

인체 감지 제어 기능을 갖는 UV LED Bar의 최적 설계

김창선* · 이재학** · 고영진***

The UV LED Bar Optimal Design with Human Detection and Control Function

Chang-Sun Kim* · Jae-Hak Lee** · Young-Jin Goh***

요 약

본 논문에서는 다용도로 사용 가능한 UV LED 바의 최적설계를 하였다. UV LED는 자외선을 방출하기 때문에 사용목적상 일정하게 자외선을 방출하는 것이 중요하다. 일정한 자외선이 방출되기 위해서는 동작 가능 입력 전압 범위 내에서 정전류원으로 구동되어야 하고 자외선 활용 특성 상 자외선 방출 유지 시간이 길기 때문에 방열이 특히 중요하다. 따라서 소비전력이 최소화 되도록 설계해야 한다. 또한 인체 보호가 필수적이기 때문에 거리 감지 센서와 블루투스를 이용해 인체 감지 여부에 따라 동작할 수 있게 알고리즘을 구성하였다. 자외선 UVA를 방출하기 위해 365nm UV LED 3개가 직렬로 사용되었으며 입력 전압 12V와 정전류 500mA에서 동작하며 효율은 87.5%, 소비전력은 6.006W이다. 그리고 자외선 조사량은 루트론 계측기로 측정하였을 경우 10cm 거리에서 5.35mW/cm²으로 측정 되었다.

ABSTRACT

In this paper, it is performed the optimal design of the UV LED bar which can be used variously. The UV LED Bar emits ultraviolet rays, so it is important to emit ultraviolet rays constantly for the purpose of use. In order to emit a certain amount of ultraviolet rays as ever, the ultraviolet ray emission should be driven by a constant current source within the operable input voltage range. And also the heat dissipation is particularly important because of the long ultraviolet emission retention time due to the UV utilization characteristics. In addition, since human body protection is essential, the algorithm is configured to operate according to human body detection using distance sensor and Bluetooth. Three 365nm UV LEDs were used in series to emit ultraviolet UVA, operating at the constant current of 500mA with an efficiency of 87.5% and a power consumption of 6.006W. The ultraviolet radiation dose was measured at 5.35 mW / cm² at the distance of 10 cm when measured by the Lutron ultraviolet measuring instruments.

키워드

UV LED Bar, Optimal Design, Human Detection Algorithm, Bluetooth

자외선 LED 바, 최적 설계, 인체 감지, 블루투스

1. 서 론

1801년 독일의 화학자 J.W.리터가 눈에 보이지 않

는 극히 짧은 파장의 빛 입자가 사진 필름을 감광시키는 것을 보고 보라색 보다 더 짧은 파장의 빛 입자도 있다는 것을 발견하게 되었다. UV LED는 스펙트

* 미래에너지기술연구소(integrone@naver.com)

** 교신저자 : 송원대학교 전기전자공학과

*** 순천제일대학교 전기자동차과(zerojjin@suncheon.ac.kr)

• 접수 일 : 2017. 10. 25

• 수정완료일 : 2017. 11. 19

• 게재확정일 : 2017. 12. 15

• Received : Oct 25, 2017, Revised : Nov 19, 2017, Accepted : Dec 15, 2017

• Corresponding Author : Jae-Hak Lee

Dept. of Electrical-electronic engineering, Songwon University,

Email : pe8758@hanmail.net

럼에 따라 많은 방법으로 분류된다. 이 중 태양광에 대한 ISO 분류 기준 ISO-DIS-21348에 따른 분류법을 소개하면 UVA (400~315nm), UVB (315~280nm), UVC (280~100nm)로 나눌 수 있다.

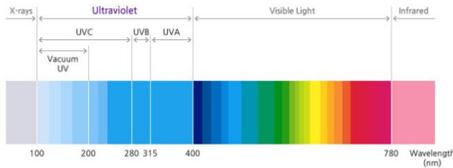


그림 1. 자외선 스펙트럼
Fig. 1 UV Spectrum

UV LED는 수은을 포함한 전통 UV 램프와 비교하여 많은 장점을 가지고 있다. UV LED는 대부분 상용 전원을 그대로 쓸 수 있고 에너지 소비를 절대적으로 감소시킨다. 그리고 순간적으로 on/off가 가능하며, 수은 UV 램프처럼 가동을 위해 사용하지 않을 때도 켜놓을 필요가 없다. 수은 램프는 또한 오존을 발생시켜, 이를 제거하지 않으면 안된다. 이는 UV 램프를 이용하는 장비의 주변에서 일하는 사람에서 심각한 호흡기 문제를 발생시키기 때문에 반드시 제거하는 장치를 설치해야 한다. 이 때문에 공기 정화 환기구 등 많은 추가 비용과 에너지 소비를 발생시킨다.

이에 비해 LED는 오존을 발생시키지 않는다. 수은 램프의 수명은 일반적으로 2,000시간 내외입니다. 그러나 LED는 하루에 8시간 계속 on/off해서 사용한다고 할 때 10년 이상 사용이 가능하다. 또한 LED는 Small form factor라는¹⁾ 강한 장점을 가지고 있기 때문에 디자인 하는데 있어서 다양성과 유연성을 부여한다^{1),2)}.

II. UV LED 3 Bar 설계

UV LED는 광원용 LED에 비해 특수한 목적에 맞게 사용되어진다. 따라서 일정한 정전류원으로 구동하는 것이 필수적이다[1-3]. 모듈 설계에는 UVA LED인 TO252 형태의 3.5V/500mA를 선택하였고 UV

LED를 구동하기 위한 정전류 구동용 IC로는 DW8501을 이용해 설계하였다[4-7].

2.1 제어기 특성

DW8501, Linear type Constant Current IC는 입력 전압이 변화여도 출력전류가 변하지 않는 특성을 나타낸다. 이것은 LED 조명에서 가장 중요한 LED 정전류 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 소자라 할 수 있다. 그림 2는 DW8501 제어기의 블록도를 나타낸다. 내부 제어기에 의해 정전류원으로 동작한다는 것을 알 수 있다.

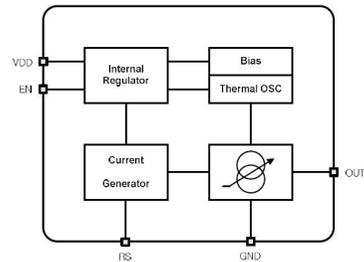


그림 2. DW8501 블록도
Fig. 2 DW8501 Block diagram

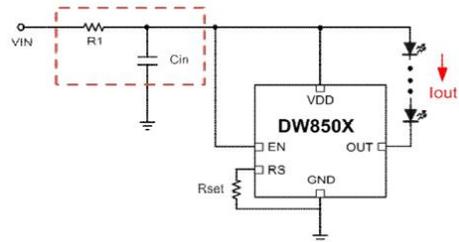


그림 3. UV LED 제어 회로
Fig. 3 UV LED Control circuit

2.2 V_{DD}와 R_{set}에 따른 효율 특성

입력전압인 V_{DD}의 전압을 결정하기 위해서는 OUT 핀의 효율 특성을 파악해야 한다. 동작 조건은 3V이하에서 P_D가 1.5W이내에서 동작 시켜야 한다. 여기서 OUT의 전압을 최소로 할 경우 최대 효율에 도달하게 된다. 설계 조건에 따라 모델 1의 경우 용도에 따라 LED 3개를 직렬로 연결할 경우 Forward Voltage Drop은 10.5V이고 정전류는 500mA를 흘려줘야 한다.

$$V_{DD} > 10.5V + 0.2V \quad (1)$$

1) www.LGinnotek.co.kr

2) www.seoulviosys.com

Dropout Voltage when 3 UVLED in series

따라서 $V_{DD}=12V$

$R_{sel}=1.22k\Omega$, when $I_D=500mA$

이 때 정전류원의 소비전력은

$$P_D = (12V - 10.5V) \times 500mA = 0.75W \quad (2)$$

이는 정격전력의 50% 정도로 안정된 구동 특성을 보장하며 방열 대책에도 도움이 된다. 그림 4에서 IC OUT전압이 1.5V인 경우 IC 온도는 45도 정도로 매우 안정적임을 알 수 있다.

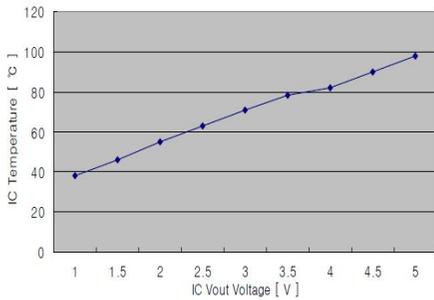


그림 4. 온도 특성
Fig. 4 Temperature characteristics

여기서 효율은

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \quad (3)$$

따라서

$$\eta = \frac{P_D}{P_{IC} + P_D} \times 100 \quad (4)$$

여기서

$$P_{IC} = V_{IN}I_Q + (V_{IN} - V_D)I_D$$

$$P_D = V_D I_D$$

그러므로

$$\eta = \frac{(V_D I_D)}{(V_{IN} I_Q) + (V_{IN} - V_D) I_D + (V_D I_D)} \times 100 \quad (5)$$

여기서

$$V_{IN} = 12V, I_Q = 0.5mA, V_D = 3.5 \times 3, I_D = 500mA$$

$$P_{IC} = 756mW$$

$$P_D = 5.25W$$

따라서

$$\eta = 87.4\%$$

그리고 I_Q 는 IC를 구동하기 위한 전류로 약 0.5mA 이므로 무시하면 효율 식은 다음과 같다.

$$\eta \approx \frac{V_D}{V_{IN}} \times 100 \quad (6)$$

따라서 다이오드 3개가 직렬이므로 $V_{IN}=12V$, $V_D=10.5V$ 이고 효율을 계산하면 다음과 같다.

$$\eta = \frac{10.5}{12} \times 100 = 87.5\% \quad (7)$$

2.3 필터 회로 결정

정전류 회로에 있어서 스위치를 On시킬 때 기생 성분들에 의한 surge 전압과 전류가 발생한다. 이 전압은 스위칭 시 지속적인 스트레스를 주고 수명을 단축시킨다. 따라서 필터 회로를 첨가하여 안정성을 확보하는 것이 필수적이다. 저역 통과 필터인 RC회로를 이용하여 필터 회로를 구성 하였다. 저역 통과 필터는 교류성분을 저역의 신호는 통과 시키고 고역의 신호는 감쇄 시켜 위상을 지연시키는 특성을 갖고 있다.

V_{DD} 전압은 IC의 입력단으로 RC 필터 회로의 경우 출력 전압에 해당된다. 따라서 전달 특성 식은 다음과 같다.

$$V_{DD} = \frac{1}{1 + sRC} V_{IN} = V_{out} \quad (8)$$

주파수 특성에 따라 V_{IN} 에 들어가는 교류 전압 분은 고주파 영역에서 $-20[\text{dB}]$ 로 이득으로 감소하게 된다. $R1=0.5\Omega$, $Cin=9.4\mu\text{F}$ 인 경우 Corner frequency $f_c=33.9\text{KHz}$ 에 해당되고 이 보다 높은 주파수를 갖는 기생 발전은 $-20[\text{dB/decade}]$ 로 감소하게 되어 보다 안정한 회로를 구성 할 수 있다.

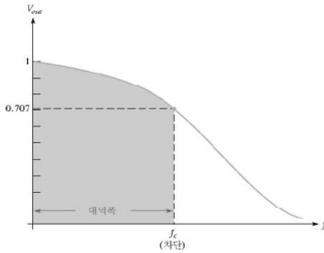


그림 5. RC 필터 회로의 주파수 특성
Fig. 5 RC filter frequency characteristics

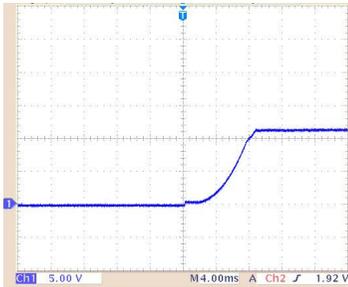


그림 6. C 필터 회로를 적용한 IC 입력 전압
Fig. 6 IC input voltage with C filter
($C=9.4\mu\text{F}$, 5V/div)

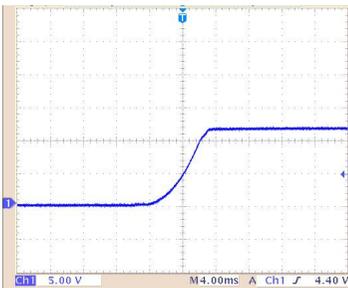


그림 7. RC 필터 회로를 적용한 IC 입력 전압
Fig. 7 IC input voltage with RC filter
($R=0.5\Omega$, $C=9.4\mu\text{F}$, 5V/div)

그림 6과 그림 7을 비교해 보면 RC 필터를 사용했을 경우 스위치를 동작 시켰을 때 기생 성분들에 의한 surge 전압이 나타나지 않는 안정된 파형을 관찰 할 수 있다.

2.4 Bar 의 손실분 계산

Bar의 효율은 87.5%이고 손실분은 12.5%이기 때문에 방열판을 설계하기 위해 모듈의 전력 손실분을 계산해 보면 다음과 같다

모듈의 손실분은

$$P_{loss} = P_{IC} + P_D \tag{9}$$

여기서

P_{IC} 는 IC의 소모 전력

P_D 는 다이오드의 소모전력

따라서

$$P_{IC} = (V_{IN}I_Q) + (V_{IN} - V_D)I_D \tag{10}$$

여기서, $V_{IN}=12\text{V}$, $I_Q=0.5\text{mA}$, $V_D=10.5\text{V}$, $I_D=500\text{mA}$ 이므로 P_{IC} 는 756mW이다.

$$P_D = 3(V_D I_D) \tag{11}$$

여기서, $V_{IN}=3.5\text{V}$, $I_D=500\text{mA}$ 이므로 1개의 다이오드 P_D 는 1.75W이고 3개에서 발생하는 손실분은 5.25W가 된다. 따라서 모듈의 전체 손실분은 6.006W의 열이 방출된다. 다이오드 1개의 손실분은 29%에 해당되고 3개인 경우 87.4%에 해당되며 IC의 손실분은 12.7%에 해당된다. 따라서 다이오드의 대향 대책이 필요하다. 이러한 내용을 표1에 정리하였다.

표 1. Bar의 손실분
Table 1. Power loss of the bar

	power loss	conditions
diode power loss, P_D	5.25W (87.4%)	(500mA, 3.5V)×3
IC power loss, P_{IC}	0.756W (12.6%)	0.5mA, 12V
total loss, P_{loss}	6.006W (100%)	$P_{IC}+P_D$

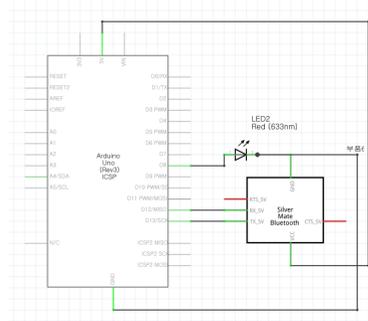


그림 9. Slave 회로
Fig. 9 Slave circuit

III. UV LED Bar 블루투스 제어

UV LED Bar는 자외선을 방출하는 LED로 살균 목적으로 사용되기 때문에 인체에 치명적이다. 따라서 공간에 출입 시 자동으로 on, off 하는 기능이 필요하며 출입 시 순간들을 디지털 코드화 하여 흐름도를 구성하였고 아두이노를 이용하여 이와 같은 동작을 프로그래밍하여 자동으로 인체를 감지하여 블루투스를 통해 무선으로 동작 하도록 구성 하였다[8]. 센서를 통해 프로그램은 몇 명이 입실되었는지 또는 몇 명이 퇴실하였는지 검출 할 수 있다. 이를 통해 자외선 LED Bar의 안정성을 확보할 수 있다. 그림 8은 마스터 회로로 인체를 감지하는 역할을 하며, 그림 9는 슬레이브 회로로 UV LED 바에 연결이 되어 인체 감지 여부에 따라 on, off를 수행한다[9][10].

센서1을 S1, 센서2를 S2로 하고 사람이 출입할 경우 4단계로 나눌 수 있으며, 이를 디지털 신호로 바꾸어 표현을 해 보면 표 1과 표 2와 같다.

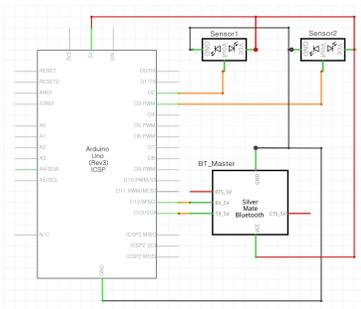


그림 8. Master 회로
Fig. 8 Master circuit

표 2. 1명이 입장 했을 경우
Table 2. When one person enters

S1	S2	Decimal	state
0	0	0	before entry
1	0	2	when passing through S1
1	1	3	when passing through S1, S2
0	1	1	when passing through S2 (1 person entry)
0	0	0	after entry

표 3. 1명이 퇴장 했을 경우
Table 3. When one person leaves

S1	S2	Decimal	state
0	0	0	before exiting
0	1	1	when passing through S2
1	1	3	when passing through S2, S1
1	0	2	when passing through S1 (1 person left)
0	0	0	after exiting

rising edge를 처리하기 위해 mpu의 interrupt 0번과 1번을 사용하였다. S1과 S2에 신호가 계속 들어오고 있거나, S1만 rising edge가 들어온 경우, 혹은 S2만 rising edge가 들어온 경우에는 해당되지 않기 때

문에 동작하지 않는다. 그림 10은 입출력 흐름도를 나타내고 그림 11은 센서 펄스 동작을 나타낸다. 그림 12와 그림 13은 출입 시 감지되는 상태에 따라 아두이노 블루투스를 통해 동작하는 전압 파형을 나타낸다.

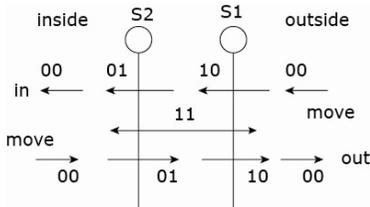


그림 10. 입출력 흐름도
Fig. 10 I / O flow chart

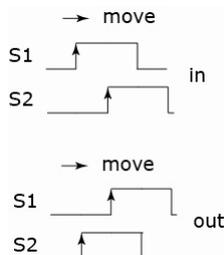


그림 11. 센서 펄스 동작
Fig. 11 Sensor pulse operation

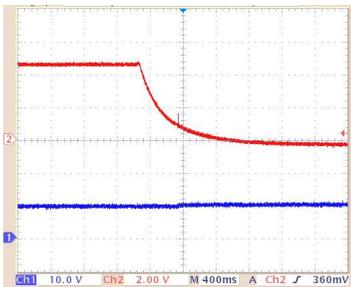


그림 12. 한 명이 입실 시 입력전압과 MCU 전압
Fig. 12 Input voltage and MCU voltage when one person enters (upper, sensing voltage 5V/div and lower, input voltage 10V/div)

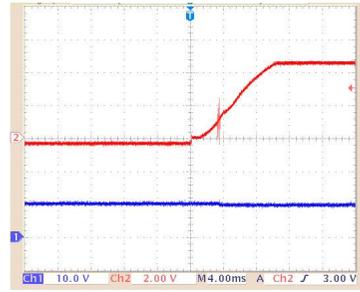


그림 13. 한 명이 퇴실 시 입력전압과 MCU 전압
Fig. 13 Input voltage and MCU voltage When one person leaves (upper, sensing voltage 5V/div and lower, input voltage 10V/div)

표 4는 UV LED 3 bar가 정상 동작하고 있을 경우의 출력 특성을 나타낸다. 365nm의 UV를 방출하는 것을 확인할 수 있고 또한 UVC와 가시광선도 일부 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 14는 UVA 검출량을 그래프로 나타내었다.

표 4. UV LED 3 bar의 출력 특성
Table 4. UV LED 3 bar output characteristics

WD [cm]	UVA [mW/cm ²]	UVC [mW/cm ²]	Light [LUX]
5	12.49	0.019	2440
10	5.35	0.008	771
20	1.74	0.002	214
30	0.97	0	104

(Lutron YK-37UVSD, UVC-254SD), EM-9300SD)

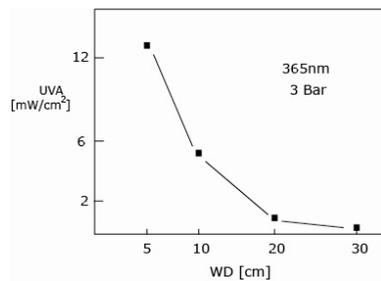


그림 14. UV LED 3 bar의 출력 특성 곡선
Fig. 14 UV LED 3 bar output curve

IV. 결 론

본 논문에서는 다용도로 사용 가능한 UV LED 바의 최적설계를 하였다. UV LED가 일정하게 안정적으로 자외선을 방출하기 위해서는 정전류원으로 구동되도록 설계하였으며 방열이 용이하도록 소비전력이 최소화 되도록 설계되었다. 또한 인체 보호가 필수적이기 때문에 아두이노와 블루투스 그리고 감지센서를 통해 알고리즘을 구성하였다. 자외선 365nm UVA를 방출하는 UV LED 3 바를 제작하여 설계의 타당성을 입증 하였다. 입력 전압 12V와 정전류 500mA에서 동작하며 효율은 87.5%, 소비전력은 6.006W이다. 그리고 자외선 조사량은 루트론 계측기로 측정하였을 경우 10cm 거리에서 5.35mW/cm²으로 측정 되었다.

References

- [1] J. Shin, S. Kim, and D. Kang, "Fundamental Characteristics of Deep-UV Light-Emitting Diodes and Their Application To Control Foodborne Pathogens," *American Society for Microbiology, Applied and Environmental Microbiology*, vol. 82, no. 1, 2016, pp. 2-10.
- [2] K. Lee., "Design of Adaptive Current Control Circuits for LEDs," *J. of the Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 29, no. 12, 2015, pp. 8-14.
- [3] K. Lee, J. Kim, S. Yeo, S. Cho, and S.Kim "Study on Low Power LED Display Operation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*. vol. 10, no. 5, 2015, pp. 587-592.
- [4] S. Kwak, "Design and Implementation of LED Lighting System with Adjustable Brightness and Color Capability," *J. of the Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 10, no. 5, 2015, pp. 579-586.
- [5] J. Song, J. Park, and B. Yoon, "Design and Implementation of Transformerless 40W LED Light Driver Circuit for Ships," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 3, 2012, pp. 485-490.
- [6] H. Shin, "Design of LED Driving SMPS for Large Traffic Signal Lamp," *J. of the Korea*

Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 4, no. 2, 2009, pp. 123-129.

- [7] H. Shin, "Development of constant current SMPS for LED Lighting," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 1, 2015, pp. 111-115.
- [8] X. Hao and C. Kim, "Design and Implementation of LED Lighting Control System Using Arduino Yun and Cloud in IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 10, 2016, pp. 983-988.
- [9] Y. Han and D. Kim "Sensitivity illumination system using biological signal," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, 2014, pp. 499-508.
- [10] J. Kwon, H. Kim, K. Park, Y. Kim, and G. Hoang "Thermal Characteristics of Designed Heat Sink for 13.5W COB LED Down Light," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*. vol. 9, no. 5, 2014, pp. 561-566.

저자 소개

김창선(Chang-Sun Kim)



1990년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1992년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1996년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1997년~2012년 목포대학교 전기공학과 교수

2012~2014 지엔씨 하이테크 광소재연구소 소장

2014년~현재 청아람 대표

2015년~현재 순천제일대학교 전기자동차과 겸임교수

2017년 ~현재 미래에너지기술연구소 소장

※ 관심분야 : UV, ESS, 스마트 전력변환제어



고영진(Young-Jin Goh)

2008년 전남대 전기 및 반도체공학과 졸업(공학사)

2010년 전남대 전기 및 반도체공학과 졸업(공학석사)

2016년 전남대 전기 및 반도체공학과 졸업(공학박사)

2015년~현재 순천제일대학교 전기자동화과 조교수

※ 관심분야 : 전기기기 고장진단, 신호처리 컴퓨터비전, 패턴인식.



이재학(Jae-Hak Lee)

1989년 중앙대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1991년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

2005년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1990년~1996년 (주)이화전기공업 기술연구소

1996년 한국철도학회 학술이사

2007년 건축전기설비기술사

2010년 전기응용기술사

1999년~2017년 2월 청암대학교 소방안전관리과 교수

2017년 3월~현재 송원대학교 전기전자공학과 교수

※ 관심분야 : 전력전자, 신재생에너지, 조명제어