


일출일몰 데이터를 이용한 인간 중심 조명 구현에 관한 연구

장두원¹, 김충혁² , 조규원³

¹ 광운대학교 대학원 플라즈마바이오투디스플레이학과

² 광운대학교 인제니움학부

³ KH필룩스 기업부설연구소

A Study on Implementation of Human Centric Lighting Using Sunrise and Sunset Data

Doowon Jang¹, Chunghyeok Kim², and Gyuwon Jo³

¹ Department of Plasma-Bio and Display, Kwang-woon University, Seoul 01897, Korea

² Department of Ingenium, Kwang-woon University, Seoul 01897, Korea

³ Affiliated Research Institute, KH Feelux Co., Ltd., Seoul 01787, Korea

(Received July 8, 2024; Revised July 11, 2024; Accepted July 15, 2024)

Abstract: Lighting has been used for a long time as a medium to convey brightness from darkness, and through incandescent lamps and fluorescent lamps, LED light sources have now become the standard in the lighting industry. Recently, the lighting equipment industry has been undergoing rapid digital transformation, starting with smart lighting, and is evolving into smart lighting customized for individuals and spaces through the development of IoT technology, cloud-based services, and data analysis. However, the blue light emitted from digital devices (computers, smartphones, tablets, etc.) or LED lights stimulates the melanopsin in the optic ganglion cells in the retina of the eye, which in turn stimulates the secretion of melatonin through the pineal gland, which regulates the secretion of melatonin. This can reduce sleep quality or disrupt biological rhythms. This interaction between blue light and melatonin has such a significant impact on human sleep patterns and overall health that it is essential to reduce exposure to blue light, especially in the evening. Human-centered lighting refers to lighting that takes into account the effects of light on the physical and mental areas, such as human activity and awakening, improvement of sleep quality, and health management. Many research institutes study the effects in the visible area and the non-visible area. By studying the impact, it is expected to improve the quality of human life. In this study, we plan to study ways to implement human-centered lighting by collecting sunrise and sunset data and linking commercialized LED packages and control devices with open-source hardware.

Keywords: Human centric lighting, Sunrise and sunset, HCL LED, IoT, Aduino

1. 서론

1.1 연구의 배경

조명은 인류에게 어둠으로부터 환함을 전하는 매개체로 오랜 기간 사용되며 에디슨의 백열램프, 형광램프 등을 거

✉ Chunghyeok Kim; hyeokkim@kw.ac.kr

Copyright ©2024 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

처 현재는 LED 조명이 조명산업의 표준으로 자리잡았으며 더 높은 에너지 효율을 위한 광효율 향상, 피사체의 정확한 색상 인지를 위한 연색성 향상 등 다양한 연구가 지속되고 있다 [1,2]. 우리가 흔히 접하는 LED 조명에 사용되는 백색 LED는 일반적으로 청색광(450~500 nm)에 황색 형광체를 도포한 형태로 UV LED + RGB 형광체, RGB LED를 사용해 백색을 구현하는 방식에 비해 경제성이 높으며, 더 높은 효율과 더 높은 연색지수로 백색 LED 구현의 표준으로 자리잡고 있다 [2]. 하지만 청색광의 유해성이 알려지며 IEC에서는 IEC/EN 62471을 표준으로 제정하여 조명 및 조명 시스템의 광생물학적 안정성을 보장하기 위한 평가 방법과 지침을 제공하고 있다 [3].

인간에게 가장 이로운 조명은 일출에서 일몰까지의 자연광이지만 안타깝게도 현대인들은 깨어 있는 시간의 약 87%를 실내에서 보내며 인공광원 아래에서 생활하고 있다 [4]. 이러한 인공광원들은 청색광, 전원장치를 통해 발생하는 플리커 등을 포함하고 있어 눈의 피로함, 무분별한 멜라토닌 억제에 따른 수면의 질 저하로 인해 새로운 사회 문제로 대두되고 있다. 특히 수면장애의 경우 정서장애를 일으켜 우울증, 불안장애, 알코올 남용, 약물 남용 등 각종 정신건강 질환의 위험요인으로 작용한다는 연구 결과가 보고되었다 [4-6].

빛을 감지하는 감광신경절세포(intrinsically photosensitive retinal ganglion cell, ipRGC)는 파장이 짧은 빛에 가장 민감하게 반응하는데, 이 때문에 ‘청색광(blue light)’이라는 용어가 등장하게 되었다. 청색광은 푸른빛의 성질을 갖는 380~500 nm 대역의 단파장 빛이며, 물체를 선명하게 볼 수 있게 도와주며 수면 유도 호르몬인 멜라토닌의 분비를 억제해 집중력을 상승시켜 주는 효과가 있다. 반면 야간 시간대에 과도하게 노출된다면 눈의 피로감과 멜라토닌 분비 억제에 의해 수면장애를 겪을 수 있어 상황에 따른 조명의 선택이 매우 중요하다고 할 수 있다. 2016년 네이처에 공개된 ‘저전력 백열전구, 컴퓨터, 태블릿 그리고 블루라이트의 위험(low-energy light bulbs, computers, tablets and blue light hazard)’에 따르면 디스플레이의 청색광으로 인한 광화학적 망막 손상으로 인한 시력 저하, 고령자들의 황반변성 증가 및 가속화에 대해 경고하였다 [7,8]. 이와 같은 이유로 불필요한 청색광을 차단, 저감할 수 있는 기술의 개발 및 보급은 필수적이다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 감성 조명에 사용되는 LED 모듈을 실내 조명

용 LED 패키지(2,700 k, 6,500 k)가 적용된 LED 모듈, 인간 중심 조명용 LED 패키지(2,700 k, 6,500 k)가 적용된 LED 모듈, 같은 상관색 온도의 실내 조명용과 인간 중심 조명용 LED 패키지(4,000 k)가 적용된 LED 모듈을 구성하여 실험을 진행할 예정이다. 구동 및 제어 회로는 오픈소스 하드웨어 Arduino 기반의 ESP8266 E12로 구성하여 WiFi 환경에서 일출일몰 API의 연동을 통해 시간대별로 청색광 파장의 피크치와 상관색 온도를 제어하여 사용자의 인위적인 조작 없이 사용할 수 있는 인간 중심 조명을 구현하는 방안에 대하여 연구하고자 한다 [9,10].

2. 본 론

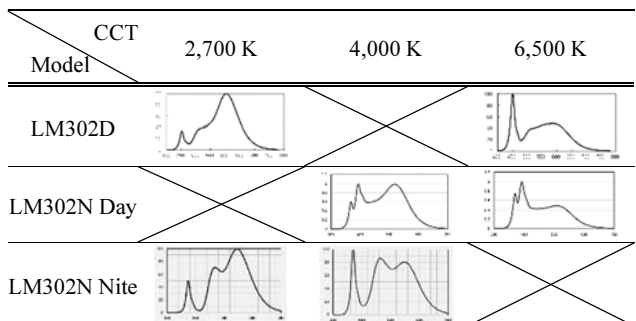
2.1 인간 중심 조명 구현을 위한 LED 모듈 설계

인간 중심 조명 광 특성을 분석하기 위해 표 1과 같은 전기적 특성을 갖으며, 표 2와 같은 광학적 특성의 실내 조명용 LED와 인간 중심 조명용 LED를 같은 형태의 PCB에서 실험하기 위해 동일한 사이즈의 LED 패키지를 선정하였다. 선정된 패키지는 삼성전자의 LM302D (실내 조명용),

Table 1. Properties of LED package.

Model	LM302D	LM302N Day	LM302N Nite
Vf (V)	6.0~6.4	5.8~6.2	5.8~6.2
CCT (K)	2,700, 6,500	4,000, 6,500	2,700, 4,000
Forward current (mA)	200		
Size (W*D*H)	3.0×3.0×0.65 mm		
CRI	>80		

Table 2. Relative intensity vs wavelength of LED package.



LM302N Day (인간 중심 조명용, 멜라토닌 억제)와 Nite (인간 중심 조명용, 멜라토닌 촉진)이며 CRI는 동일하게 80 이상의 패키지를 사용하였다.

LED 모듈은 linear LED 조명에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 DC24V 구동 방식으로 설계하였으며 정전류 드라이버는 Infineon社의 BCR402U를 이용해 설계하였으며 구동 전류는 라인당 50 mA로 설계하였다. 하나의 모듈에 2개의 채널을 구성하여 상관색 온도 조절, 동일색 온도에서 색 파장 조절이 가능하도록 회로를 구성하였으며 회로도 는 그림 1(a)와 같으며 PCB 아트웍은 그림 1(b)와 같다.

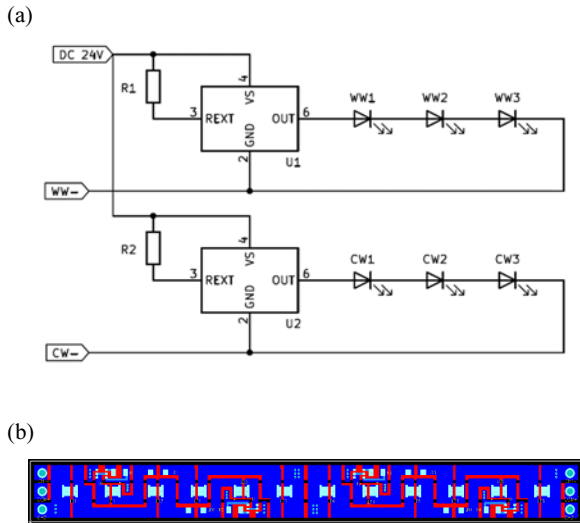


Fig. 1. (a) LED module schematic and (b) LED module PCB artwork.

Table 3. Configuration of LED module.

Case	LED	Ch1 (WW)		Ch2 (CW)	
	Model	CCT (K)	Model	CCT (K)	
Case 1	LM302D	2,700	LM302D	6,500	
Case 2	LM302N Nite	2,700	LM302N Day	6,500	
Case 3	LM302N Nite	2,700	LM302D	6,500	
Case 4	LM302D	2,700	LM302N Day	6,500	
Case 5	LM302N Nite	4,000	LM302N Day	4,000	

일반 조명용 LED와 인간 중심 조명용 LED의 상황별 파장 분석을 위해 2개의 채널에 서로 각기 다른 LED를 사용한 LED 모듈을 구성했으며, 그 구성은 표 3과 같다.

2.2 일출일몰 데이터 수집 및 API 연계

실험에 활용될 일출일몰 데이터는 기존의 측정된 데이터와 API를 연계하여 실시간으로 적용할 수 있는 2가지 방법을 제안하고자 한다. 일출일몰 데이터 기반으로 인간 중심 조명을 구현하기 위해서는 그림 2와 같이 일출시각, 일몰시각, 태양의 남중시각 정보가 필요하다.

2.2.1 공공 데이터 포털을 통한 데이터 수집

공공 데이터 포털에서 산림청 산림항공본부-일출일몰

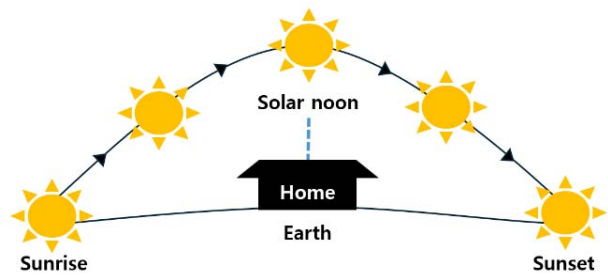


Fig. 2. Example illustration of sunrise, sunset, and solar noon.

Table 4. Sunrise, sunset, day length, and solar noon time in Seoul (2022).

Date	Sunrise	Sunset	Day length	Solar noon
22.01.01	7:46:50	17:24:09	9:37:19	12:35:29
22.02.01	7:36:03	17:55:29	10:19:26	12:45:46
22.03.01	7:04:07	18:25:18	11:21:11	12:44:42
22.04.01	6:18:17	18:54:24	12:36:07	12:36:20
22.05.01	5:37:20	19:21:41	13:44:21	12:29:30
22.06.01	5:12:37	19:47:27	14:34:50	12:30:02
22.07.01	5:14:15	19:57:23	14:43:08	12:35:49
22.08.01	5:35:38	19:40:45	14:05:07	12:38:12
22.09.01	6:01:54	19:01:52	12:59:58	12:31:53
22.10.01	6:27:07	18:15:59	11:48:52	12:21:33
22.11.01	6:56:33	17:34:18	10:37:45	12:15:25
22.12.01	7:27:36	17:14:01	9:46:25	12:20:49

관리의 csv 파일을 내려받으면, 2022년 1월 1일 ~ 2022년 12월 31일까지의 일출일몰 시각을 산림항공본부 및 관리소 12개소(서울, 원주, 영암, 진천, 강릉, 안동, 울진, 함양, 양산, 익산, 청양, 제주)에서 측정된 데이터를 확인할 수 있다. 하지만 산림항공본부에서 제공하는 데이터에는 일출일몰의 시각만을 제공하기 때문에 남중시각은 임의로 지정해 주어야 한다. 이에 표 4와 같이 일출시각과 일몰시각을 기준으로 주간(해가 떠 있는 시간)을 계산해 이의 중심시각을 태양의 남중시각으로 지정하였다.

2.2.2 API 연계를 통한 실시간 데이터 수집

일출일몰 시각을 제공하는 다양한 업체의 API가 존재하지만 가장 간편한 방식으로 일출일몰 시각의 데이터를 수집할 수 있는 곳인 sunrise-sunset.org에서 제공하는 rest API를 활용하고자 한다. 해당 API는 open API로 누구나 무료로 사용할 수 있고 회원 가입 없이 <https://api.sunrise-sunset.org/json>에 GET 요청을 수행하면 그림 3과 같이 원하는 데이터를 수집할 수 있다.

일출일몰, 남중, 낮길이 외 다양한 시각 데이터를 제공하며, 위 2.2.1의 표 4의 공공 데이터 포털에서 제공하는 데이터와도 부합시킬 수 있다. 특히, wifi 기반의 IoT 기능을 갖는 디바이스와 연동했을 때 실시간으로 전 세계 원하는 지역의 일출일몰 데이터를 손쉽게 얻을 수 있다는 것은 지능형 IoT 기기를 설계하는 데 매우 큰 장점이 될 것이다.

```
https://api.sunrise-sunset.org/json?lat=37.62021795330352&lng=127.0575745725756&tzid=Asia/Seoul
```

```
{
  "results": {
    "sunrise": "5:08:43 AM",
    "sunset": "7:57:38 PM",
    "solar_noon": "12:33:11 PM",
    "day_length": "14:48:55",
    "civil_twilight_begin": "4:39:02 AM",
    "civil_twilight_end": "8:27:20 PM",
    "nautical_twilight_begin": "3:59:55 AM",
    "nautical_twilight_end": "9:06:26 PM",
    "astronomical_twilight_begin": "3:15:38 AM",
    "astronomical_twilight_end": "9:50:43 PM"
  },
  "status": "OK",
  "tzid": "Asia/Seoul"
}
```

Fig. 3. Result value from GET request.

2.3 인간 중심 조명 제어 시나리오 설계

상관색 온도 또는 색 파장이 가변되는 인간 중심 조명을 구현하기 위해 그림 1과 같이 2개의 채널을 구성했으며 표 3과 같이 구성된 case 1~5까지의 LED 모듈의 WW PWM과 CW PWM에 PWM의 합이 그림 4, 표 5와 같이 100이 되도록 제어신호를 인가하여 밝기가 변하지 않는(광효율 차이에 따른 광속 변화는 무시) 상태에서의 파장 변화를 실험한다.

1/2 AM은 일출시각과 남중시각의 1/2이 되는 지점, 1/2 PM은 남중시각과 일몰시각의 1/2이 되는 지점을 지칭하며, 표 3 LED 모듈의 2개 채널에 표 5의 신 1~5에 해당하는 PWM을 제어신호로 하여 각각의 분광을 측정하였다.

2.4 인간 중심 조명 실험 환경

분광 실험을 진행하기 위해 간이암실과 분광조도계를 사용하였다. 간이암실은 검은색 무광 보드를 이용하여 그림 5와 같이 가로 30 cm, 세로 30 cm, 높이 30cm의 정육면체로 제작하였으며 위에 판에는 분광조도계를 설치하여 측정할 수 있는 45파이 hole을 가공하였다.

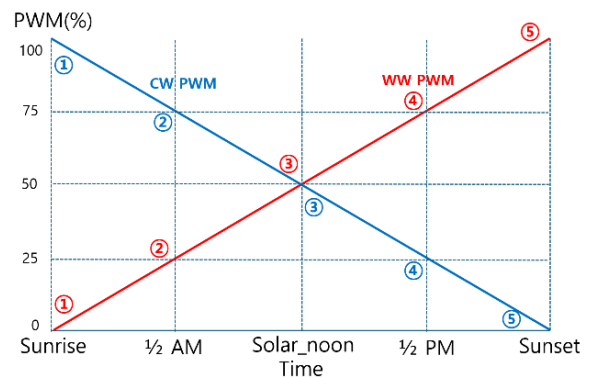


Fig. 4. Control scenario according to sunrise and sunset times.

Table 5. PWM (%) at sunrise and sunset time.

Scene	WW PWM (%)	CW PWM (%)
① Sunrise	0	100
② 1/2 AM	25	75
③ Solar_noon	50	50
④ 1/2 PM	75	25
⑤ Sunset	100	0



Fig. 5. Temporary darkroom.



Measurement wavelength range: 360~780 nm
Wavelength precision : ±0.3 nm

Fig. 6. Equipment used for analysis.



Fig. 7. DC24 V LED convertor & Zigbee controller.

분광조도계는 Konica minolta의 CL-500A를 사용하였으며 실험에 사용될 주요 지표의 사양은 그림 6과 같다.

인간 중심 조명의 구현 및 실험을 위해 제어 시스템을 구성했으며 전원장치와 제어장치는 그림 7과 같이 KH필룩스의 LED 컨버터와 ZigBee 컨트롤러를 이용해 구성하였다.

시스템 블록도는 그림 8과 같으며 리모트 컨트롤러에서 생성한 표 5의 신호를 지그비 컨트롤러로 전달하여 WW 신호와 CW 신호를 생성하여 상관색 온도 가변이 가능한 인간 중심 조명 장치를 구현하였다.

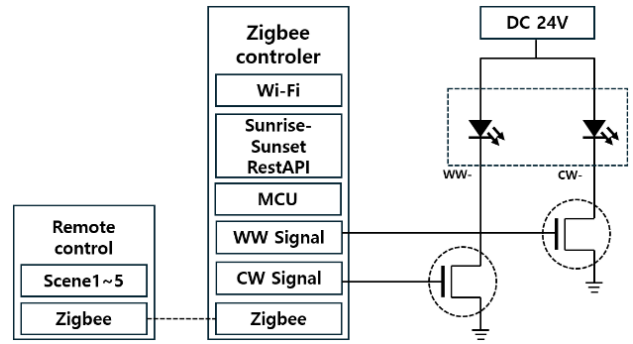


Fig. 8. System block diagram for implementing human-centric lighting.

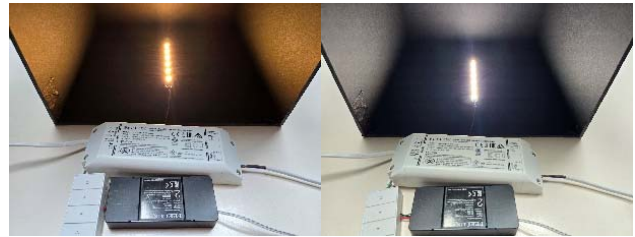


Fig. 9. Photograph of testing.

실험의 순서는 표 3에서 제시한 5가지의 LED 모듈을 이용하여 표 5의 순서로 진행되었으며, 그림 9와 같이 간이 암실에 LED 모듈과 분광조도계를 설치하여 신별 분광 데이터와 상관색 온도, 피크 파장의 변화를 관찰하였다.

3. 실험 결과

그림 10(a)는 아두이노 스케치의 시리얼 모니터를 통해 일출일몰 및 남중시각이 정상적으로 데이터가 수신되는 것을 확인하는 이미지이며, 그림 10(b)는 API를 호출하는 코드의 일부이다.

Case 1~4는 상관색 온도가 2,700~6,500 K까지 가변하여 측정하였으며, case 5는 4,000 K의 동일한 상관색 온도에서 인간 중심 조명 Day와 Nite의 색 파장을 가변하는 형태로 시험을 진행하였다. 실내 조명용 LED와 인간 중심 조명 LED를 혼합 사용하여 시간대별로 상관색 온도 또는 색 파장을 변경했을 때 피크파장의 변화를 관측한 결과는 표 6과 같다.

(a)

```

출력 시리얼 모니터 x
Message (Enter to send message to 'NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)' on 'COM9')
.....
WiFi connected
IP address:
192.168.198.148
connecting to api.sunrise-sunset.org
Requesting URL: /json?lat=37.62021795330352&lng=127.0575745725756&tzid=Asia/Seoul
Request sent
Sunrise : 5:09:07 AM
Sunset : 7:58:07 PM
Solar Noon : 12:33:37 PM
    
```

(b)

```

1 #include <ESP8266WiFi.h>
2
3 const char* ssid = "Jjang7879"; // your WiFi SSID
4 const char* password = "abcdefg"; // your WiFi Password
5
6 const char* host = "api.sunrise-sunset.org"; // sunrise-sunset.org Host address
7 const char* url = "/json?lat=37.62021795330352&lng=127.0575745725756&tzid=Asia/Seoul";
8 // Parse sunrise and sunset times from JSON
9
10 int sunriseIndex = response.indexOf("sunrise\":\"") + 10;
11 int sunsetIndex = response.indexOf("sunset\":\"") + 9;
12 int solar_noonIndex = response.indexOf("solar_noon\":\"") + 13;
13
14 String sunrise = response.substring(sunriseIndex, sunriseIndex + 10);
15 String sunset = response.substring(sunsetIndex, sunsetIndex + 10);
16 String solar_noon = response.substring(solar_noonIndex, solar_noonIndex + 11);
17
18 // Time output
19 Serial.print("Sunrise : ");
20 Serial.println(sunrise);
21
22 Serial.print("Sunset : ");
23 Serial.println(sunset);
24
25 Serial.print("Solar Noon : ");
26 Serial.println(solar_noon);
27
28 delay(60000); // 1분마다 업데이트
    
```

Fig. 10. (a) Serial monitor output result of Arduino sketch and (b) serial monitor output result of Arduino sketch.

Table 6. Changes in peak wavelength by scene and case.

Case	Scene				
	Sunrise	1/2 AM	Solar noon	1/2 PM	Sunset
Case 1	451	451	451	604	607
Case 2	478	477	477	628	633
Case 3	451	451	451	451	634
Case 4	476	476	602	605	608
Case 5	597	598	604	454	454

표 6의 피크파장의 분광방사조도의 측정값은 표 7과 같다. 실내 조명용 LED만으로 구성된 case 1을 기준으로 정하고 다른 LED들이 사용된 case 2~5와의 증감률을 계산한 결과는 표 8과 같다. 표 8의 결과에 의하면 인간 중심용 LED가 사용된 상관색 온도 대역은 최소 13.3%, 최대 49.6% 분광방사조도가 낮아졌음을 알 수 있다. 반대로 인간 중심 조명 LED와 실내 조명 LED를 혼합하여 사용한 case 3, 4의 경우 실내 조명 LED가 사용된 상관색 온도의 대역에서 최소 3.1%, 최대 6.7% 높아졌음을 알 수 있다.

Table 7. Spectral irradiance of peak wavelength.

Case	Scene				
	Sunrise	1/2AM	Solar noon	1/2PM	Sunset
Case 1	0.0256	0.0210	0.0162	0.0137	0.0150
Case 2	0.0207	0.0159	0.0110	0.0108	0.0120
Case 3	0.0264	0.0217	0.0168	0.0118	0.0121
Case 4	0.0212	0.0166	0.0130	0.0145	0.0160
Case 5	0.0129	0.0121	0.0111	0.0118	0.0130

Table 8. Increase/decrease rate compared to case 1.

Case	Scene				
	Sunrise	1/2 AM	Solar noon	1/2 PM	Sunset
Case 1	-	-	-	-	-
Case 2	-19.1	-24.3	-32.1	-21.2	-20.0
Case 3	+3.1	+3.3	+3.7	-13.9	-19.3
Case 4	-17.2	-21.0	-19.8	+5.8	+6.7
Case 5	-49.6	-42.4	-31.5	-13.9	-13.3

각 case별로 360 nm에서 780 nm까지 분광방사조도를 측정하였으며 시각적 비교를 위하여 각 실험 데이터를 종합하여 그래프를 그렸다. Case 1은 일반적으로 유통되고 있는 실내 조명용 LED 광원을 2채널에 모두 적용한 모듈로 분광 데이터는 그림 11과 같다.

6,500 K LED의 451 nm 대역의 피크파장이 가장 높은 것을 확인할 수 있으며 1/2 PM 지점에서 604 nm, 일몰지점에서 607 nm로 변화한 것을 확인할 수 있다.

Case 2는 인간 중심 조명용으로 유통되고 있는 광원을 2채널에 모두 적용한 모듈로 분광 데이터는 그림 12와 같다.

실내 조명용 LED와 다르게 청색광 부분의 450 nm대와 480 nm대에서 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 집중력 향상 효과를 갖는 LM302N Day의 특징으로 450 nm 대역의 피크파장을 낮추고 480 nm 대역을 보강하여 백색광을 구현하는 것을 확인할 수 있다. 또한 오후 시간대의 피크파장대역 역시 628 nm와 633 nm로 일반 조명에 비해 우측으로 시프트 된 것을 확인할 수 있다.

Case 3은 WW에는 인간 중심 조명용 LED 2,700 K를 사용하고 CW에는 일반 조명용 LED 6,500 K를 사용했을 때의 분광 데이터이며 그림 13과 같다.

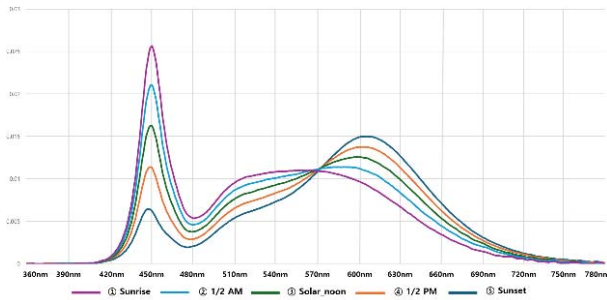


Fig. 11. Wavelength change of case 1.

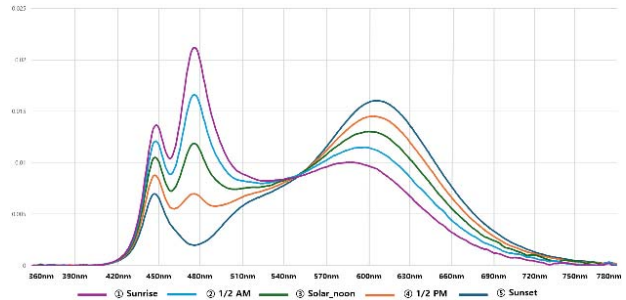


Fig. 14. Wavelength change of case 4.

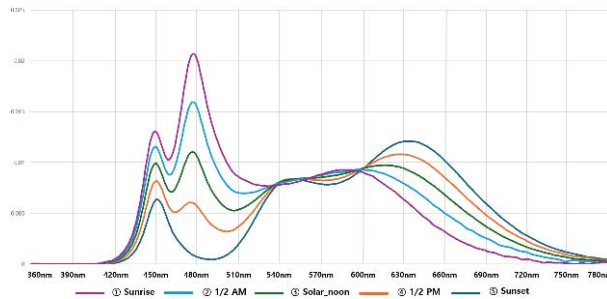


Fig. 12. Wavelength change of case 2.

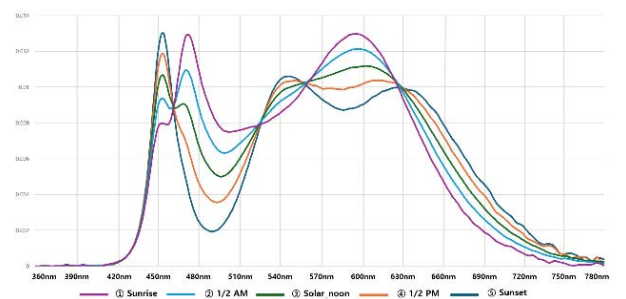


Fig. 15. Wavelength change of case 5.

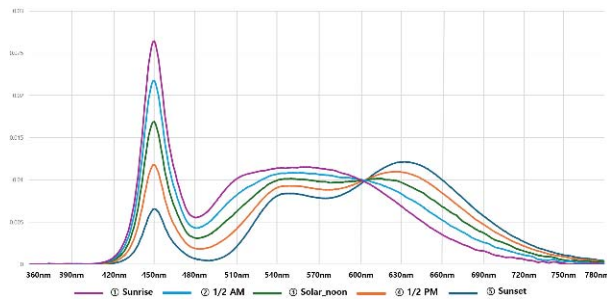


Fig. 13. Wavelength change of case 3.

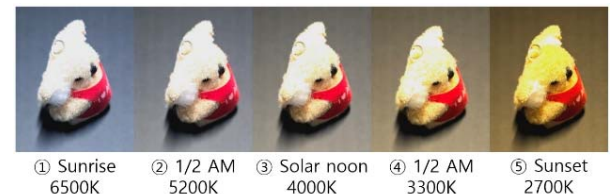


Fig. 16. Subject color change according to scene change.

420~480 nm는 일반 조명용 LED를 사용한 그림 11과 거의 유사한 결과를 보이고 있으나, 540 nm대와 630 nm대에 2개의 분봉이 보이는 것과 인간 중심용 LED만 사용한 모듈에 비해 더 늦은 시간에 피크파장이 이동하는 것을 관측할 수 있다.

Case 4는 WW에 실내 조명용 2,700 K를 사용하고 CW에는 인간 중심 조명용 Day LED 6,500 K를 사용했을 때의 분광 데이터이며 그림 14와 같다.

420~540 nm까지의 파장은 인간 중심 조명 LED가 사용

된 그림 12와 유사하며, 540~780 nm까지의 파장은 실내 조명용 LED가 사용된 그림 11과 유사한 것을 알 수 있다.

Case 1~4는 모두 상관색 온도 제어를 목적으로 WW에 2,700 K, CW에 6,500 K를 사용하였다. Case 5는 동일한 상관색 온도에서 색 파장이 서로 다르게 구성되어 변화하는 분광 데이터를 관측하였다. WW에는 302N Nite 4,000 K를 사용하고, CW에는 302N Day 4,000 K를 사용하였을 때의 분광 데이터이며 그림 15와 같다.

420~540 nm의 색 파장과 540~780 nm의 변화가 가장 큰 폭으로 이루어지고 있으며 각각의 구간에서 쌍봉으로 변화하는 모습이 뚜렷하게 관찰되었다.

각 신의 변경에 따른 피사체 색감이 그림 16과 같이 일출 6,500 K, 일몰 2,700 K까지 뚜렷하게 변화되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 일출일몰 데이터를 수집하는 방법으로 과거의 측정 데이터를 사용하는 방법과 API 연계를 통해 실시간으로 수집하는 2가지 방법을 제안하였다. 서로 다른 형태의 2가지 방안을 제안한 이유는 인터넷을 연결하기 어려운 곳이나, 간편하게 일출일몰을 재현할 수 있는 기능성 조명을 설계할 때는 과거의 측정 데이터를 활용하여 인간 중심 조명 기능을 구현하고, 다양한 기능과 고도화된 서비스를 제공하기 위해서는 API를 연계하여 실시간으로 일출일몰 시각을 연동하는 것이 유리할 것으로 판단되기 때문이다. 일출, 일몰, 남중시각을 제어장치와 연계하여 데이터를 수집하고, 조명이 자율적으로 제어할 수 있는 방안에 대해 연구하였으며, 상관색 온도 제어뿐만 아니라 동일한 상관색 온도를 갖는 서로 다른 색 파장을 사용하는 2개의 LED를 한 모듈에 사용하여 분광방사조도의 분포가 변화하는 것을 관측하였다. 이는 상관색 온도 제어 조명에 대한 거부감이 있는 소비자에게 기능성 인간 중심 조명을 공급하기에 좋은 방안이 될 수 있다. 현재 인간 중심 조명 LED 패키지 가격이 일반 실내 조명용 LED 패키지의 5~10 배로 형성되어 있는 것을 고려하면 인간 중심 조명의 보급·확산에 걸림돌이 될 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상관색 온도 제어 조명 설계 시 수면의 질 향상을 목적으로 설계한다면 인간 중심 조명 LED 2,700 K와 실내 조명용 LED 6,500 K를 사용하고, 주간 실내 재실 시간 집중력 향상을 목적으로 하는 조명의 경우 인간 중심 조명 LED 6,500 K와 실내 조명용 LED 2,700 K를 사용하는 것과 같이 목적에 맞는 전용 설계로 원가를 낮춰 상관색 온도 제어용 인간 중심 조명의 보급·확산에 기여할 것으로 판단한다. 조명의 비시각적 자극을 통한 인간 조명 설계 시 본 논문에서 설계한 5가지 케이스의 분광방사조도 분포도를 참고하여 원하는 색 파장대 구현 방법을 선택하는 방식으로 설계 목적에 부합하는 인간 중심 조명을 설계할 수 있다. 한국 정부 및 전 세계 IT 업계는 데이터의 확보 및 활용을 위해 다양한 open API들을 발굴하여 배포하고 있다. 인간 중심 조명 또한 전용 LED뿐 아니라 쿼터닷 형광체, 광학필름 등

을 이용하여 구현하는 방안의 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 인간 중심 조명은 상관색 온도 제어를 통해 다양한 환경 변화에 대응할 수 있는 서비스에 대한 연구가 더욱 필요한 실정이며, 상관색 온도 제어 시 발생할 수 있는 유해인자인 플리커와 2개 이상의 채널을 동시에 제어할 때 발생할 수 있는 플리커 중첩에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

ORCID

Chunghyeok Kim

<https://orcid.org/0000-0003-2694-0431>

REFERENCES

- [1] M. G. Hwang, E. D. Lee, and U. J. Jang, *Proc. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **20**, 15 (2006).
- [2] J. W. Kim and D. I. Kang, *Korean J. Heritage*, **52**, 188 (2019). doi: <https://data.doi.or.kr/10.22755/kjchs.2019.52.3.188>
- [3] J. K. Ko, M. R. Cho, M. J. LEE, and J. J. Kim, *Proc. Safety Management and Science Conference (Korea Safety Management & Science, Seoul, 2012)* p. 435.
- [4] N. E. Klepeis, W. C. Nelson, W. R. Ott, J. P. Robinson, A. M. Tsang, P. Switzer, J. V. Behar, S. C. Hern, and W. H. Engelmann, *J. Exposure Sci. Environ. Epidemiol.*, **11**, 231 (2001). doi: <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>
- [5] N. Breslau, T. Roth, L. Rosenthal, and P. Andreski, *Biol. Psychiatry*, **39**, 411 (1996). doi: [https://doi.org/10.1016/0006-3223\(95\)00188-3](https://doi.org/10.1016/0006-3223(95)00188-3)
- [6] S. J. Lee and H. K. Yoon, *J. Archit. Inst. Korea*, **38**, 141 (2022). doi: <https://doi.org/10.5659/JAIK.2022.38.2.141>
- [7] J. B. O'Hagan, M. Khazova, and L.L.A. Price, *Eye*, **30**, 230 (2016). doi: <https://doi.org/10.1038/eye.2015.261>
- [8] M. H. Jung, S. J. Yang, J. S. Yuk, S. Y. Oh, C. J. Kim, J. Lyu, and E. J. Choi, *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, **20**, 293 (2015). doi: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2015.20.3.293>
- [9] X. Hao and C. W. Kim, *J. Korea Inst. Electron. Commun. Sci.*, **11**, 983 (2016). doi: <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2016.11.10.983>
- [10] J. H. Sim and T. M. Chung, *Proc. Korea Information Processing Society Conference (Korea Information Processing Society, Jeju, 2015)* p. 1732. doi: <https://doi.org/10.3745/PKIPS.y2015m10a.1732>