

색상 및 밝기 조절이 가능한 LED 조명 기구의 설계 및 구현

곽성우*

Design and Implementation of LED Lighting System with Adjustable Brightness and Color Capability

Seong-Woo Kwak*

요 약

본 논문에서는 색상과 밝기가 조절 가능한 LED 조명 기구를 설계하고 구현하였다. 본 조명 기구는 RGB와 백색 LED로 구성되고 마이크로 컨트롤러에 의해 구동된다. 4색 LED를 사용하여 자연계의 거의 모든 색상을 조명 시스템 내에서 표현하도록 하였다. 조명기구의 수명 연장을 위해 LED를 흐르는 전류는 최대값을 넘지 않도록 PWM을 이용한 전류 제어를 실시하였다. 또한 사용자가 미리 설정한 여러 개의 색상과 밝기정보를 저장하고 다시 불러올 수 있는 기능을 탑재하여 사용자가 손쉽게 원하는 조명을 설정하여 사용하도록 하였다. 구현된 조명시스템은 전자기적합성 검사 등을 통과하였으며 실제 조명기구 제품으로 사용가능하다.

ABSTRACT

In this paper, we design and implement a lighting system which has a capability of adjusting brightness and colors of LED module. The lighting systems is consisted of RGB and white LEDs controlled by a micro-processor. All colors in nature can be synthesized in our lighting system by controlling brightness of 4 color LEDs individually. The current flowing to LED is limited to a maximum set value to extend the LED life time using PWM current control. The control module also includes the function that it can save and load brightness and color data set by the user. The implemented lighting system passed the electromagnetic compatibility(EMC) test such that it can be used as a commercial product.

키워드

Lighting System, RGB and White LED, Current Control
조명 기기, RGB 와 백색 LED, 전류 제어

1. 서 론

최근들어 에너지난의 심화, 세계적인 환경오염에 대한 국제적인 경각심 증대 등에 힘입어 종래의 백열등 및 형광등을 대체할 새로운 고효율, 친환경 감성조명에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 따라

LED(Light Emitting Diode)는 차량, 신호등, 디스플레이, 의료장비, 조명 등 응용분야가 크게 늘어나고 있다[1-2]. LED는 필라멘트에 열을 발생시켜 빛을 내는 전구와 같은 기존의 조명기구와는 다르게 전류를 가하여 일정한 파장의 빛을 내는 방식으로 반도체 재료에 따라 적외선, 자외선 뿐 아니라 가시광선영역에서

* 교신저자(corresponding author): 계명대학교 전자공학과(ksw@kmu.ac.kr)

접수일자 : 2015. 04. 20

심사(수정)일자 : 2015. 05. 13

게재확정일자 : 2015. 05. 23

모든 색을 표현할 수 있다[3-4]. LED 조명은 화합물 반도체를 이용한 조명으로서 백열등, 형광등 등 일반 광원에 비해 수명이 길고 에너지 효율이 높은 차세대 광원이다[5-6]. 표1은 기존 광원대비 LED 조명의 장 단점을 요약한 것이다.

표 1. 기존 조명과 LED 조명의 특징 비교
Table 1. Comparison of conventional and LED lightening

구분	기존 조명	LED 조명
제어	On/Off	다색/다단계 밝기
응답속도	1~3sec(형광등)	~10nsec
광전환 효율	백열등 5%, 형광등 40%	최고 90% 잠재효율
수은	사용(기체광원)	무(고체광원)
발광대역	집중불가	집중화
수명	3000~7000시간	50000~100000시간
내열성	우수	열에 취약
가격	저렴(형광등: 3천원)	고가(3만~30만원)

표 1에서 볼 수 있듯이 LED 조명 효율은 기존 조명기구에 비해 소비전력 및 수명에서 월등히 뛰어나다[7]. 우리나라의 연간 조명용 전력비용은 대략 5조 3,000억원으로 전체 전력의 20%가 조명용으로 사용되고 있다. 국내 조명의 30%를 LED로 대체할 경우 원자력발전소 2개의 전력량에 해당하는 274kWh를 줄일 수 있어 연간 1조 6,000억원에 달하는 에너지 절감 효과가 있다. 고효율 LED는 현재 신호등, 백라이트(backlight), 플래쉬(flash)등에 적용되고 있으며 점차 효율이 높아짐에 따라 조명기구의 적용이 급격히 확대될 것으로 예상된다[8].

본 연구는 기존 조명기구를 대체할 것으로 확실시되는 LED 조명기구를 설계하고 상용제품으로 사용가능한 수준으로 제작하는 것이다. LED는 전류에 비례하여 밝기가 결정되므로 조명의 신뢰성을 위해서 정전류로 구동한다. 이것은 소자의 최대 정격 전류를 넘기지 않게 하면서 원하는 광 특성을 얻기 위해서이다. 각 LED들은 직렬로 연결하였으며 LED의 수명 연장을 위해 LED에 흐르는 최대 전류를 제한하도록 구동 회로를 설계하였다. LED 구동을 위한 고효율 전력변

환 회로, LED 조명기구의 디지털 제어장치, 그리고 LED 조명 및 외부 기구부를 개발하고 제작하였다. 고효율 전력 변환을 위한 디밍(dimming) 제어는 디지털 PWM 신호를 이용하였다.

II. 전체 시스템 설계

그림 1은 본 연구에서 개발한 LED 조명 시스템의 전체적인 구성도이다. LED 조명 시스템은 디지털 제어부, 전원부, RGBW(Red Green Blue White) LED 모듈로 구성된다. 디지털 제어부는 마이크로 컨트롤러와 입력단자(button, volume), 그리고 LCD 출력창으로 이루어져있다. 사용자의 볼륨(volume)입력에 따라 조명의 밝기와 색상을 조절하고 이미 저장된 밝기와 색상 데이터를 버튼(button) 입력으로 불러올 수 있으며 새로운 값을 버튼에 설정하여 저장할 수 있다. LCD 출력창에는 각 RGBW LED의 밝기 값과 색온도가 표시된다. 마이크로 컨트롤러는 PWM(Pulse Width Modulation) 6채널과 8개의 ADC(Analog to Digital Converter)를 가진 Atmega128을 사용하였다.

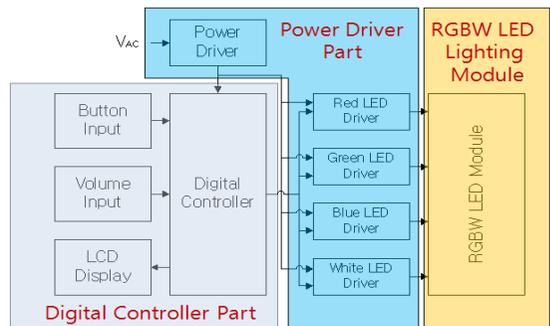


그림 1. LED 조명 시스템의 블록도
Fig. 1 Block diagram of LED lighting system

전원부는 AC를 DC로 변환시키는 전원 공급부(power driver)와 LED에 전류를 공급하는 LED 구동부로 구성된다. 그림 2는 전원부에 대한 회로를 보여준다. 전원 구동부는 전원 노이즈 제거를 위한 노이즈 필터, 가정용 220V AC전원을 DC로 변환시키는 정류기, 조명 전원의 On/Off를 위한 반도체 스위치, 그리고 역율(power factor) 개선회로로 나누어 설계하였다.

전원부는 LED 모듈과 디지털 제어부에 전원을 공급한다. 역률 개선회로를 통과한 DC전원은 LED 구동모듈에 전달되어 각 LED에 전류를 공급한다. 디지털 제어부 전원은 정류기를 통해 얻은 DC 전원을 5V 정전압으로 변환하여 사용한다. 마이크로 컨트롤러는 반도체 스위치를 통해 LED 모듈에 공급되는 전원을 단속할 수 있다. 이것은 마이크로 컨트롤러에 연결된 버튼 스위치를 통해 조명기구 전체 전원을 On/Off 하기 위함이다.

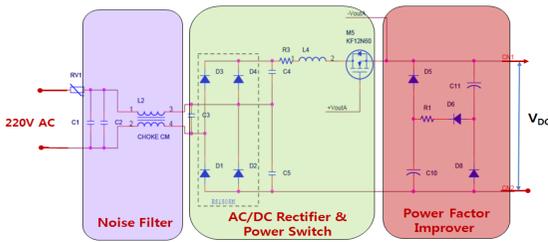


그림 2. 전원부
Fig. 2 Power driver part

LED에 전류를 흘려주기 위한 LED 드라이버는 그림 3과 같이 설계하였다. 정류기를 거쳐 입력된 DC 전압을 스위칭 FET(Field Effect Transistor)를 이용하여 On/Off함으로써 각 LED 소자에 흐르는 전류를 제어한다. 이때 FET의 게이트 신호는 FET 드라이버 칩(chip)을 이용하여 공급하고 ON/OFF 신호는 마이크로 컨트롤러의 PWM신호에 의해 제어된다.

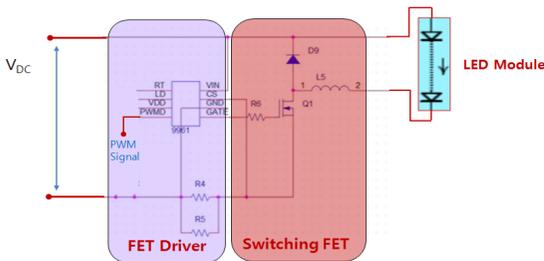


그림 3. LED 드라이버
Fig. 3 LED driver

LED 소자들은 그림 3에서와 같이 직렬로 연결하였다. 이 방식은 각 소자들에 흐르는 전류를 동일하게 하여 LED 밝기를 일정하게 할 수 있다. 하지만 직렬로

연결된 LED 소자중 어느 하나에서 결함이 발생하면 전체 LED에 전류가 흐르지 않는 단점이 있다. 따라서 결함발생을 억제하고 LED의 수명 연장을 위해 각 소자에 흐르는 최대 전류를 제한하는 회로를 추가하였다.

III. 최대 전류 제한 제어

앞에서 기술하였듯이 LED 드라이버 회로는 마이크로 컨트롤러의 PWM 신호에 따라 FET를 스위칭하여 R(Red), G(Green), B(Blue), W(White) LED 모듈에서의 전류를 제어한다. 이때 LED에 흐르는 전류를 측정하여 최대 설정값과 비교기(comparator)를 통하여 비교한 후 그 값을 PWM 신호와 로직 AND하여 FET 게이트 신호로 사용한다. 그림 4는 최대 전류를 제한하기 위한 피드백 회로를 보여준다. LED에 흐르는 전류는 센서 저항 R_s 에 의해 측정된다. 만약 측정된 전류가 최대 제한값보다 크면 비교기 출력은 “0”이 되고, 최대 제한값보다 작으면 “1”이다. 비교기의 출력은 펄스 발생 장치인 “One-Shot”소자로 입력된다. “One-Shot”소자에 음의 에지(negative edge)가 입력되면 1→0→1로 변화하는 펄스를 발생시킨다. 따라서 전류가 최대 제한값보다 크면 펄스 1→0→1에 의해 펄스폭에 해당하는 시간만큼 FET의 게이트 신호가 Off되고 LED 모듈로의 전류 공급을 차단하여 전류값을 줄여준다.

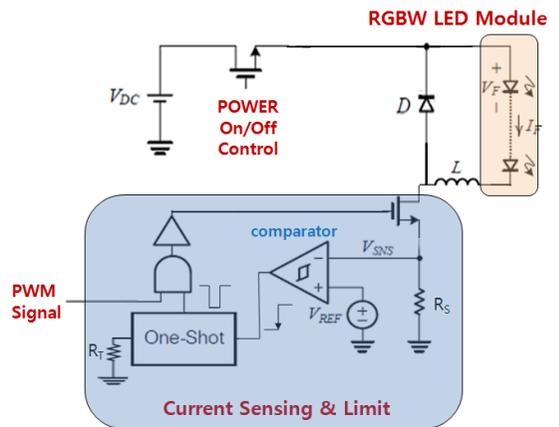


그림 4. 최대 전류 제한 회로
Fig. 4 Circuit for limiting maximum current

펄스폭은 외부 저항에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$T_{off}(\mu s) = \frac{R_T}{25} + 0.3 \quad (1)$$

LED의 수명 등을 고려하여 최대 전류값은 270mA로 설정하였으며, PWM 주파수는 480Hz로 하였다. PWM신호의 듀티 비(duty ratio)를 조절하여 각 RGBW LED의 밝기를 30,000단계로 조절 할 수 있다.

그림 5는 마이크로 컨트롤러에서 수행되는 제어 로직의 소프트웨어 흐름도이다. 마이크로 컨트롤러에 전원이 공급되면 소프트웨어가 시작되고(start), 프로그램 초기화(program init)에서 Atmega128의 각종 레지스터와 소프트웨어 변수들을 초기화한다. 시스템 On/Off 버튼 입력을 획득하여 조명 기기를 켜짐과 꺼짐을 제어한다. 시스템 Off이면 LED로의 전원을 차단하고 시스템 On 버튼이 켜질 때까지 기다린다. 시스템 On 버튼이 켜지면 시스템 운영 모드를 판별한다.

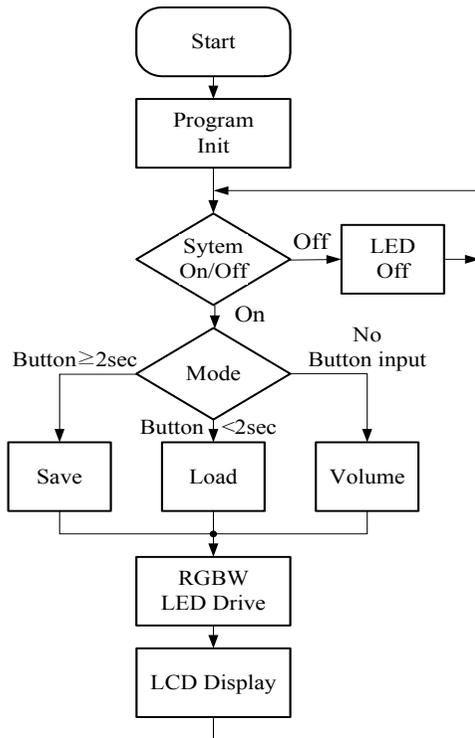


그림 5. 제어로직의 소프트웨어 흐름도
Fig. 5 Software flow chart for control logic

본 연구에서 개발된 조명 시스템에는 RGBW LED의 밝기를 조절하는 4개의 볼륨(volume) 단자와 5개의 버튼 입력을 가지고 있다. 각 버튼을 2초 이상 길게 누르면 저장(save)모드로 전환하여 현재 색상과 밝기정보를 해당 버튼에 저장한다. 따라서 5개의 색상과 밝기를 버튼에 저장할 수 있다. 버튼을 2초 이내로 짧게 누르면 데이터 로드(load)모드로 변경되고 저장 모드에서 버튼에 저장된 색상과 밝기 정보를 불러와 조명시스템을 설정한다. 버튼 입력이 없으면 볼륨(volume) 모드로 전환되어 볼륨 단자에 설정된 LED 밝기 정보를 불러와 시스템을 설정한다. 각 모드에서 LED 색상과 밝기가 데이터가 결정되면 LED에 PWM 신호를 보내어 LED를 구동한다. 이와 함께 외부 LCD 창에는 각 LED에 밝기 정보를 표시한다. 또한 색상에 해당하는 색온도를 계산하여 함께 표시한다.

IV. 시스템 구현 및 실험결과

그림 6은 전류 제한 로직의 실험 결과이다. 그래프에서 제일 위쪽은 마이크로 컨트롤러의 PWM 신호, 중간은 LED 구동용 FET의 게이트 On/Off신호, 마지막은 LED에 흐르는 전류를 측정된 값이다. 각 LED에 흐르는 최대 전류는 270mA로 설정되었고 PWM은 60% 듀티로 LED를 구동하였다. 최대 전류 제한 회로가 없다면 PWM 신호와 FET 게이트 신호는 동일해야 한다. 하지만 실험 결과에서 게이트 신호가 On(전압 5V이상)인 영역 중간에 3개의 펄스(Off: 전압 0V) 신호가 발생하여 전류를 제한하고 있음을 볼 수 있다(게이트 신호에서 타원으로 표시된 영역).

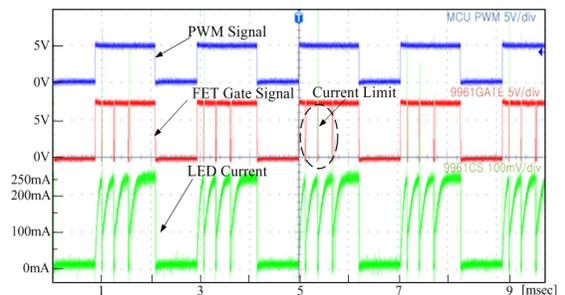


그림 6. 전류 제한 제어로직의 실험 결과
Fig. 6 Experiment result for limiting maximum current

전류 제한 펄스 신호에 의해 게이트가 Off되면 LED 전류는 "0"으로 되고 게이트가 On 되면 다시 전류가 증가된다. 게이트가 Off되는 펄스 폭은 식(1)에 의해 주어진다. 실험 결과에서 전류는 항상 최대값을 넘지않아서 전류 제한회로가 잘 동작함을 알 수 있다.

그림 7은 본 연구에서 설계한 LED 조명 시스템의 시제품이다. 그림 7(a)는 마이크로 컨트롤러와 입력 단자 및 출력 LCD 창이 장착된 디지털 제어부이고, 그림 7(b)는 정류기와 LED 구동 회로가 포함된 전원부, 그림 7(c)는 외부 프레임에 포함된 RGBW LED 조명 모듈이다. 전원부는 그림 7(c)에서 볼 수 있듯이 좌측과 우측 2개 부분으로 나누어진 LED 모듈 중간에 위치한다. 디지털 제어부는 LED 모듈 외부에 따로 위치한다. 디지털 제어부 출력 LCD창에는 Red, Green, Blue, White LED의 밝기 값을 0~100사이의 숫자로 나타내고 그에 따른 색온도가 표시된다.

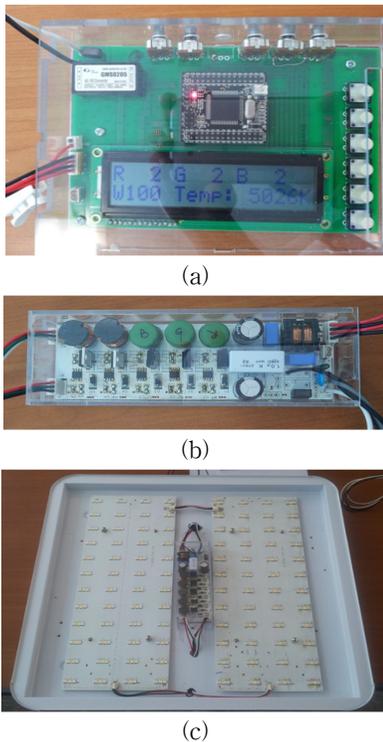


그림 7. 조명 시스템 구현 (a) 디지털 제어부 (b) 전원부 (c) 조명 LED 모듈

Fig. 7 Implementation of lighting system (a) Digital controller (b) Power driver (c) LED module

그림 8은 조명 시스템을 구동하여 색상이 조절되는 것을 나타낸 사진이다. 빨간색, 초록색, 파란색, 노란 색등 다양한 색상을 개발된 조명시스템 내에서 표현할 수 있다.

그림 9는 개발된 LED 조명 시스템의 제품화를 위해 전자기적합성 시험을 실시한 결과이다. 그림 9(a)는 방사 특성을 나타내고 그림 9(b)는 전도 특성을 보여준다. 시험 결과는 모두 상용제품으로서의 적합 판정을 받았다.

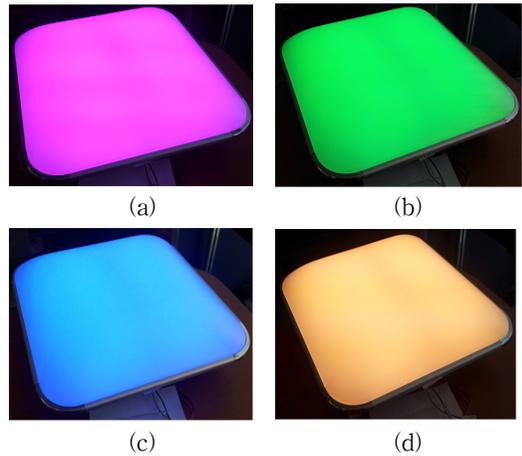
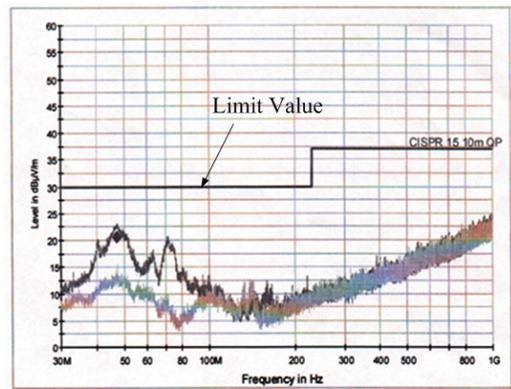
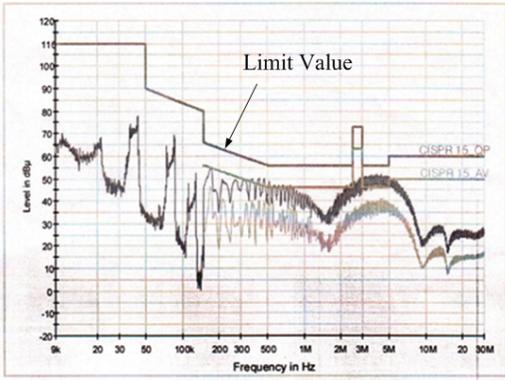


그림 8. 조명 시스템 구동 결과 (a) 빨간색 (b) 초록색 (c) 파란색 (d) 노란색

Fig. 8 Operation of lighting system (a) Red (b) Green (c) Blue (d) Yellow



(a)



(b)

그림 9. 전자기적합성 시험 결과

(a) 방사 특성 (b) 전도 특성

Fig. 9 Results of electromagnetic compatibility test
(a) Radiation test (b) Conduction test

V. 결론

본 논문에서는 색상 및 밝기 조절이 가능한 LED 조명 시스템을 설계하고 구현하였다. 개발된 조명 시스템은 전류제한 기능과 PWM을 이용한 밝기 조절기능을 가지고 있다. 또한 버튼 클릭만으로 색상 및 밝기 데이터를 저장하고 불러올 수 있도록 하여 사용자 편의성을 높였다. 설계된 LED 조명 시스템의 시제품을 제작하였고 전자기적합성 검사를 통과하여 상용 제품으로 바로 사용가능하다.

References

[1] H. Kim, J. Youm, W. Chung, and H. Kim, "A Color Temperature and Illuminance Controllable LED Lighting System," *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 23, no. 12, 2009, pp. 10-22.
 [2] Y. Kim, K. Lee, K. Chang, Y. Choi, and H. Kim, "An Energy-efficient LED Lighting Control Scheme with Provision

of User Illumination Requirement," *J. of the Korea Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 36, no. 11, 2011, pp. 1383-1388.
 [3] 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. 499-507.
 [4] 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. 7, 2012, pp. 485-490.
 [5] 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. 111-116.
 [6] J. Lee, W. Kim, B. Kim, and W. Han, "Study on Analysis of Characteristics of Illuminance and Luminance Distribution of LED Luminaires," *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 22, no. 9, 2008, pp. 1-7.
 [7] H. Jeong, S. Han, and C. Jang, "Energy Efficient LED Lighting Design to Utilize the Sun Light," *J. of the Korean Solar Energy Society*, vol. 31, no. 2, 2011, pp. 31-36.
 [8] I. Kim, Y. Kim, and A. Choi, "Comparison and Analysis about CCT of LED Luminaire According to Light Sources and Compounded CCT," *J. of the Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 24, no. 12, 2010, pp. 1-8.

저자 소개



곽성우(Seong-Woo Kwak)

1993년 한국과학기술원 전기및전
자공학과 졸업(공학사)

1995년 한국과학기술원 전기및전
자공학과 졸업(공학석사)

2000년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학
박사)

2000년~2002년 인공위성연구센터 선임연구원

2003년~현재 계명대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 위성 탑재 컴퓨터, 실시간 시스템, 비
동기 시스템 설계, 내고장성 시스템 설계

