

# 스마트 팩토리 환경을 고려한 RGB 컬러 가변형 광 ID 모듈개발 연구

이민호\*, 후다이베르게놉 티무르\*, 이범희\*\*, 조주필\*\*\*, 차재상\*\*\*\*

## A study on development of RGB color variable optical ID module considering smart factory environment

Min-Ho Lee\*, Khudaybergenov Timur\*, Beom-Hee Lee\*\*, Ju-Phil Cho\*\*\*, Jae-Sang Cha\*\*\*\*

**요약** 스마트 팩토리는 제 4차 산업혁명시대의 도래와 함께, 제조업과 정보통신기술의 결합을 통하여 사용자가 공장 내 설치된 장비의 시뮬레이션 및 시나리오 설계를 통해 자동으로 제품을 생산하는 시스템 개념으로 해외 주요국에서 이미 추진 정책 및 전략을 발표하고, 관련 기술개발에 주력하고 있다. 또한, 이러한 스마트 팩토리 구현을 위한 기반 기술로서 저전력 친환경 LED 조명시스템에 대한 관심이 증대되고 있으며, LED를 활용한 통신, 위치인식 등 이른바 광 ID 관련 응용기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 친환경 저전력의 LED 조명 기반의 광통신 기술을 생산설비 관리에 접목하여, 공장 내 고전압, 고전류, 발전기 등 전자기 간섭의 영향을 받지 않고, 물류 위치 및 부가정보를 안정적으로 식별할 수 있는 시스템을 제안하였으며, 기초 실험을 통해 근거리에서 8가지 컬러가변에 따른 컬러 ID 검출율이 98.8%~93.8% 수준으로 적용 가능성을 검증하였다.

**Abstract** Smart Factory is a concept of automatic production system of machines by the fusion of ICT and manufacturing. As a base technology for realizing such a smart factory, there is an increasing interest in a low-power environmentally friendly LED lighting system, and researches on so-called optical ID related application technologies such as communication using a LED and position recognition are actively underway. In this paper, We have proposed a system that can reliably identify logistics location and additional information without being affected by electromagnetic interference such as high voltage, high current, and generator in the plant. Through the basic experiment, we confirmed the applicability of the color ID recognition rate from 98.8% to 93.8% according to the eight color variations in the short distance.

**Key Words** : Color shift keying, Location based service, Optical camera, Smart factory, Visible light communication

### 1. 서론

스마트 팩토리는 제 4차 산업혁명시대의 도래와 함께, 정보통신기술과 제조업의 결합을 통해 사용

자가 공장 내 설치된 장비의 시뮬레이션 및 시나리오 설계를 통해 자동으로 제품을 생산하는 시스템이 구축된 공장이다[1].

스마트 팩토리는 이미 미국에서는

This paper was supported by project of "2018 Establishment of academic-research cooperation system based on the academic linkage through the establishment of Hongreung Tech-Biz OPERA center"

\*Dept. of Information Communication & Media Engineering, Graduate School of Nano It Design Fusion, Seoul National University of Science & Technology

\*\*Dept. of Electronic and IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology

\*\*\*Dept. of Integrated IT & Communication Engineering, Kunsan National University

\*\*\*\*Corresponding Author : Dept. of Electronic and IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology(chajs@seoultech.ac.kr)

Received October 10, 2018

Revised October 13, 2018

Accepted October 23, 2018

NNMI(National Networked Manufacturing Innovation)정책 발표로 우주항공, 국방 등 3D Printer 산업을 중심으로 추진되고 있고, 독일의 경우에는 SAP, Siemens 등과 같은 SW와 정밀 기계 분야와 인터넷을 기반으로 하는 모든 제조업과 서비스 분야에서 Industry 4.0이 추진되고 있다.

Industry 4.0은 독일 산업 부흥 정책인 'High-Tech Strategy2020 Action Plan'의 일환으로 추진하는 전략중 하나로, 자동차·기계 등 제조업에 ICT를 접목해 모든 생산 공정, 조달 및 물류, 서비스까지 통합적으로 관리하는 스마트 팩토리(Smart Factory) 구축을 목표로 한다[2].

또한, 이러한 스마트 팩토리 구현을 위한 기반 기술로서 저전력 친환경 LED 조명시스템에 대한 관심이 증대되고 있으며, LED를 활용한 통신, 위치 인식 등 관련 응용기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[3][4].

본 논문에서는 이러한 친환경 저전력의 LED 조명기반의 광통신 기술을 생산설비 관리에 접목하여, 공장 내 고전압, 고전류, 발전기 등 전자기 간섭의 영향을 받지 않고, 물류 위치 및 부가정보를 안정적으로 제공할 수 있는 시스템을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 1장 서론에 이어, 2장에서는 관련 연구내용에 대해 설명하고, 3장에서는 제안하는 시스템의 설계내용을 제시한다. 4장에서는 실제 테스트모듈을 통한 실험 결과를 기술하고, 마지막 5장에서 결론 및 효과 등에 대해 설명하고자 한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 가시광 통신 및 응용

가시광 통신은 스마트시티 구현의 대표적인 기술인 LED(Light Emitting Diode : 발광다이오드) 조명을 이용한 차세대 통신기술이다. LED 조명장치에서 발생하는 빛(가시광)을 이용하여 데이터를 무선으로 송수신하는 가시광 통신(VLC : Visible Light Communication) 기술로서 전송매체가 전파가 아닌 가시광선을 이용하여 초고속으로 정보를

전송할 수 있는 차세대 무선네트워크이다.

반도체 소자의 일종인 LED의 동작특성을 이용하여 통신과 융합시킨 기술로서 이론상으로는 10Gbs 속도를 구현할 수 있으므로 현재 상용화되어 있는 LTE-A(100Mbps)에 비해서 100배 정도 빠른 전송특성을 구현할 수 있을 것으로 전망하고 있다[5].

가시광통신 응용기술은 먼저 실내측위 분야를 예로 들 수 있다. GPS를 사용할 수 없는 실내에서 사용자의 위치를 확인하고 필요한 데이터를 송수신할 수 있으며, 특히 백화점이나 상점에서 사용자의 위치와 근접한 상품의 상세정보를 제공할 수 있다. 또한, LED는 인체에 무해하기 때문에 가정 및 실내에서 사용하는 가전제품 및 센서에 장착하여 가정 내 IoT 서비스에 적용이 가능하다. 이 뿐만 아니라, 전자파 장애를 발생하지 않아 병원, 항공기, 잠수함, 우주선 등 전자파에 민감한 장소의 통신수단으로 적합하게 응용이 가능하다[6].

대표적인 가시광통신 응용기술인 측위기술의 경우 위치정보 펄스 신호를 포함하는 LED 조명을 활용하여 사람이 식별할 수 없을 정도로 빠르게 점멸하여 특정 ID 값을 발산하고, 스마트폰에 장착된 전면 카메라에서 이 신호를 수신하여 ID 값을 읽어냄으로써 위치를 식별할 수 있으며, 구조는 그림 1과 같다[7][8].

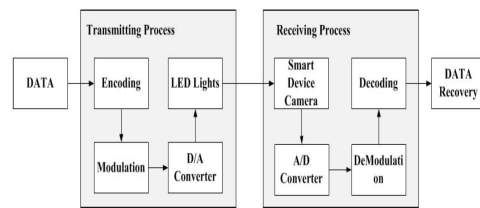


그림 1. 위치정보 송수신 블록다이어그램 [8]  
Fig. 1. Blockdiagram of Location information Tx/Rx

### 2.2 가시광 기반 컬러 가변형 변조

IEEE 표준에서는 가시광 통신에 적용되는 CSK(Color shift Keying)변조기법에 대해 제안하였다[9]. CSK 는 R, G, B LED 의 변화되는 파워를

이용하여, 데이터를 전송하는 방법이다.

CSK 의 변조 차수가 4 일 때는 먼저 선택된 3 개의 색 코드는 삼각형의 꼭지점에 해당되며, 이 삼각형의 중심점까지 총 4 개의 성상도로 구성된다. 그리고 4 개의 성상도는 각각 2 비트로 구성된 심볼로 맵핑 된다. 송신부에서는 이진 데이터가 직렬로 입력되며, 입력된 이진 데이터는 심볼 단위로 변환 된다. 4-CSK 사용 시 입력된 데이터는 2 비트가 하나의 심볼로 구성된다. 심볼데이터는 색 좌표로 변환되며, 광 채널을 통해서 R, G, B PD(Photo Diode)에 수신하게 된다[10].

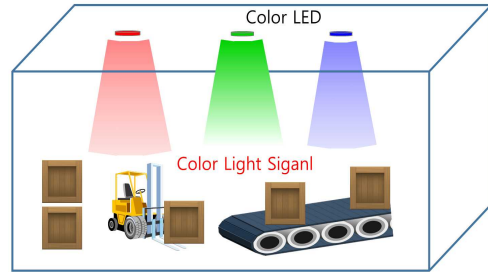


그림 2. 제안내용의 개념도  
Fig. 2. Conceptual diagram of proposal contents

### 3. 컬러 가변형 원형 광 ID 설계

#### 3.1 제안내용의 개념

제안하는 컬러 가변형 광 ID는 먼저 스마트 팩토리 내부에 위치 및 부가정보를 매핑한 컬러가변형 LED를 설치하여 On-Off 변조형 광 신호를 발산한다. 공장 내부에서 광카메라를 통해 공장 내 관리자, 운용기기, 물류 등에서 컬러신호를 인식하여 위치정보 및 부가정보 등 공장내 상황을 종합적으로 제공 받을 수 있으며, 제안 시스템의 개념은 그림 2와 같다.

#### 3.2 컬러 가변형 광 ID 설계

제안하는 시스템의 경우 신호를 전송하는 컬러 가변형 LED와 신호를 인식하는 광카메라로 구성되며, 시스템 흐름도는 그림 3과 같다.

먼저, 송신부 램프는 RGB 기반의 컬러 LED를 통해 주기적으로 8가지 컬러 가변이 가능하도록 구성하였다.

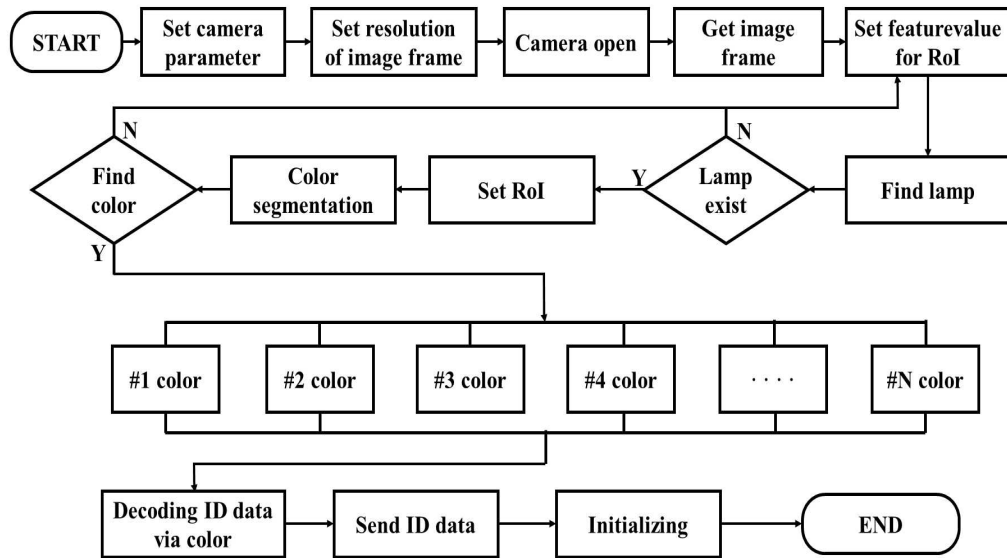


그림 3. 컬러 가변형 광 ID 흐름도  
Fig. 3. The Flowchart of Proposed system

수신부 구조는 시스템이 시작되면 카메라 리소스의 사용여부를 확인한 뒤 셔터 스피드, 감도, 조리개 값 등 변조된 컬러 광 신호 인식을 위한 카메라의 노출 값 세팅을 진행하고, 이미지 프레임 해상도를 설정한다.

이후, 카메라를 구동하여 이미지 프레임을 획득하고, 정확한 RoI(Region of Interest) 지정을 위하여 컬러 가변형 광 ID 조명의 형태에 적합한 Feature Value를 설정한다.

컬러 램프를 추적하여 램프가 인식되면 영상처리를 위한 RGB 컬러 분할 작업을 거친 후 RGB 변위별 데이터 값을 획득하여 색상을 식별한다. 식별된 색상은 사전에 설정한 색상테이블(#1~#N)의 임계치 값에 따라 가장 근접한 색상 ID값을 획득하고, 모니터링 창에 RGB 변위별 데이터 값과 획득한 ID 정보를 동시에 표출한 후 시스템 초기화를 거쳐 종료되도록 시스템 구조를 설계하였다.

#### 4. 시스템 구현 및 실험

제안하는 시스템의 적용 가능성 검증을 위해 광카메라 기반 색상 정보 식별을 위한 기초 실험을 진행하였다. 물체 식별을 위한 가변컬러 기반의 광 ID 감지 및 정보획득을 위해서는 카메라에 영상처리 기법 적용이 요구된다. 특히, 컬러 가변형 광 ID를 통한 데이터 수신시 LED의 조명 부위별 조도의 차로 인한 ID 인식이 저하될 가능성이 있으며, 이를 보완하기 위하여, OpenCV 라이브러리에 포함된 11x11 크기의 커널 기반 가우시안 필터를 적용하여 획득한 이미지 상에 존재하는 색상 정보가 포함된 픽셀 영역의 조도를 보정하였다.



그림 4. 실험 환경  
Fig. 4. Experiment environment

실험 환경은 그림 4와 같이 송신부 역할인 컬러가변 LED 램프를 설계하여 8가지 색상의 Light 신호를 순차적으로 발산하도록 구성하고, 수신부 역할인 광카메라 모듈을 컬러가변 LED와 마주보도록 배치하였다. 또한, 광카메라 모듈에서 수신된 화면 및 분석된 데이터는 뒤의 모니터에서 실시간 확인할 수 있도록 배치하였다.

#### 4.1 컬러가변 송신부

컬러가변 램프는 RGB 색상값을 각각 조정 설정하여 8가지 색상으로 표출되도록 구현하였으며, RGB 변위 기준값에 따른 Color ID 테이블은 표 1과 같다.

표 1. Color ID별 RGB 값 설정  
Table 1. RGB value setting by color ID

Color ID	R-value	G-value	B-value
0	0	0	255
1	0	255	0
2	0	255	255
3	255	0	0
4	255	0	255
5	255	255	0
6	255	130	0
7	130	0	255

컬러가변 램프는 Color ID 0 부터 Color ID 7까지 8가지 RGB 조합에 따른 컬러 가변이 순차적으로 표현되도록 설계하여 구현하였다.

#### 4.2 광카메라 수신부

수신부에서는 영상처리 컨트롤러에 카메라를 연결한 테스트 모듈을 구성하고, 테스트를 진행하였다.

표 2. 가변컬러 검출부 사양  
Table 2. Variable color detector specification

Division	Specifications
CPU	Quad Cortex A53 1.2Ghz
Instruction	ARMv8-A
Camera resolution	8 Mega pixel
Camera image size	3280 X 2464 pixel

테스트 모듈은 표 2와 같이 영상처리 컨트롤러를

사용하였으며, 광 카메라를 활용하여 컬러가변 기반 LED 램프 인식 및 ROI를 지정하여, RGB 색상값을 세분화 한 후 Color ID 값을 검출하여 모니터링 화면에 실시간 표현되도록 구성하였다.

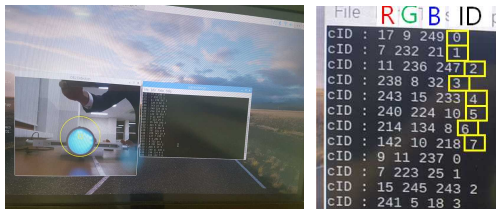


그림 5. 컬러가변 램프 인식 및 ID 식별 결과  
Fig. 5. Color variable lamp recognition and ID identification result

그림 5는 실시간 모니터링 화면에 표출되는 실험 결과 화면으로, 컬러가변 램프 색상이 변경될 때 마다 우측 그림과 같이 R-value, G-value, B-value, 컬러 ID 순으로 결과 값을 나타내고 있으며, 실험결과 컬러 ID 0부터 ID 7까지 정상적으로 식별하여 표현되고 있음을 확인하였다.

또한, Color ID 검출 정밀도 측정을 위해 컬러가변 LED램프와 카메라 간 30cm, 60cm, 90cm 거리를 두어 거리 변화에 따른 인식을 확인하였다.

측정방법은 매회 컬러 ID 0부터 ID 7까지 인식율을 각각 측정하여 결과를 산출하였으며, 각 거리별 10회 측정하여 평균 인식율을 도출하였다.

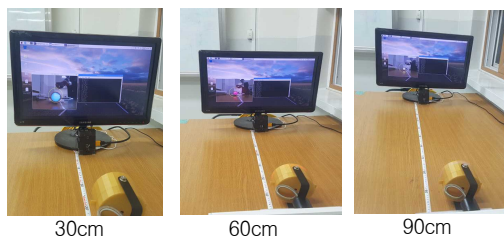


그림 6. 램프-카메라 간 거리변화에 따른 인식을 측정 실험  
Fig. 6. Experiment on recognition rate according to the distance between lamp and camera

표 2. 램프와 카메라간 거리 변화에 따른 컬러 ID 인식율  
Table 2. Color ID Recognition Rate According to Distance Change between Lamp and Camera

Distance Num.	30Cm	60Cm	90Cm
1	100.0%	100.0%	100.0%
2	100.0%	100.0%	87.5%
3	100.0%	100.0%	100.0%
4	100.0%	87.5%	87.5%
5	87.5%	100.0%	75.0%
6	100.0%	100.0%	100.0%
7	100.0%	87.5%	100.0%
8	100.0%	100.0%	100.0%
9	100.0%	100.0%	100.0%
10	100.0%	87.5%	87.5%
Average	98.8%	96.3%	93.8%

실험 결과 컬러가변 램프와 카메라 간 30cm 거리에서 98.8% 컬러 ID 검출이 가능함을 확인하였으며, 60cm 및 90cm 거리에서는 인식율이 각각 96.3%, 93.8%로 거리가 멀어짐에 따라 인식율이 저하됨을 확인하였다.

본 실험은 기초단계의 테스트 모듈을 구현하여 진행한 결과로서 8가지 컬러가변 램프의 색상변화에 따른 광 ID 식별이 가능함을 확인하였으며, 스마트 팩토리 환경에 적용을 위해 원거리에서도 검출이 가능하도록 초고해상도 LED 및 카메라를 활용한 검출을 제고를 위해 지속적인 심화 연구를 진행할 예정이다.

## 5. 결론

본 논문을 통해 스마트 팩토리 구현을 위한 주요인 프라인 LED를 활용하여 가변컬러 가시광통신 기술 접목을 통한 광 ID 식별 기법을 제안하였다.

제안한 시스템의 적용가능성을 검증하고자 RGB 값을 기반으로 8가지 색상 조합별 색상 ID 값을 부여하고, 송신부는 8가지 색상 테이블에 따라 RGB 값이 가변하여 표출되는 LED 램프를 설계하였다. 수신부에서는 광카메라 기반의 컨트롤러 테스트 모듈을 구성하여, LED 램프로부터 발산하는 컬러 빛 신호 수신함으로써, 8가지 색상테이블에 가장 근접한 색상 ID 값을 검출하여 표현하도록 설계하였다.

송수신 테스트 모듈을 기반으로 가변 LED에서 발산한 색상 정보(ID)에 대해 광카메라에서 검출을 측정 실험을 진행하였으며, 현재 기초 실험단계인 점을 감안하여 램프와 카메라 간 근거리(30cm~90cm)에서 진행하였다. 실험결과 거리 변화에 따라 색상 ID 검출율은 98.8%~93.8% 수준으로 확인되었으며, 근거리에서 색상 ID 식별이 가능함을 확인하였다.

현재까지는 기초단계의 연구로서 향후 증장거리 및 다양한 환경변화에서도 검출이 가능하도록 심화 연구를 진행할 예정이다.

본 논문에서 도출된 결과는 LED 통신 응용 및 부가 데이터 전송 연구의 기반자료로 활용될 것이며, 본 제안내용을 토대로 스마트 팩토리 및 LED 응용 산업 창출을 위한 참고자료로 활용될 것으로 기대한다.

## REFERENCES

[1] Chae, Seok - Keun, "Trends and System Structure of Smart Factory with IoT / M2M Standardization", Journal of the Korean Institute of Communication Sciences (Information and Communication), 32 (5), 36-41, 2015

[2] Ministry of trade , industry & energy3.0, "Manufacturing Innovation Strategy", 'p.10', 2014

[3] Wan-Young Chung, Yong-Su Seo, Jong-Jin Kim, Tae-Ha Kwon, "LED visible light communication and their application", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, 14(6), pp.1375~1381, 2010

[4] Jung-Gwon An, Ill-Keun Rhee, and Jin-Kyu Choe, "A Study on Realization of Visible Light Communication Systems Using LED", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 3, pp.25-32, 2016

[5] Sun-Hyung Kim, "4th Industry and Li-Fi Technology Trend", Journal of Information Technology, 15(2), pp.1-13, 2017

[6] Sung-Kyu Lee(Commercializations Promotion Agency for R&D Outcomes), "Visible Light Communication Technology and Market Trends", S&T Market Report, vol. 35, pp.4~8, 2015

[7] KOREA COMMUNICATIONS COMMISSION, Korea Internet & Security Agency, "Trends on Global LBS Industry", pp.133~134, 2016

[8] Soon-Ho Jung, Min-Woo Lee, Ki-Yun Kim, Jae-Sang Cha, "Position Information Acquisition Method Based on LED Lights and Smart Device Camera Using 3-Axis Moving Distance Measurement", The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences 40(1),pp.226-232, 2015

[9] IEEE, "IEEE Standard for Short-Range Wireless Optical Communications Using Visible Light", IEEE 802.15.7, 2011.

[10] Yoo Jong Ho, Jung Sung Yun, "Visible Light Communication System based on Color Shift Keying", Korea Telecom Society Conference, 2012.2, pp.846-847 (2 pages), 2012

## 저자약력

이 민 호(Min-Ho Lee)

[정회원]



- 2019년 2월 : 서울과학기술대학교 매체공학과 석사
- 2010년 9월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합대학원 박사과정
- 2011년 5월 ~ 현재 : 한국정보통신진흥협회 과장

<관심분야>

무선통신, LED통신, IT융복합, 통신정책

후다이베르게넵 티무르  
(Khudaybergenov Timur)

[학생회원]



- 2007년 9월 ~ 2009년 6월: 타슈켄트대학 정보기술학과 공학석사
- 2008년 7월 ~ 2011년 1월: MTS 네트워크 스위칭허브 시스템 전문가
- 2011년 1월 ~ 2017년 7월: 타슈켄트대학 정보기술학과 부교수
- 2017년 9월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합기술대학원 박사과정

<관심분야>

LED통신, IoT/IoL, 네트워크, IT융복합 기술, OS

**이 범 희(Beom-Hee Lee)**

**[학생회원]**



- 2017년 2월 : 군산대학교 전과 공학과 공학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 미디어IT공학과 석사과정

<관심분야>

무선통신, LED통신, 이동통신, IT융복합기술, IoT

**조주필(Ju-Phil Cho)**

**[정회원]**



- 2001년 2월 : 전북대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 10월 ~ 2005년 4월: ETRI 이동통신연구단 선임연구원
- 2006년 3월 ~ 2007년 8월: ETRI 이동통신연구단 초빙연구원
- 2011년 2월 ~ 2012년 8월 : 미국 USF, 교환교수
- 2005년 ~ 현재 : 군산대학교 IT융합통신공학전공 교수

<관심분야>

LTE-A, 5세대 이동통신, 인지 무선 통신, LED-ID, 방송통신 융합기술

**차 재 상(Jae-Sang Cha)**

**[정회원]**



- 2000년 : 일본 Tohoku대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 : 한국전자통신연구원 방송기술연구소 선임연구원
- 2008년 : 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2005년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수

<관심분야>

LED 통신, 조명IT융합신기술, 무선홈네트워크, 무선통신 및 디지털방송 등