

# 색온도 가변형 LED 조명제어시스템

## The Color Temperature Flexibility-typed LED Lighting Control System

김혜명\* · 양우석\* · 조영식\* · 박대희†  
(Hye-Myeong Kim · Woo-Seok Yang · Young-Seek Cho · Dae-Hee Park)

**Abstract** - The color temperature flexibility-typed Lighting Emitting Diode(LED) lighting control system proposed in this thesis employs Pulse Width Modulation(PWM) technique to control the brightness of LED lighting. The LED lighting used as a light source has 20W downlight composed of two types of LED chips: one is Warm White and the other is Cool white. One multi-sensor module consisting an infrared sensor, an illumination sensor, and a temperature sensor was made, to which Bluetooth wireless communication technique was applied to enable a smartphone application to control lighting brightness and identify the information collected from the sensor. CS-1000, a spectroradiometer, was used to measure LED dimming control and the changing values of a color temperature in eight steps. According to a test, it was found that it was possible to change a color temperature from 3187K of Warm White LED to 5600K of Cool White LED.

**Key Words** : LED, Color Temperature, Lighting system, Wireless, Bluetooth

### 1. 서론

동일 장소에서 다양한 행위가 이루어지는 현대 건축공간에서는 분위기와 행위, 작업의 종류 변화에 따라 색온도를 적절하게 변화시켜 조명의 기능적인 측면과 인간의 감성적인 측면을 동시에 만족시키는 조명환경을 연출하여야 한다[1]. 주거 공간이나 사무용 건물은 조명을 사용하는 사용자들이 대부분의 시간을 보내는 공간으로 쾌적한 작업환경과 편안한 휴식환경을 조성하는 것이 중요하며[2] 최적의 LED 적용공간을 제공하기 위해서는 LED 조명기구를 사용한 공간에서 재실자들이 어떻게 반응하는지를 평가한 자료들이 필요하다[3]. 색온도의 조도, 쾌적감과 관련하여 그간 기존의 연구에서 가장 많이 적용된 사례로는 Kruithof의 연구결과로 인간은 높은 색온도의 빛은 높은 조도에서, 낮은 색온도의 빛은 낮은 조도에서 쾌적하다고 하였다. 조명의 색온도는 환경에 대한 주관적인 인상에 영향을 미치며 그림 1의 Kruithof의 쾌적곡선에서와 같이 더 높은 색온도의 조명이 낮은 조도의 환경에 더 이상적임을 보여주고 있다[4].

70년대 펜실베이니아 주립대학의 존 플린(John Flynn) 교수의 연구에서도 실내공간에서 백색 조명의 환경에서 색온도가 주는 주관적인 반응에 대한 평가를 하였다. 그 결과 시각적으로 따뜻한 공간과 차가운 공간에서의 반응을 다음과 같이 요약하였다.

차가운 색온도(4,100K)는 “시각적 명확성을 강화하였으며 따뜻한 색온도(3,000K)의 공간은 유쾌함과 이완된 느낌이 강조되어 나타났다.[4]

이와 같은 선행 연구를 바탕으로 본 연구에서는 두 종류의 서로 다른 색온도 값을 갖는 백색 LED 칩으로 구성된 20W급 다운라이트를 이용하여 주거공간이나 사무용 빌딩에 적용될 수 있는 색온도 가변형 LED 조명제어시스템 설계를 목적으로 제어시스템을 구성하였다. Pulse Width Modulation(PWM) 제어를 통해 LED 칩의 밝기를 각각 제어하고 재실자가 원하는 색온도 값을 구현할 수 있도록 스마트폰 어플리케이션을 제작하여 이를 블루투스 무선통신을 이용해 무선제어가 가능한 제어시스템을 구성하고자 한다.

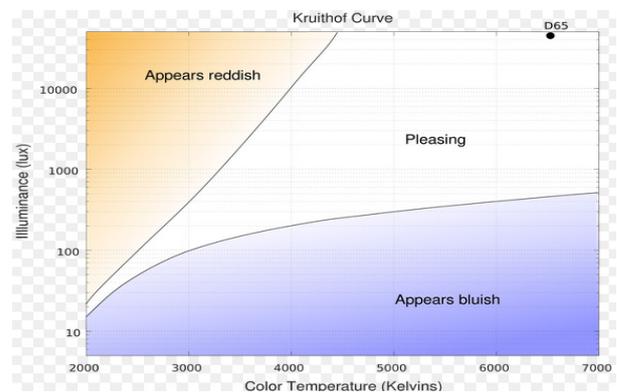


그림 1 Kruithof의 쾌적곡선

Fig. 1 Kruithof Curve

† Corresponding Author : Dept. of Information and Communication, Wonkwang University, Korea.

E-mail: parkdh@wku.ac.kr

\* Dept. of Information and Communication, Wonkwang University, Korea.

Received : December 23, 2014; Accepted : January 29, 2015

## 2. 본 론

### 2.1 LED조명제어시스템 구성

조명제어시스템 설계 기술에는 고효율 조명설계기술, 네트워크 기반 조명 제어 기술, 센서기반 조명협력 배광 제어기술, 에너지 절감량 예측 기술을 들 수 있으며, 기존의 조명제어기법에서는 자연광이 존재할 때 개별적으로 연결된 조명 라인을 점진적으로 온/오프하여 사용자 요구조도를 만족시키는 역할을 했다[5]. 이러한 수동 조명의 개념과 달리 현재의 조명시스템은 에너지 절감과 동시에 사용자의 편리성과 다양한 기능을 가지는 사용자 맞춤형 조명시스템을 요구로 하고 있다[6]. 본 연구에서 설계하고자 하는 주거 및 오피스용 조명제어시스템의 구성은 그림 2와 같은 블록다이어그램 형태로 볼 수 있다.

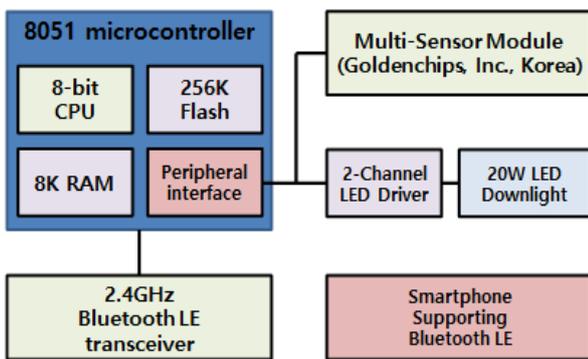


그림 2 조명제어시스템의 블록다이어그램  
Fig. 2 The block diagram of the lighting control system

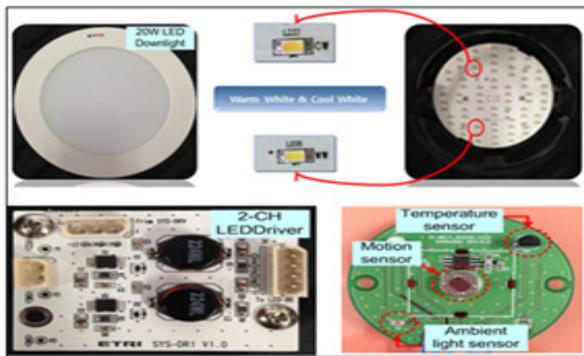


그림 3 주요 구성품  
Fig. 3 Major Component of the lighting control system

본 연구에서 사용된 광원은 그림 3에서 볼 수 있듯이 20W급 LED 다운라이트로 내부를 구성하고 있는 백색 LED가 Warm White와 Cool White 두 종류의 칩으로 구성되어 있다. 이는 Pulse Width Modulation(PWM)제어를 통한 각각의 밝기 변화로 색온도에 변화를 줄 수 있는 형태이다.

LED Driver의 경우 TI 사의 LM 3402 Driver를 사용하였다.

95%의 효율성을 가지며 500mA의 구동전류를 갖는 Driver로 두 개의 인덕터를 거쳐 각각의 LED 칩을 제어하는 PWM 신호를 출력하게 된다. 입력 범위는 6~24V로 높은 편에 속한다.

센서 모듈은 국내 중소기업인 골든칩스 사의 도움을 받아 제작을 하였으며 하나의 Printed Circuit Board(PCB)에 조도, 적외선, 온도센서를 집적하여 동작하게 하였고, 적외선 센서는 수평각 95° 수직각 90°의 측정범위를 가지며 인체에서 발생하는 적외선을 전압의 형태로 변환시켜 광 검출이 가능하도록 설계된 센서이다. 조명시스템에 주로 사용되는 감지센서에는 적외선 센서를 제외하고 마이크로웨이브 센서가 있지만 상대적으로 적외선 센서보다 고가이며 마이크로웨이브 센서를 장착하기 위한 PCB를 따로 구현해야 하므로 여유 공간이 비교적 많이 필요하다는 단점이 있어 일반적으로 고급형 송·수신 방식에 사용된다

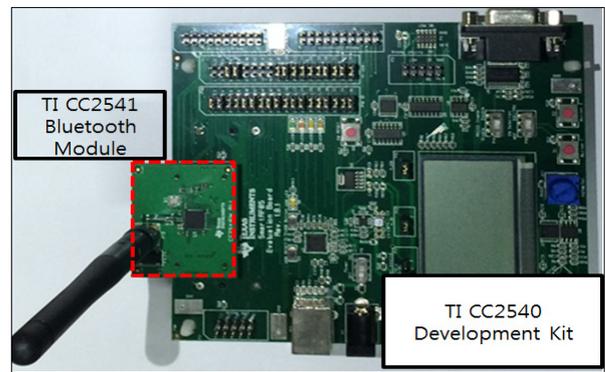


그림 4 TI CC2540 Development Kit  
Fig. 4 TI CC2540 Development Kit (Main Controller)

설계한 조명제어시스템의 컨트롤러로는 그림 4의 CC2540 Development Kit(DK)로 블루투스 모듈인 CC2541 Evaluation Module Kit(EMK)를 장착하는 형태를 하고 있다. CC2540 DK는 플래시 메모리를 8KB가지고 있으며 이는 디바이스 펌웨어를 손쉽게 업데이트 할 수 있고, 데이터를 Chip에 저장할 수 있는 유연성 있는 역할을 한다. 또한 CC2541 EMK는 매우 낮은 전력 소모가 요구되는 시스템에 적합하며 작동 모드 간의 짧은 전환 시간이 더 낮은 전력 소비를 가능하게 한다.

표 1 하드웨어 인터페이스

Table 1 Hardware Interface

Component1	Component2	Interface
Microcontroller	LED Driver	PWM
	Illuminance Sensor	I <sup>2</sup> C
	PIR Sensor	Analog port
	Temperature Sensor	Analog port

컨트롤러와 주요 하드웨어 간 인터페이스는 표 1과 같이 되어 있으며, 조명의 디밍제어를 위한 PWM 신호는 LED Driver에 의

해 이루어지고, 센서에서 얻어지는 데이터 값은 적외선 센서와 온도 센서의 경우 Analog 형태로 전압 값이 MCU에 입력되면 MCU에 저장되어 있는 계산 값에 의해 해당 전압에 대한 수치를 스마트폰 어플리케이션으로 전달하는 방식을 하고 있다.

### 2.3 PWM 변조 방식

서로 다른 색온도 값을 갖는 두 종류의 LED 칩을 제어하여 원하는 색온도 값을 얻기 위해 제안하는 시스템에 PWM 변조 방식을 사용하였다. LED 조명 제어에 주로 사용되고 있는 제어 방식으로 PWM 변조란 프로세서의 디지털 출력으로 아날로그 회로를 제어하는 방법이다. PWM 변조 방식은 계측과 통신에서 전력 제어와 전력 변환에 이르기까지 광범위한 영역에서 사용되고 있으며 간단히 말해 아날로그 신호를 디지털화 하여 인코딩 하는 방법이다. 고분해능의 카운터를 통해 사각형파의 Duty cycle은 특정 아날로그 신호를 인코딩 하기 위해 변조된다. 일련의 반복되는 온.오프 펄스를 통해 전압이나 전류가 아날로그 장치에 공급된다. 그림 5와 같이 온과 오프가 각각 50%로 동등한 경우, 평균치는 진폭의 절반이 되고, 그림 6과 같이 온과 오프가 규칙적이지 않을 때 평균치 값은 변화하게 된다. 이와 같이 온/오프 비율을 변화시킴에 따라 평균치가 변하기 때문에 입력 신호 레벨에 따라 온/오프 비율을 변화하고, 이를 평균화 하면 입력 신호에 비례한 신호를 얻을 수 있다. 본 연구에서 사용된 방법을 예로 LED Driver에서 PWM 신호를 출력할 때 주기의 10%동안만 신호가 온이고 나머지 90%에서 오프를 출력한다면 24V 전원공급의 10%인 2.4V의 아날로그 신호가 결과 값이 되는 것이다.

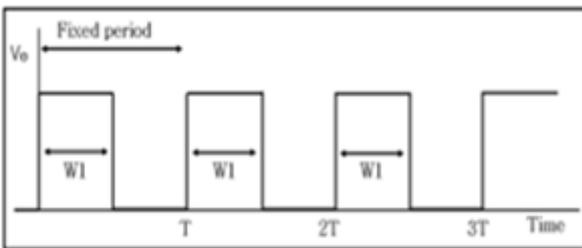


그림 5 고정 펄스 폭 파형  
Fig. 5 Fixed pulse width waveform

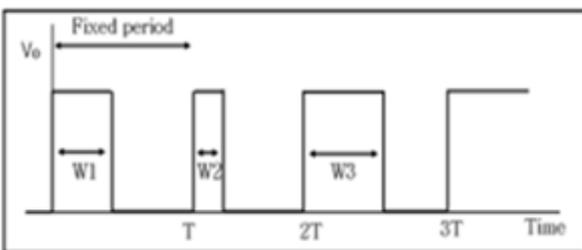


그림 6 변형 펄스 폭 파형  
Fig. 6 Variation pulse width waveform

### 2.3 스마트폰 어플리케이션

Bluetooth 무선 통신을 이용하여 무선 제어를 위한 스마트폰 어플리케이션을 제작하였다. 별도의 컨트롤러 없이 Bluetooth 무선통신 기능이 장착된 모든 휴대용 기기에서 사용이 가능하며, 이는 제어를 따로 구비하거나 제작해야하는 번거로움을 줄일 수 있고 제어기기의 다양성도 확보 할 수 있는 장점이 있다[7].

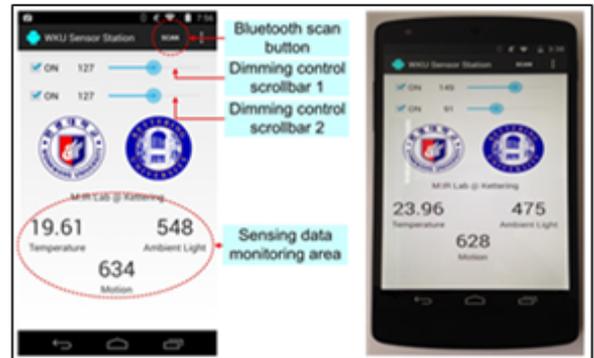


그림 7 스마트폰 어플리케이션  
Fig. 7 Control of smartphone applications

제작한 어플리케이션은 그림 7의 형태로 구성되어 있다. Scan 버튼을 이용하여 주변의 블루투스가 가능한 장치를 검색할 수 있고, LED 칩의 밝기를 제어하기 위한 컨트롤 바가 Warm White, Cool White 두 개로 나누어져 있어 각각의 LED를 제어하여 색온도를 변화시킬 수 있다. 조명의 밝기는 각각의 칩이 256단계의 밝기로 조절이 가능하다. 또한 멀티센서에 의해 수집되는 주변 환경에 대한 데이터를 확인할 수 있는 데이터 모니터링 부분이 구성되어 있다.

### 2.4 색온도 가변형 조명제어시스템 구현

본 논문에서 구현한 조명제어시스템의 구성은 그림 8과 같다. 상용전원을 사용하기 위해 가정용 소형 변압기를 이용하여 구성

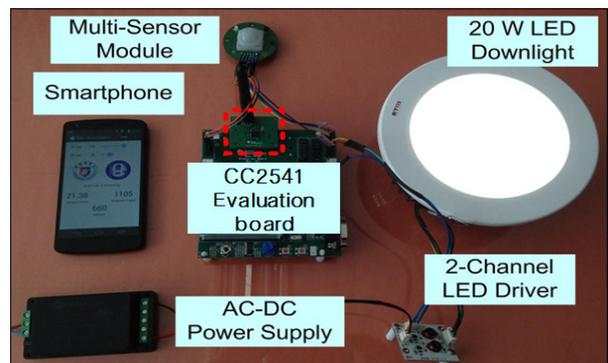


그림 8 조명제어시스템 설계  
Fig. 8 Design of lighting control system

을 하였고, LED Driver를 거쳐 24VDC로 조명에 전원이 공급되게 된다.

전체적인 시스템의 동작은 그림 9의 Flow chart를 통해 나타내었다. 전원을 공급하여 시스템이 대기상태가 되면 조명의 온/오프 상태에 관계없이 시스템과 연결이 되어있는 스마트폰으로 센서에서 얻어지는 환경 데이터 값을 송신하게 된다. 기본적으로 조명의 밝기는 50%로 설정이 되어 있고 센서에 의해 사람이나 사물의 움직임이 감지되면 설정되어 있는 값의 밝기로 조명이 온 상태가 되고, 15초 후에 오프가 되는 기본 동작을 하게 된다.

이러한 기본동작 외에 스마트폰에 설치되어 있는 제어용 어플리케이션에서 사용자가 임의로 LED의 밝기를 조절하게 되면 각각의 LED 칩의 밝기를 제어할 수 있고 이를 통해 조명의 색온도를 변화시켜 조명을 온 시킬 수 있다.

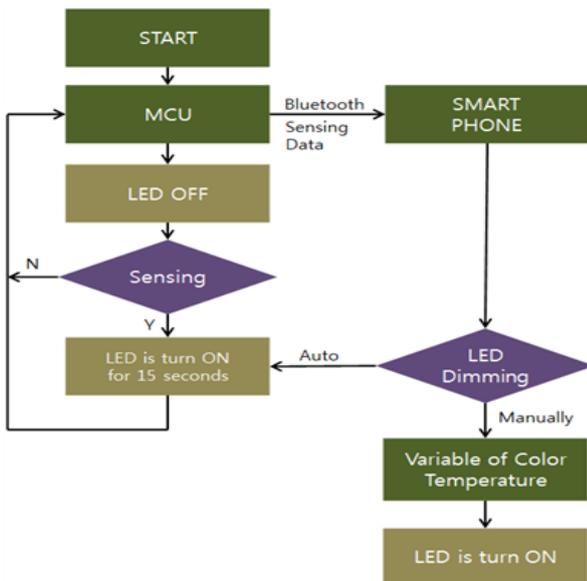


그림 9 조명제어시스템 동작 Flow Chart  
Fig. 9 Lighting control system operation flow chart

### 3. 실험 및 고찰

#### 3.1 실험 방법



그림 10 실험 장비 및 측정  
Fig. 10 Measuring equipment and experiment

색온도 가변 측정을 위하여 어플리케이션을 통한 LED 칩의 밝기 비율을 변화시키며 색온도 값을 측정하였다. 설계된 시스템에 적용된 두 종류의 LED 칩의 밝기를 0%, 50%, 100% 비율로 제어하여 각각의 색온도와 두 종류 LED 칩이 혼합광일 때의 색온도 값을 측정하였다. 실험 장비로는 그림 10의 분광방사휘도계인 CS-1000을 이용하였고, CS-1000은 광원의 휘도, 색온도, xy 색좌표계의 좌표값, 광원의 파장 등을 측정 할 수 있으며, 노트북, 데스크탑과 RS-232C 통신을 통하여 데이터를 확인할 수 있다. 실험의 정확성을 높이기 위하여 빛이 통하지 않는 암실에서 실험을 진행하였다.

#### 3.2 결과 및 고찰

색온도 가변 실험 측정 결과 그림 11과 같이 제어어플리케이션을 통한 각각의 LED의 밝기 조절이 가능하였다. 또한 표 2에 나타냈듯 CS-1000을 이용한 색온도 측정 결과 밝기가 변함에 따라 색온도 값이 변화하는 것을 알 수 있었다.

표 2 LED 밝기 변화에 따른 색온도 값

Table 2 A color temperature value by the LED brightness variation

항목	Warm White LED / Cool White LED 비율(%)							
	50	100	100	100	50	0	0	50
Warm	50	100	100	100	50	0	0	50
Cool	0	0	50	100	100	50	100	50
색온도 (K)	3193	3187	3863	4232	4658	5564	5600	4227

두 종류의 LED 칩이 혼합광일 때의 색온도는 약 4000K ~ 약 4600K까지 미세한 차이를 보여 육안으로는 변화를 뚜렷하게 구별할 수 없었지만, 저 색온도를 나타내는 Warm White LED 칩이 100%의 밝기일 때 색온도 3187K부터 고색온도인 Cool White LED 칩의 밝기가 100%인 5600K까지 측정이 되는 것을 볼 수 있었다.

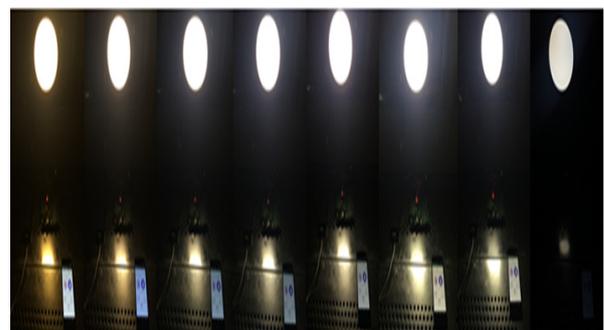


그림 11 스마트폰을 이용한 색온도 변화  
Fig. 11 Change the color temperature using a smartphone

### 4. 결 론

본 연구에서는 스마트폰 어플리케이션과 종류가 다른 백색

LED 칩으로 구성된 광원을 이용하여 색온도 가변형 LED 조명제어 시스템을 설계하였다. 이는 조명의 색온도가 사용자에게 미치는 영향에 따라 사용자가 원하는 색온도를 조절함으로써 작업의 능률이나 안락한 휴식과 같은 조명의 기능적인 측면을 효율적으로 제어할 수 있다는 장점을 가지는 제어시스템이다. 어플리케이션을 이용한 LED의 밝기 변화와 밝기 변화에 따른 색온도 값을 측정하기 위해 실험을 실시하였다. 총 8번에 걸쳐 실험을 진행하였으며 실험 결과 광원을 구성하고 있는 Warm White LED의 100% 밝기인 3187K부터 Cool White LED의 100% 밝기인 5900K까지 색온도 값이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 색온도에 따라 사람이 느끼는 감정이나 집중력 등도 바뀐다고 알려져 있다. 이와 같은 색온도를 변화시킬 수 있는 조명시스템을 설치한다면 한 공간에서 여러 종류의 다양한 분위기 연출이나 기능들을 할 수 있는 조명 환경을 제공해 줄 수 있을 것으로 생각된다.

**감사의 글**

“이 논문은 2013학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨”

**References**

[1] I. T. KIM, A. S. Choi, "An Estimation of Control Algorithm for Development of the CCT Tunable LED Lighting System in Architectural Spaces" Journal of the KIEE Vol.25 No.2, 1229-4691, 2011.

[2] K. Yoon, G. C. Yoon, G. S. Kim, "An Experimental Study on Control Strategy of LED System Using Daylight" Journal of the KIEAE Vol.10 No.6, 1598-3730, 2010.

[3] J. I. Bae, C. S. Sim "A Study on Effective Color Temperature Control of LED Lighting", 41st Conf. KIEE, 2010.

[4] Y. S. Lee, M. K. Ha, " A Study on Effective Color Temperature Control of LED Lighting", Journal of KIID Vol21. No.6, pp. 129-136, 1229-7992, 2012.

[5] J. H. Kim, B. G. Park, H. Kim, "Efficient Power Reduction of Indoor Lighting System through Adjustment of Lighting Fixtures" Conference of the IEEK, 2012.

[6] H. Kim, M. W. Lee, "IT Convergence smart lighting technology", Journal of the KICS Vol.28 No.5, pp. 10-14, 2011.

[7] Chris Kreft, Dan Prince, Ryan Truer, Dustin Vildkamp, "Wireless Lighting System", Calvin college, 2007

**저 자 소 개**



**김 해 명(Hye-Myeong Kim)**

2012년 원광대학교 전기공학과 졸업, 현재 원광대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정



**양 우 석(Woo-Seok Yang)**

2012년 원광대학교 전기공학과 졸업 현재 원광대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정



**조 영 식(Young-Seek Cho)**

1996년 한양대학교 전자통신공학과 졸업  
1998년 한양대학교 전자통신공학과 졸업 (석사)  
2010년 Ph. D. in electrical engineering, University of Minnesota, USA  
2011년 Post Doctoral Associate, Purdue University, USA  
현재 원광대학교 공학대학 연구교수



**박 대 희(Dae-Hee Park)**

1979년 한양대학교 전기공학 졸업 1983년 한양대학교 전기공학 대학원 졸업(석사)  
1989년 일본 국립 오사카대학교 전기전자재료학과 대학원 졸업(박사)  
현재 원광대학교 정보통신과 교수