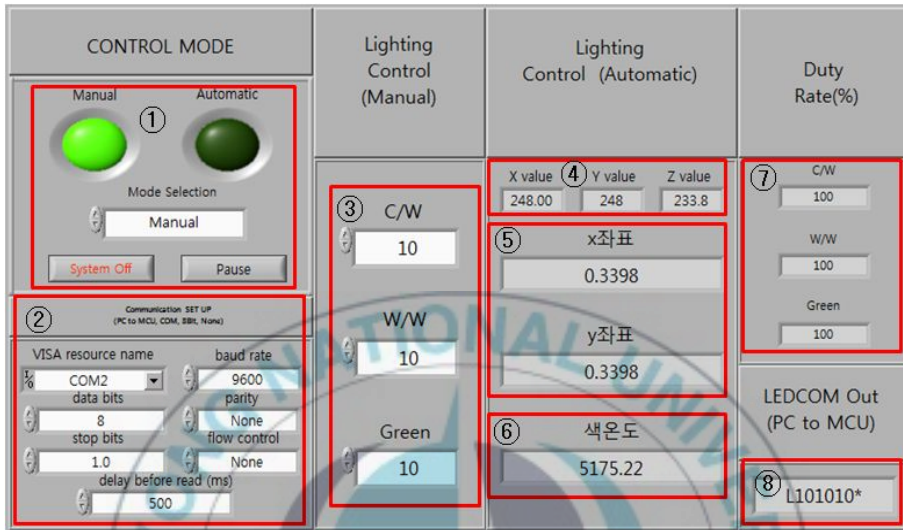
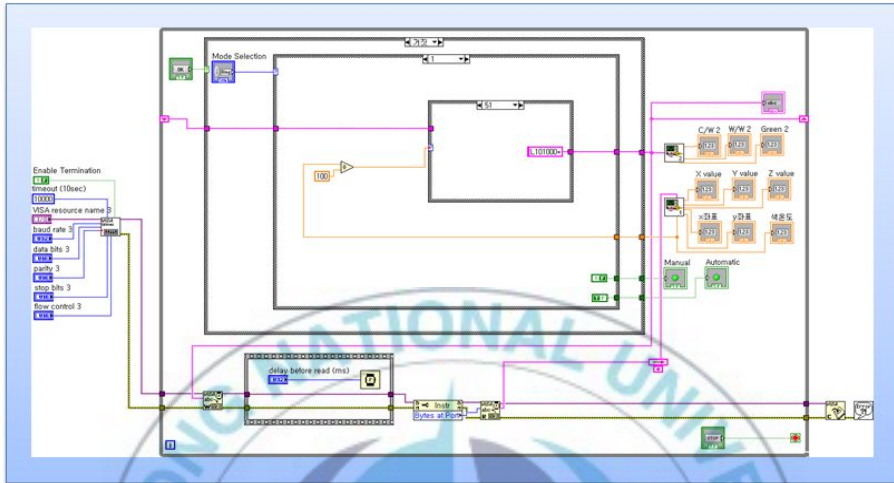


그림 3.11 사용자 인터페이스 구성
Fig 3.11 Component of User Interface

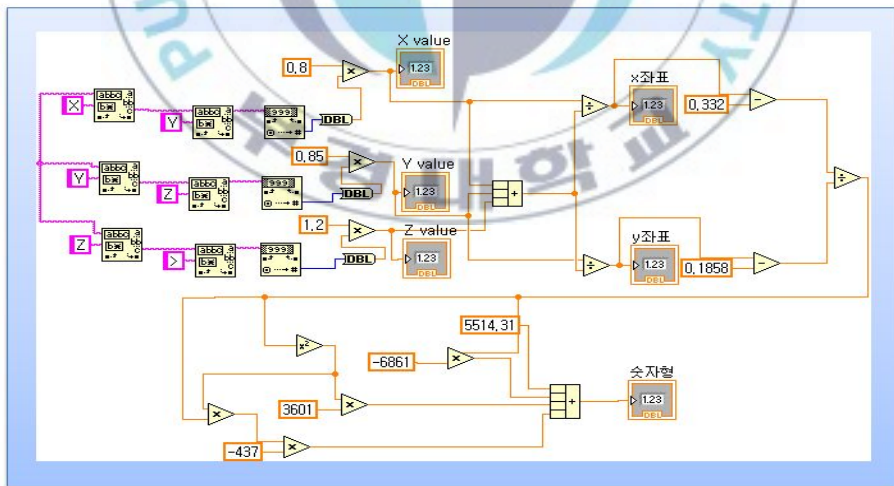
표 3.3 UI의 구성요소
Table 3.3 Component of UI

| No | Name | No | Name |
|----|-----------------------|----|---------------------------|
| 1 | Control mode | 5 | x,y-Coordinate |
| 2 | Communication Set up | 6 | CCT |
| 3 | C/W, W/W, Green Value | 7 | C/W, W/W, Green Duty rate |
| 4 | X, Y, Z Value | 8 | Communication Signal |

그림 3.12는 UI(User Interface)를 구동하기 위한 소스 코드로 (a) 전체 시스템 동작 코드이며, (b)는 색도좌표와 색온도를 산출하는 코드이다.



(a) Source Code of System



(a) Source Code of System

그림 3.12 감성조명제어 소스 코드
 Fig 3.12 Source Code for Lighting Control

IV. 실험 및 고찰

본 장에서는 LED 조명기구와 컬러센서 모듈, LED 드라이버, 디지털 제어기를 제작하여 LED 조명기구의 색온도와 조도 및 연색지수를 측정하고 컬러센서 모듈을 활용하여 자연광과 동기화하여 감성조명을 구현하기 위한 전류 제어와 녹색 LED에 의한 연색지수의 변화에 대해 알아본다.

4.1 감성조명 제작

4.1.1 LED 조명기구

제작된 LED 조명기구는 그림 4.1과 같으며 색온도 5600[K]의 C/W LED와 색온도 3300[K]의 W/W LED로 구성되며 500[nm]의 녹색 LED는 W/W LED 사이에 일정한 간격으로 배치하였다.

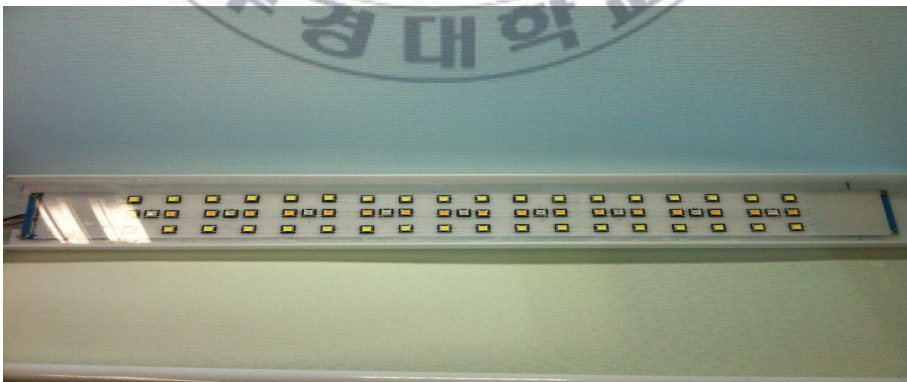


그림 4.1 LED 조명기구

Fig 4.1 LED Lighting

4.1.2 컬러센서 모듈

제작된 컬러센서 모듈의 구성은 그림 4.2와 같으며 컬러센서 모듈의 오른쪽 부분은 출력 주파수의 Scale를 결정하는 S_0, S_1 핀으로 흰색 전선으로 S_0, S_1 의 상태를 변경할 수 있다. 왼쪽 부분은 Vcc와 GND 핀과 S_2, S_3 핀, OUT 핀으로 구성되어, 동작 전압을 공급과 컬러센서의 Red, Green, Blue의 포토다이오드를 결정하고, 각 포토다이오드의 측정 주파수를 출력이다.

S_2, S_3 에 연결된 저항을 이용하여 S_2, S_3 의 상태를 변경하여 측정하고자 하는 포토다이오드를 수동적으로 결정할 수도 있고, 제작된 디지털 제어기를 이용하여 일정한 주기로 측정 포토다이오드를 변경하고 이에 따른 출력 주파수를 얻을 수 있다.

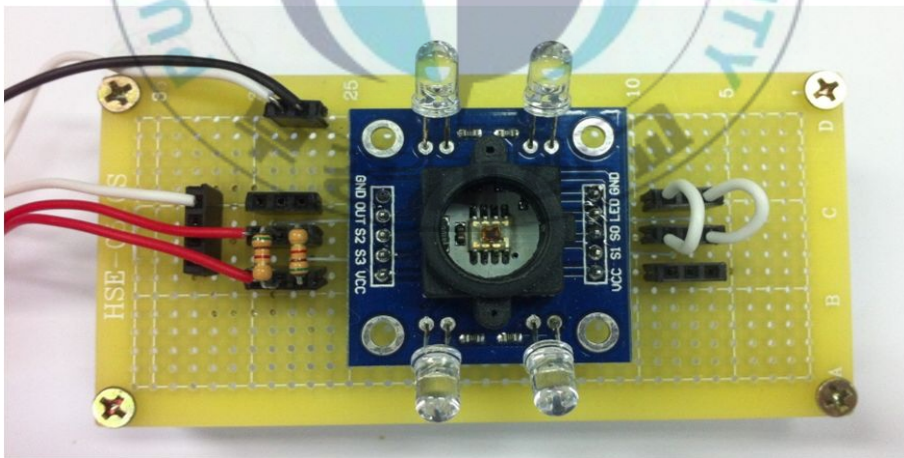


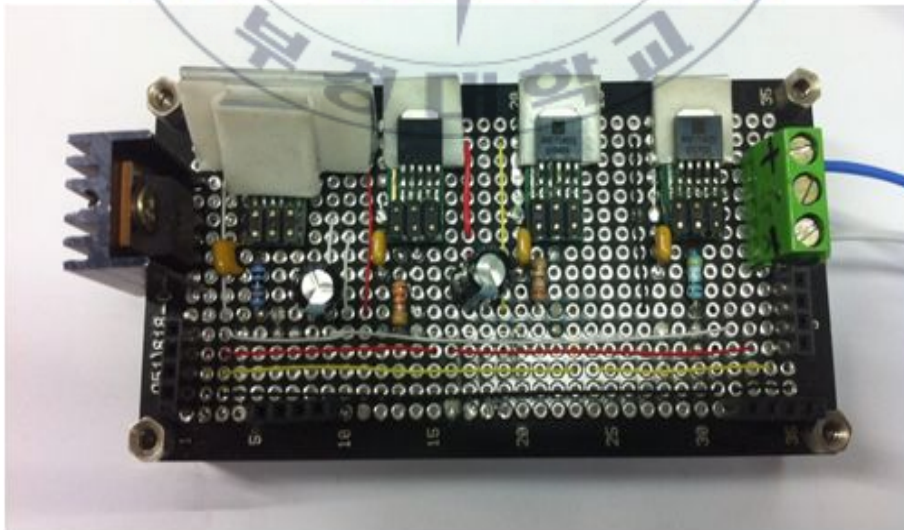
그림 4.2 컬러센서 모듈
Fig 4.2 Color Sensor Module

4.1.3 LED 드라이버 및 디지털 제어기

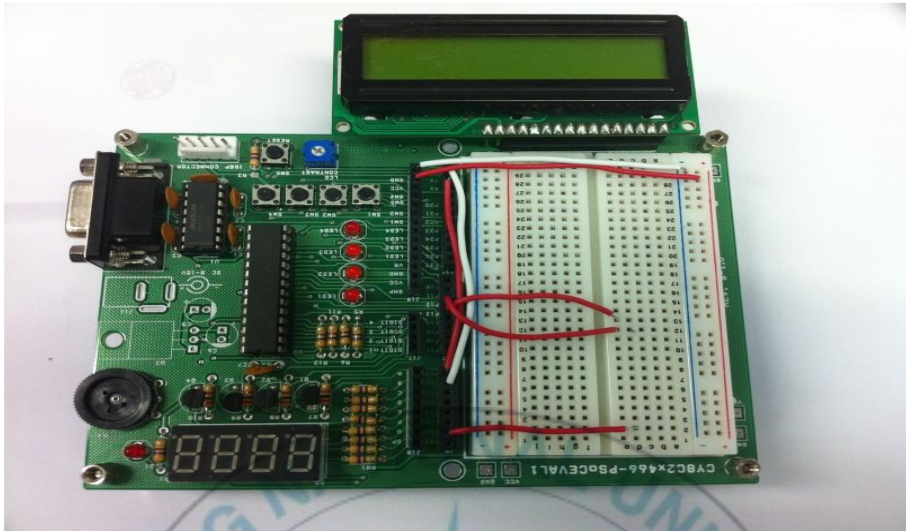
제작된 LED 드라이버와 디지털 제어기는 그림 4.3과 같다. LED 드라이버는 정전류 LED 드라이버용 IC 3개를 나란히 배치하였고, LED 드라이버에 추가로 정전압 레귤레이터 7805를 사용하여 입력 전압 12[V]를 5[V]로 변환하여 디지털 제어기의 구동 전압으로 사용한다.

LED 드라이버는 전압강하 후 남은 전압과 출력 전류에 의해 열이 발생하며 이로 인해 IC의 파손 및 효율 감소를 최소화하기 위해 방열판이 부착하여 열을 배출한다.

개발용 PSoC 테스트 모듈을 활용하여 디지털 제어기를 제작하고 감성 조명제어를 위해 프로그램을 설계하였다. 제작된 디지털 제어기는 3개의 PWM 출력 포트와 컬러센서의 측정 포토다이오드를 결정하는 출력 포트, 컬러센서 모듈 출력 주파수의 입력 포트, UI(User Interface)와 데이터를 서로 주고받기 위한 시리얼 통신 포트, 마지막으로 LCD로 구성된다.



(a) LED Driver



(b) Digital Controller

그림 4.3 LED 드라이버 및 디지털 제어기
Fig 4.3 LED Driver and Digital Controller

4.2 실험 방법 및 결과

4.2.1 실험 방법

첫 번째 실험은 LED 조명기구에서 녹색 LED를 제외한 Cool White LED와 Warm White LED에 의해 혼합되는 빛의 특성인 색온도와 조도 및 연색지수를 적분구를 통해 측정한다. 이때, 각 LED의 PWM Duty 비는 10%씩 가변한다.

두 번째 실험은 Cool White LED와 Warm White LED, 녹색 LED에 의해 혼합되는 빛의 특성인 색온도와 조도 및 연색지수에 대해 측정하고, 첫 번째 실험 데이터를 이용하여 녹색 LED의 유·무에 따른 LED 조명기구의 특성 변화를 비교·분석한다.

세 번째 실험은 자연광과 동기화하여 감성조명을 구현하기 위해 본 논문에서 제작된 컬러센서 모듈을 활용하여 자연광의 색온도를 측정한다. 자연광 측정 방법은 컬러센서 모듈과 색도계 측정 장비인 CL-200을 실외에 나란히 설치하여, 설계된 프로그램을 통해 자연광의 X, Y, Z 값을 실시간 측정하고 이를 이용하여 색온도를 산출한다. 산출된 색온도를 바탕으로 LED 조명기구의 각 LED에 대해 전류를 제어한다. 그리고 하루 동안 변하는 자연광의 색온도를 컬러센서 모듈과 CL-200으로 측정된 데이터를 비교·분석한다.

추가적으로 첫 번째와 두 번째 실험에서 사용된 적분구에 의해 측정된 데이터와 분광복사기(CS-2000), 색도계(CL-200)에 의해 측정된 데이터를 비교·분석한다.

그림 4.4는 LED 조명기구의 특성을 측정하기 위해 사용된 측정 장비와 실험 도구이다.



그림 4.4 측정 장비
Fig 4.4 Measurement Equipment

4.2.2 실험 결과

4.2.2.1 색온도, 조도, 연색지수 측정

녹색 LED를 제외한 LED 조명기구의 전류제어를 통해 색온도와 조도 및 연색지수 특성을 적분구와 CS-2000, CL-200으로 측정된 결과는 아래 표와 같다. 단, CL-200에서는 LED 조명기구의 연색지수를 측정할 수 없다.

표 4.1 적분구로 측정된 LED 조명기구 특성

Table 4.1 LED Lighting characteristics by Integrating Sphere

| 측정 내용 | Min | Max |
|----------|------|------|
| 색온도[K] | 3634 | 5362 |
| 조도[lm] | 76 | 703 |
| 연색지수[Ra] | 79 | 95 |

표 4.2 분광복사기로 측정된 LED 조명기구 특성

Table 4.2 LED Lighting characteristics by Spectroradiometer (CS-2000)

| 측정 내용 | Min | Max |
|----------|------|-------|
| 색온도[K] | 3521 | 5234 |
| 조도[lm] | 1642 | 13577 |
| 연색지수[Ra] | 82 | 97 |

표 4.3 색도계로 측정된 LED 조명기구 특성

Table 4.3 LED Lighting characteristics by ChromaMeter (CL-200)

| 측정 내용 | Min | Max |
|----------|------|------|
| 색온도[K] | 3535 | 4975 |
| 조도[lm] | 1534 | 1534 |
| 연색지수[Ra] | . | . |

그림 4.6은 LED 조명기구로 특정 색온도를 연출하여 물체를 비춰본 결과
과를 나타낸 것이다.



그림 4.5 LED 조명기기의 다양한 색온도 표현
Fig 4.5 Expression of Various CCT

4.2.2.2 연색지수 개선

첫 번째 실험을 통해 LED 조명기구의 스펙트럼 특성을 확인한 결과 공통적으로 480[nm]~520[nm] 파장대역의 빛이 부족하였고 이로 인해 LED 조명기구의 연색지수가 감소된다. 그러므로 연색지수를 개선하기 위해 녹색 LED를 보상하여 LED 조명기구의 연색지수 측정된 결과는 표 4.4와 같다.

녹색 LED의 조도는 “보상1”에서 “보상5”로 갈수록 20%씩 증가하며 조도가 증가할수록 연색지수가 개선되는 것을 확인할 수 있다. 보상된 LED 조명기구의 색온도가 낮을 경우에는 연색 지수가 Ra 96이상으로 자연광의 연색지수와의 오차가 작으며, 색온도가 높을 경우에는 연색지수 감소하여 Ra 80~90을 나타내므로 자연광의 연색지수와의 오차가 크다. 비록 연색 지수의 오차가 크지만 보상 전보다 연색지수가 개선된다.

표 4.4 녹색 LED 보상 후 연색지수
Table 4.4 After compensation CRI

| CCT[K] | 보상전 | 보상1 | 보상2 | 보상3 | 보상4 | 보상5 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 3634 | 95.8 | 96.8 | 97.3 | 96.3 | 94.4 | 92.5 |
| 4267 | 88.8 | 89.6 | 90.5 | 91.1 | 91.7 | 92.2 |
| 4658 | 85.6 | 86.1 | 86.6 | 87.1 | 87.4 | 87.7 |
| 5362 | 79.6 | 80.1 | 81.1 | 81.9 | 82.6 | 83.2 |

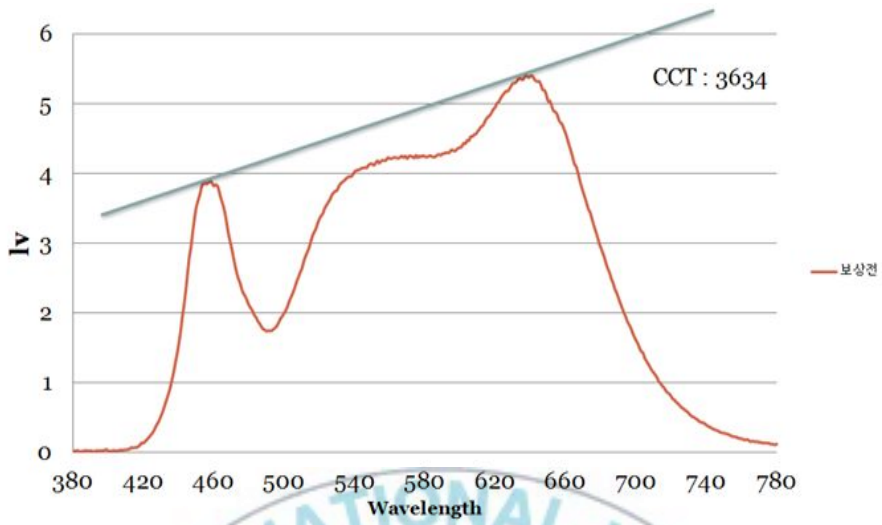
하지만, 색온도 3634[K]에서 “보상4”, “보상5”의 경우에는 연색지수가 감소하였다. 그 이유는 녹색 LED의 조도가 너무 클 경우 LED 조명기구의 색온도 변화에 영향을 주기 때문이다. 그러므로 연색지수를 개선하기 위해 최대한 조명기구의 색온도 변화에 영향 주지 않는 범위에서의 녹색 LED 구동이 이루어 져야한다.

표 4.5는 녹색 LED 보상 후 LED 조명기구의 색온도 변화를 나타낸 것으로 낮은 조도의 색온도 3634[k]에서 가장 큰 변화를 일으켰다.

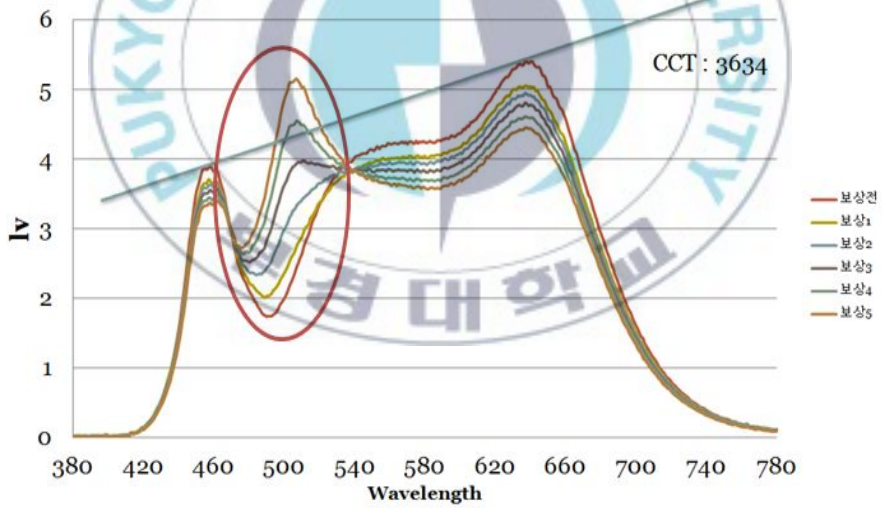
표 4.5 녹색 LED 보상 후 색온도
Table 4.5 After compensation CCT

| CCT[K] | 보상전 | 보상1 | 보상2 | 보상3 | 보상4 | 보상5 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 3634 | 3635 | 3775 | 3970 | 4180 | 4402 | 4630 |
| 4267 | 4268 | 4384 | 4482 | 4597 | 4734 | 4882 |
| 4658 | 4659 | 4700 | 4780 | 4867 | 4950 | 5037 |
| 5362 | 5362 | 5430 | 5545 | 5650 | 5750 | 5840 |

그림 4.6~그림 4.9는 녹색 LED를 보상하여 측정된 LED 조명기구의 스펙트럼 특성이다. 스펙트럼에서 460[nm]의 청색 파장대역과 660[nm]의 적색 파장대역을 직선으로 연결한 것은 LED 조명기구의 색온도에 대해 대략적으로 나타낸 것이며 기울기에 따라 색온도가 달라진다.

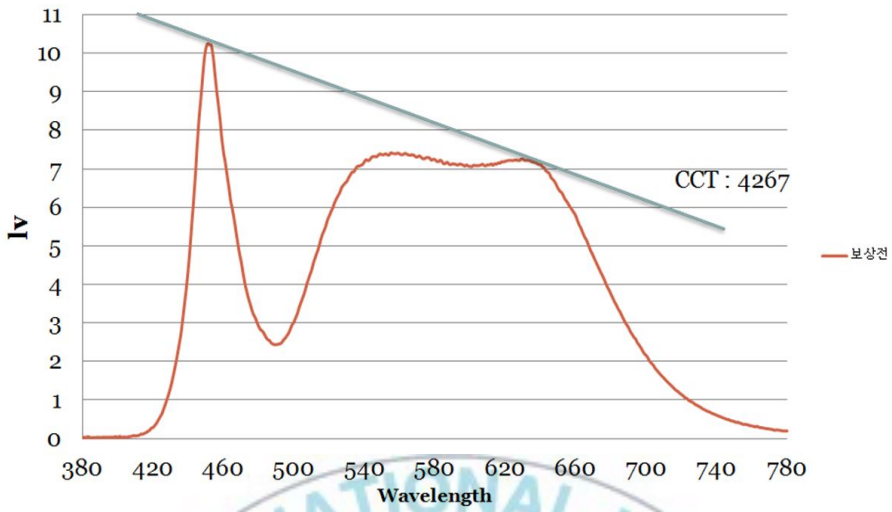


(a) 보상 전

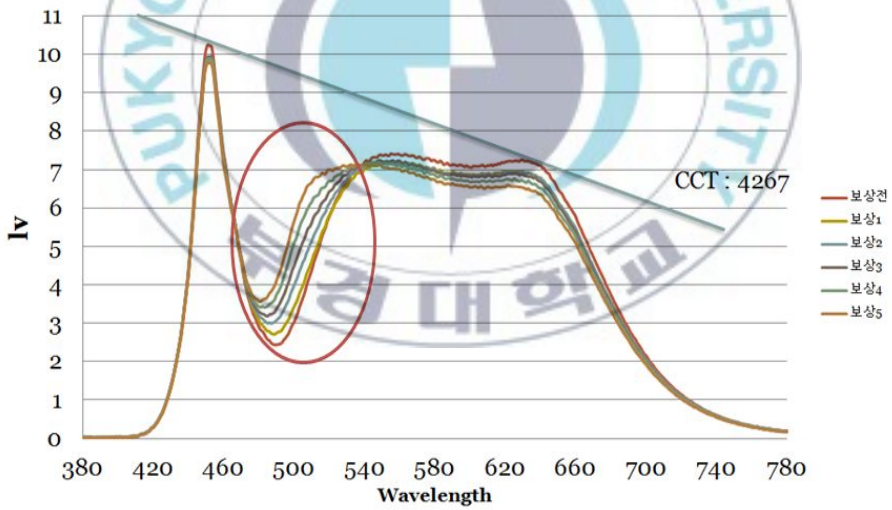


(b) 보상 후

그림 4.6 3634[k]의 연색지수 보상
Fig 4.6 CRI compensation of 3634[k]

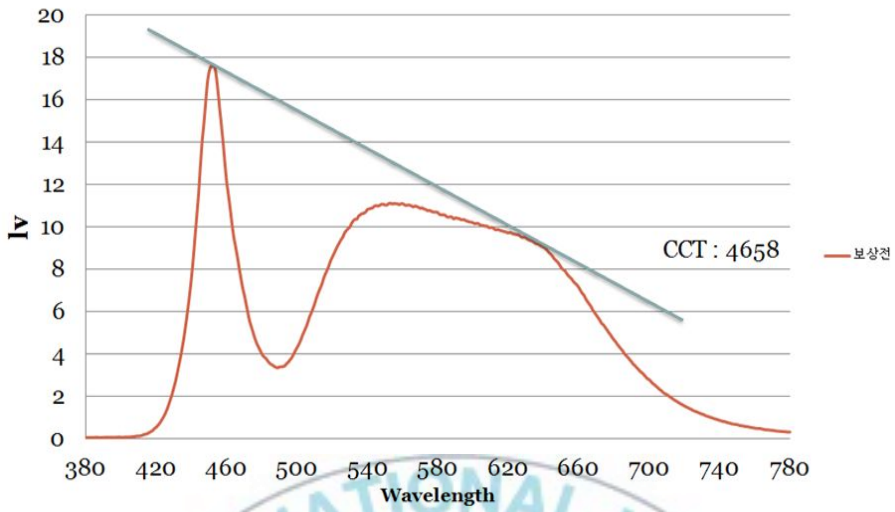


(a) 보상 전

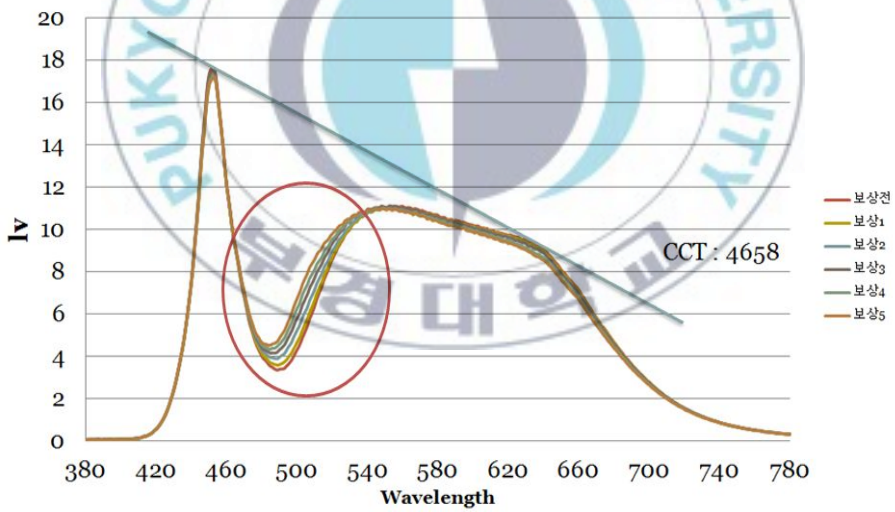


(b) 보상 후

그림 4.7 4267[k]의 연색지수 보상
 Fig 4.7 CRI compensation of 4267[k]

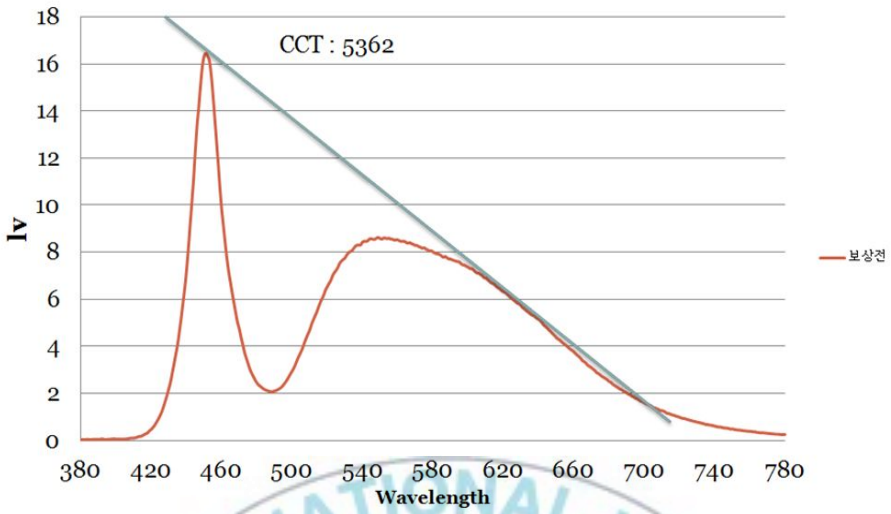


(a) 보상 전

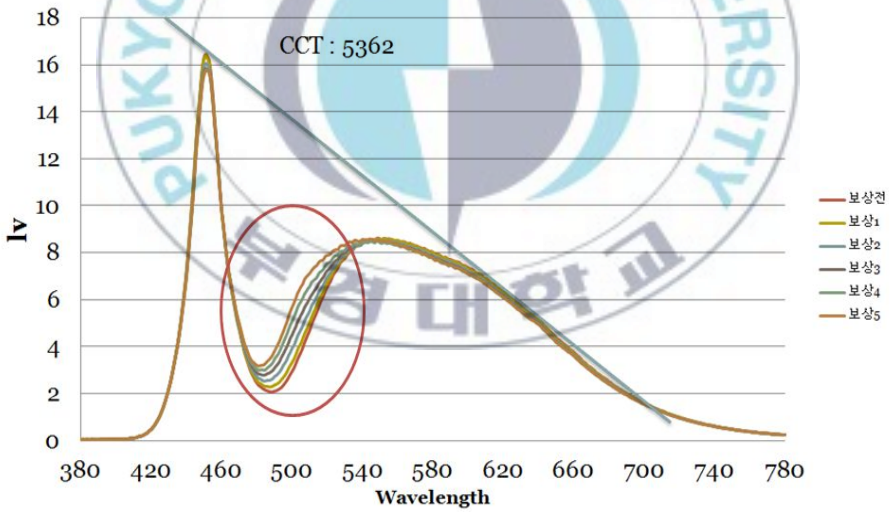


(b) 보상 후

그림 4.8 4658[k]의 연색지수 보상
 Fig 4.8 CRI compensation of 4658[k]



(a) 보상 전



(b) 보상 후

그림 4.9 5362[k]의 연색지수 보상
 Fig 4.9 CRI compensation of 5362[k]

4.2.2.3 컬러센서 모듈에 의한 색온도 측정

컬러센서 모듈을 실외에 설치하고 자연광의 색온도 측정 결과는 그림 4.10의 UI(User Interface)를 통해 확인할 수 있다. ①은 자연광의 삼자극치 X, Y, Z 값이며, ②는 삼자극치에 의해 구해진 색도좌표이다. ③은 색온도 산출식에 의해 구해진 자연광의 색온도이다.

그림 4.11은 CL-200과 컬러센서 모듈을 이용하여 임의로 측정된 자연광의 색온도에 대해 비교한 것이고, 그림 4.12는 하루 동안 변하는 자연광의 색온도를 10분 간격으로 측정하여 비교한 것으로 컬러센서와 CL-200 사이에 오차가 발생하였다.

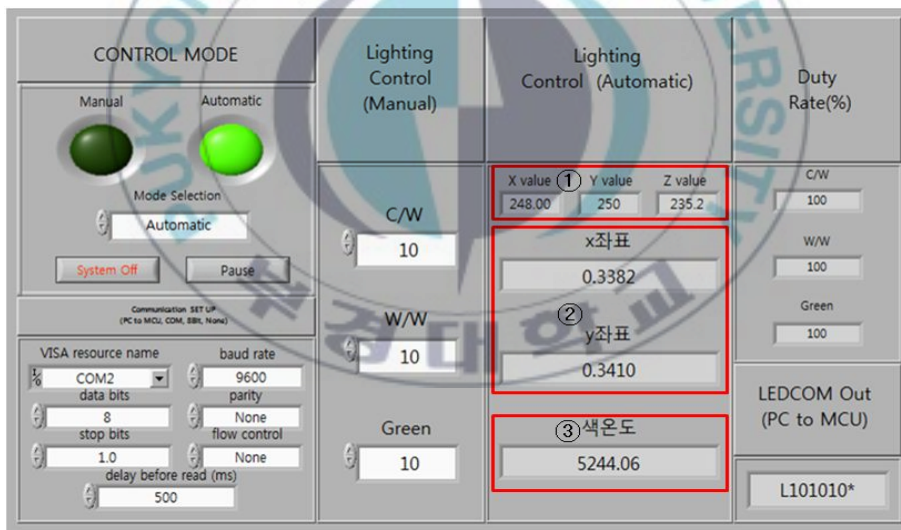


그림 4.10 컬러센서에 의한 색온도 측정

Fig 4.10 Color Temperature measurement using Color sensor

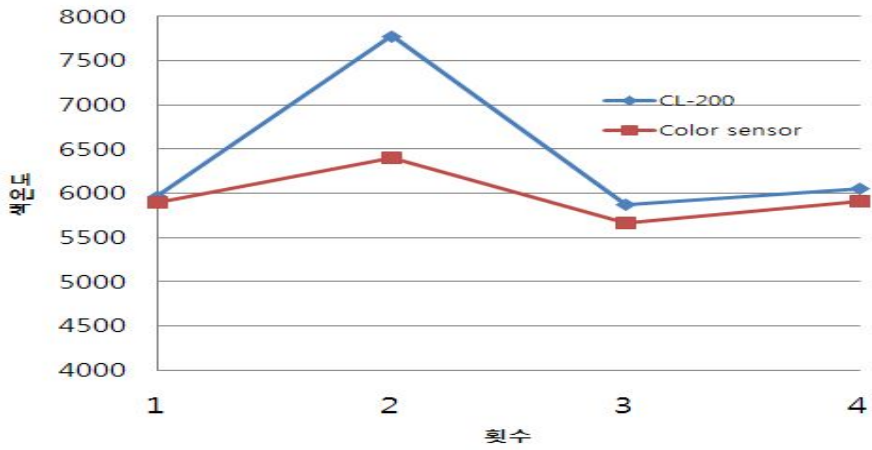


그림 4.11 CL-200과 컬러센서의 측정 색온도 비교
 Fig 4.11 Color Temperature comparison of CL-200 and Color sensor

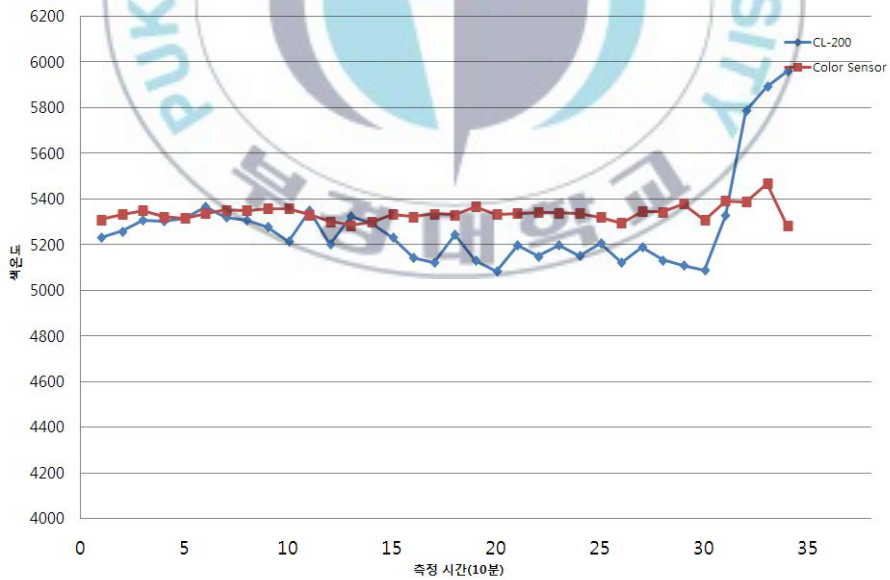


그림 4.12 하루 동안 측정한 색온도의 비교
 Fig 4.12 Color Temperature comparison during the day

V. 결 론

본 논문에서는 업무의 효율성 또는 학습능력을 향상시키고, 실내 공간을 감성적인 분위기로 연출할 수 있는 감성조명을 차세대 대체광원인 백색 LED를 사용하여 제작한다. 감성조명의 색온도와 조도 및 연색지수 제어가 가능하고 하루에도 끊임없이 변하는 자연광 모사가 가능하도록 한다.

감성조명은 서로 다른 색온도를 가진 백색 LED와 녹색 LED를 배치한 LED 조명기구와 자연광의 색온도를 측정하기 위한 컬러센서 모듈, 일정한 전류를 공급하는 LED 드라이버, PSoc를 활용한 디지털 제어기로 구성하였다.

첫째, 제작된 LED 조명기구의 특성을 적분구로 측정한 결과, 색온도는 3634[K]~5362[K]이고 조도는 76[lm]~703[lm], 연색지수는 Ra79~Ra95이다.

둘째, 정전류 LED 드라이버는 LED 조명기구에 일정한 전류를 공급함으로써 안정적인 동작과 고른 배광분포를 얻었다. 그러나 예상보다 고온의 열이 발생함으로 효율을 높기 위해 알맞은 방열판의 크기가 필요하다.

셋째, PSoc를 활용한 디지털 제어기와 UI(User Interface)를 통해 자연광의 색온도를 산출하고 이에 따른 LED 조명기구의 색온도와 조도 및 연색지수를 제어하였다. 그리고 PWM 발생 제어기 Duty가 0% 인 경우에도 전류가 흘러 빛이 방사되었다.

넷째, 컬러센서 모듈을 활용하여 자연광의 색온도를 측정한 결과, 자연광의 삼차극치 X, Y, Z를 정확하게 구할 수 없어 오차가 발생하였고, 자연광의 조도가 커질수록 오차 범위는 증가하였다.

다섯째, 감성조명의 조명의 질을 높이기 위해 녹색 LED를 추가한 결과, LED 조명기구의 연색지수가 개선되었다. 만약, 녹색 LED의 조도가 LED 조명기구에 비해 클 경우 연색지수는 떨어지거나 색온도가 변한다.

제작된 감성조명의 시스템구조는 Open-Loop 구조로 측정된 색온도에 따라 LED 조명기구의 백색 LED와 녹색 LED의 구동 전류를 제어하여 원하는 색온도와 연색지수를 가진 빛을 연출한다. 향후 감성조명의 시스템구조를 Closed-Loop 구조로 하여 두 개의 컬러센서에 의해 자연광의 색온도와 조명기구의 색온도를 측정하고 서로 일치할 수 있도록 LED 조명기구의 백색 LED와 녹색 LED의 구동 전류를 제어한다. 그리고 완벽한 자연광 모사가 가능한 감성조명을 구현하기 위해 컬러센서 모듈의 자연광 측정 오차를 줄이기 위한 연구 요구되며 나아가 자연광의 색온도와 조도를 함께 고려한 감성조명의 연구가 요구된다.



참고 문헌

- [1] 정병호, 김남오, 김덕구, 오금곤, 조금배, 이강연, “ 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 특성 분석”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.12, pp. 23~30 December 2009.
- [2] 김훈, 염재경, 정원섭, 김희준, “색온도와 조도 제어가능한 LED 조명 시스템”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.12, pp. 10~22 December 2009.
- [3] 노시청, 「감성조명의 이해」, 한국디자인학회 2005 가을 학술발표대회 논문집, pp.86~87, 2005.
- [4] 양정순, “자연광과 LED조명색채 비교분석을 통한가을빛 LED감성조명 색채 연구”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2011) 25(11) : 1~13
- [5] 이재홍, “인공지능을 이용한 감성조명 LED제어기 설계에 관한 연구”, 한국해양대학교, 전자통신공학과 석사학위 논문, 2010.
- [6] 김병삼, 차상민, 김민, 김관형, 변기식, “PSoC으로 구현한 자연광 LED 조명에 관한 연구”, (해양정보통신)종합학술대회 논문집. 제15권 제1호 (2011년 춘계) pp.110-112.
- [7] 이국세, 문남미, “TV 조명용 백색 LED의 광원 특성 분석”, 방송공학회논문지, 제15권 제4호 PP 461~473, 2010.
- [8] 박양재, 최종현, 장명기, “감성조명용 조명기기의 조도 및 색온도 시뮬레이션을 통한 광원 조합의 최적화”, 한국콘텐츠학회논문지 '09 Vol. 9 No. 8.
- [9] 네이버 지식사전, “색온도”, <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=43757>.

- [10] 김인태, 김유신, 최안섭, “광원에 따른 조명기기의 CCT 측정 데이터 및 계산값 비교” 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2010.
- [11] 김인태, 김유신, 최안섭, “광원과 CCT 조합에 따른 LED 조명기구의 CCT 비교 분석”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2010) 24(12) : 1~8
- [12] 김하나, “PSoC를 이용한 태양 추적 시스템의 집광 편차 보정 장치에 관한 연구”, 부경대학교, 제어계측공학과, 석사학위 논문, 2011
- [13] 장인현, 홍성관, 최안섭, “ 동일 및 조합된 색온도 구현에 따른 LED 램프의 소비전력 비교분석”, 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2010.
- [14] 이진숙, 김원도, 김소연, “색온도 특성에 따른 LED조명과 형광램프의 감성반응 비교분석”, 大韓建築學會論文集 計劃系 제25권 제4호(통권246호 2009년 4월.
- [15] 박현수, “인간 친화적이고 스마트한 LED 감성조명”, 기획시리즈, 2011년 제60권 제6호
- [16] 정학근, 장철용, “자연광을 이용한 LED 조명기구의 연색성 개선에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol 30, No.2, 2010.
- [17] 정용하, 오성권, 김현기, “퍼지 관계 기반 추론을 이용한 LED 감성조명시스템 설계”, Proceedings of KIIS Fall Conference 2010 Vol. 20, No 2.
- [18] “The Science of Color, the Emission Spectra of the Elements and Some Lamp Engineering Applications”, <http://ioannis.virtualcomposer2000.com/spectroscope/elements.html#fullspectrum>

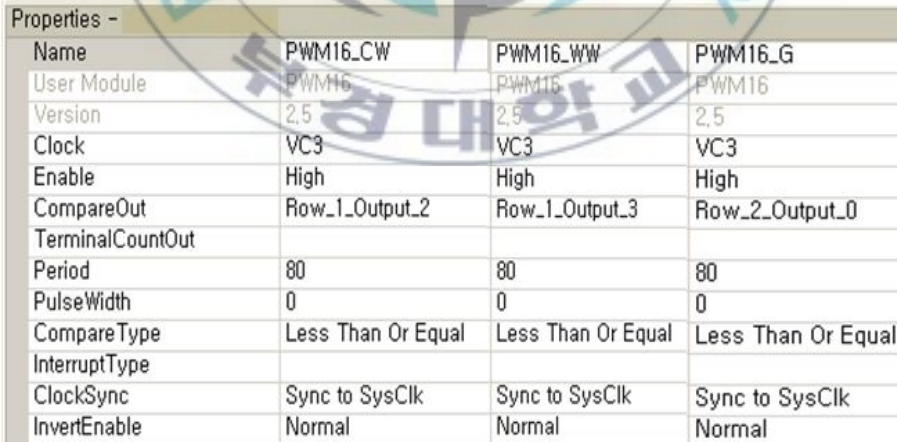
부록

1. PSoC의 디지털 블록 설정



| Global Resources - colorsensor | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Power Setting [Vcc / SysClk freq] | 5.0V / 24MHz |
| CPU_Clock | SysClk/8 |
| 32K_Select | Internal |
| PLL_Mode | Disable |
| Sleep_Timer | 512_Hz |
| VC1= SysClk/N | 12 |
| VC2= VC1/N | 1 |
| VC3 Source | VC1 |
| VC3 Divider | 26 |
| SysClk Source | Internal |
| SysClk*2 Disable | No |
| Analog Power | SC On/Ref Low |
| Ref Mux | (Vdd/2)+/-BandGap |
| AGndBypass | Disable |
| Op-Amp Bias | Low |
| A_Buff_Power | Low |
| SwitchModePump | OFF |
| Trip Voltage [LVD (SMP)] | 4.81V (5.00V) |
| LVDThrottleBack | Disable |
| Watchdog Enable | Disable |

그림 1. Global Resources



| Properties - | | | |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Name | PWM16_CW | PWM16_WW | PWM16_G |
| User Module | PWM16 | PWM16 | PWM16 |
| Version | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Clock | VC3 | VC3 | VC3 |
| Enable | High | High | High |
| CompareOut | Row_1_Output_2 | Row_1_Output_3 | Row_2_Output_0 |
| TerminalCountOut | | | |
| Period | 80 | 80 | 80 |
| PulseWidth | 0 | 0 | 0 |
| CompareType | Less Than Or Equal | Less Than Or Equal | Less Than Or Equal |
| InterruptType | | | |
| ClockSync | Sync to SysClk | Sync to SysClk | Sync to SysClk |
| InvertEnable | Normal | Normal | Normal |

그림 2. PWM ProPerties

| Properties - Timer16 | | Properties - UART | |
|----------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| Name | Timer16 | Name | UART |
| User Module | Timer16 | User Module | UART |
| Version | 2.6 | Version | 5.2 |
| Clock | VC3 | Clock | VC3 |
| Capture | High | RX Input | Row_0_Input_0 |
| TerminalCountOut | Row_0_Output_3 | TX Output | Row_0_Output_1 |
| CompareOut | None | TX Interrupt Mode | TXComplete |
| Period | 80 | ClockSync | Sync to SysClk |
| CompareValue | 0 | RxCmdBuffer | Enable |
| CompareType | Less Than Or Equal | RxBufferSize | 16 |
| InterruptType | Terminal Count | CommandTerminator | 13 |
| ClockSync | Sync to SysClk | Param_Delimiter | 32 |
| TC_PulseWidth | Full Clock | IgnoreCharsBelow | 32 |
| InvertCapture | Normal | Enable_BackSpace | Disable |
| | | RX Output | None |
| | | RX Clock Out | None |
| | | TX Clock Out | None |
| | | InvertRX Input | Normal |

그림 3. Timer16 & UART Properties

| Pinout - colorsensor | |
|----------------------|---|
| P0[0] | Port_0_0, GlobalInEven_0, High Z, DisableInt |
| P0[1] | Port_0_1, GlobalOutEven_1, Strong, DisableInt |
| P0[2] | Port_0_2, GlobalOutEven_2, Strong, DisableInt |
| P0[3] | Port_0_3, GlobalOutEven_3, Strong, DisableInt |
| P0[4] | Port_0_4, GlobalOutEven_4, Strong, DisableInt |
| P0[5] | Port_0_5, StdCPU, High Z Analog, DisableInt |
| P0[6] | Port_0_6, StdCPU, Pull Down, RisingEdge |
| P0[7] | Port_0_7, GlobalOutEven_7, Strong, DisableInt |
| P1[0] | Port_1_0, StdCPU, High Z Analog, DisableInt |
| P1[1] | Port_1_1, StdCPU, High Z Analog, DisableInt |
| P1[2] | Port_1_2, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P1[3] | Port_1_3, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P1[4] | Port_1_4, StdCPU, High Z Analog, DisableInt |
| P1[5] | Port_1_5, StdCPU, High Z Analog, DisableInt |
| P1[6] | Port_1_6, StdCPU, High Z Analog, DisableInt |
| P1[7] | Port_1_7, StdCPU, Pull Down, RisingEdge |
| P2[0] | LCDD4, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P2[1] | LCDD5, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P2[2] | LCDD6, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P2[3] | LCDD7, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P2[4] | LCDE, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P2[5] | LCDRS, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P2[6] | LCDRW, StdCPU, Strong, DisableInt |
| P2[7] | Port_2_7, StdCPU, High Z Analog, DisableInt |

그림 4. Pinout

감사의 글

지난 대학원 생활 2년 동안 부족한 저에게 무한한 사랑과 관심으로 항상 격려와 큰 가르침을 아끼지 않고 나눠 주신 변기식 교수님께 진심으로 감사드리며 때론 죄송합니다.

대학교 4년과 대학원 2년 동안 부족한 저를 옆에서 항상 지켜봐주신 이형기 교수님, 최현욱 교수님, 김남호 교수님, 황용연 교수님, 김만고 교수님, 안영주 교수님, 이경창 교수님들께 감사드립니다.

대학원 생활을 함께 시작한 준희형과 같은 실험실에서 많은 시간을 보낸 상민이에게 감사드리며 많은 도움을 주지 못해 미안합니다. 그리고 가끔은 엉뚱한 질문에도 성심 성의껏 들어주시고 실험실 생활하는 동안 편안한 생활을 할 수 있도록 큰 힘이 되어주신 김민 연구원님과 항상 좋은 정보와 유쾌한 이야기로 웃음을 전해주신 대양전기의 이도엽과장님과 중국에서 온 가오 인위와 준희형의 소울 메이트인 하나 누나에게도 감사드립니다.

LED-해양 융합연구센터의 유영문 교수님과 김현희 박사님, 허인성 선임연구원, 김근울 책임연구원, 그리고 갈 때마다 웃으며 반겨주시는 행정실의 부희 누나와 열심히 LED 공부를 하고 있는 아람이 그리고 실험에 도움을 주신 센터 직원분들, 언급하지 못한 모두 지인들에게 감사드립니다.

마지막으로 2년 동안 저를 믿고 기다려주신 부모님과 가족들에게 감사드립니다. 앞으로 제어계측과의 눈부신 발전을 기원합니다.

2011년 12월

김병삼 올림