

LED 조명 광원의 광학적 배치 및 광색 제어에 관한 연구

(A Study on the Optical Arrangement and Color Control of LED Lamps for Illumination Applications)

박준석* · 김광현** · 여인선***

(Jun-Seok Park · Kwang-Heon Kim · In-Seon Yeon)

요 약

본 논문에서는 광학설계프로그램을 이용하여 조명에 응용되는 LED 광원의 광학적 배치에 따른 특성 변화에 관한 연구를 하였다. 여러 유형별 시뮬레이션을 하기에 앞서 신뢰할 수 있는 기준광원을 만들었으며, 이를 이용하여 형태별 기본 배치와 각도별 기본 배치, 간격별 기본 배치의 3가지 유형별로 나누어 시뮬레이션을하여 그 변화값을 예측하였다. 그리고 안정적인 광출력 특성 및 원하는 광색을 얻기 위해서 고휘도 RGB LED의 전기적·광학적 특성을 고려한 광색 가변회로를 구성하였다.

Abstract

In this paper, the optical arrangement of LED lamps was studied using an optical design software for illumination applications. A standard source was constructed, and then simulated its light distribution characteristics of the basic arrangements by shape, by angle, and by displacement. And the color variation circuit was constructed to obtain stabilized light and color output in consideration of the electrical and optical characteristics of high brightness RGB LEDs.

1. 서 론

가전제품이나 각종 기계장치의 발광 표시용 소자로 LED(Light Emitting Diodes)가 손쉽게 사용된다. LED는 가격이 저렴하고 반도체 광원으로 전력소모가 적을 뿐만 아니라 별다른 점등장치를 필요로 하지 않는 장점을 가지고 있어 폭넓은 응용분야를 가

지고 있다. 최근에는 LED의 고휘도화에 따른 연구 개발이 급진전되어 그 광도값이 최고 10[cd] 이상의 고휘도 LED 소자가 개발되고 있다. 이런 고휘도 LED의 개발로 그 응용분야는 넓어지고 있으며 최근에는 고휘도 LED를 신호등 광원으로 적용한 연구 개발이 거의 완료 단계에 이르렀다. 유럽에선 별다른 유지 보수를 필요로 하지 않으며 소비전력이 적고 장수명이라는 장점을 내세워 LED 신호등으로의 교체 작업 중에 있으며, 국내에서도 머지않아 LED 신호등을 볼 수 있을 것이다. 조명광원으로서 고휘도 LED는 21세기형 "Digital Lighting"이라고 일컬을 정도로 고휘도 LED를 이용한 일반 조명광원으로써의

* 정회원 : 전남대 전기공학과 POTRI 연구원 · 석사과정

** 정회원 : 전남대 전기공학과 · HECS · POTRI 부교수

*** 정회원 : 전남대 전기공학과 · HECS · POTRI 교수

접수일자 : 2001년 2월 20일

적용에 깊은 관심과 연구 개발을 추진중에 있으며, 세계 조명업계의 빅3라고 일컬은 GE, OSRAM, PHILIPS에서는 반도체 업체와 조인트 벤처 형태를 통해 차세대 조명시장을 겨냥한 치열한 기술개발과 제품을 선보이고 있다[1].

고휘도 LED를 이용한 조명광원은 그 제품 개발에 앞서 충분한 광학적 특성평가와 배치를 통한 광학적 설계가 이뤄져야 한다. 이와 같이 본 논문에서는 고휘도 LED를 이용한 조명광원의 적용에 앞서 선행되어야 할 광학적 배치를 광학설계프로그램인 Light Tools을 이용하여 3가지형의 기본 배치로 나누어 시뮬레이션 하였으며 Red, Green, Blue LED의 회로 구성에 따른 광색 제어에 관한 연구를 하였다.

2. LED 조명 광원의 광학적 배치

아직까지 조명용 광원으로 사용하기 위한 고휘도 LED의 광학적 배치와 특성분석에 관한 연구는 없었다. 그래서 본 논문에서는 광학설계프로그램을 통한 분석을 하고자 하였다. 먼저, 기준광원을 설정하여 형태별 기본 배치와 각도별 기본 배치, 간격별 기본 배치를 하였으며 각각의 기본배치에 따른 시뮬레이션 결과값인 Normalized Intensity와 Normalized Illuminance를 통해 변화를 예측할 수 있었다.

2.1 기준광원설정

광학설계프로그램을 통한 시뮬레이션하기 위해서 무엇보다 중요한 것은 신뢰할 수 있는 기준광원의 설정이다. 그림 1과 같이 기준광원의 설정은 Hewlett-Packard 社의 지름이 5[φ]이며, 발광각이 30° 인 고휘도 LED Specs에 근거하여[2] 외장의 크기, 형태뿐만 아니라 배광특성, 조도분포를 고려하여 실제 LED광원과 가깝게 시뮬레이션 상의 기준광원을 설정하였다. 기준광원의 광속은 0.85[lm]을 설정하였고, 파장은 Red(630[nm]), Green(526[nm]), Blue(472[nm])의 평균파장인 550[nm]로 설정하였다. 검출단면과 LED 광원과의 간격이 40[cm] 떨어진 Z축 방향에 Intensity를 검출하기 위해 Intensity Receiver를 설정하였으며, 20[cm] 떨어진 곳에 Illuminance를 검출하기 위해 Illuminance Receiver를 설정하였다. 각기 Receiver의 간격 설정은 3가지의 유형별 기본 배치에서 동일하게 적용하여 검출하였다. 그림 2는 HP

Specs과 기준광원과의 각도에 따른 Normalized Intensity를 서로 비교하여 나타내고 있다. HP Specs의 오차 범위가 ±15[%]인 점을 감안 할 때 기준광원과의 검출값이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

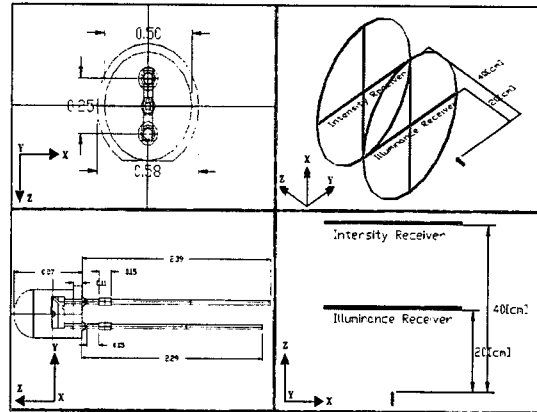


그림 1. 기준광원
Fig. 1. Standard source

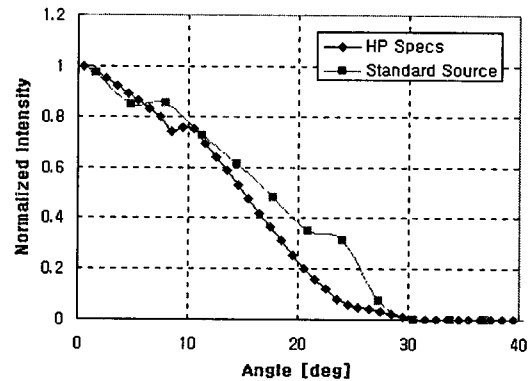


그림 2. HP Specs과 기준광원의 표준광도
Fig. 2. Normalized intensity of HP specs vs. standard source

2.2 형태별 기본 배치

위와 같이 설정된 기준광원을 이용하여 형태별 기본 배치와 각도별 기본 배치, 간격별 기본 배치에 따른 결과를 예측하였으며, 이와 같은 각기 다른 배치의 결과값은 앞으로 고휘도 LED를 이용한 조명광원의 배치에 기본이 될 수 있는 형태를 근간으로 하였다. 고휘도 LED의 형태별 기본 배치에 따른 자세한

내용을 살펴보면 그림 3에서와 같이 직선형, 삼각형, 사각형, 오각형, 육각형으로 형태로 나누었다. 이는 LED를 조명광원으로 사용 할 때 가장 기본이 되는 형태로 볼 수 있으며, 테두리(Flanged Base)가 있는 LED를 사용하여 LED와 LED사이에 2[mm]의 틈이 있으며 이를 제외한 밀집된 형태로 배치하였다.

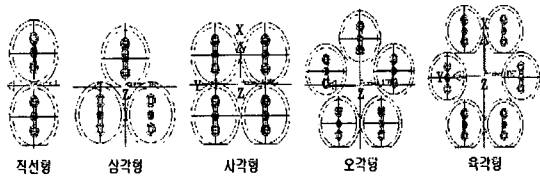


그림 3. 형태별 기본 배치
Fig. 3. Basic arrangement of shape

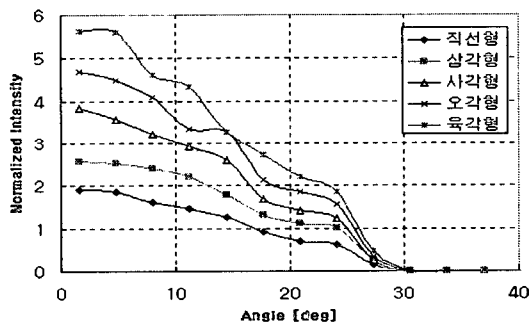


그림 4. 형태별 기본 배치에 따른 표준광도
Fig. 4. Normalized intensity according to basic arrangements by shape

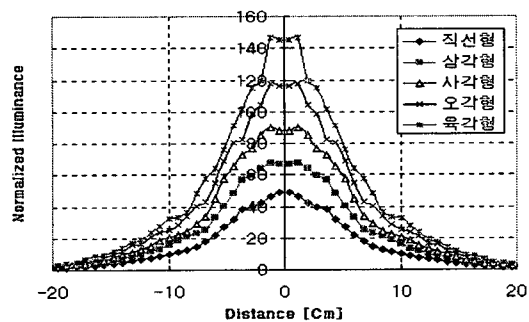


그림 5. 형태별 기본 배치에 따른 표준조도
Fig. 5. Normalized illuminance according to basic arrangement by shape

그림 4는 고휘도 LED의 형태별 기본 배치를 시뮬레이션한 결과값을 그래프 형태로 나타내었으며 각도에 따른 Normalized Intensity로 직선형에서부터 육각형까지의 형태별로 비교하였다. 직선형에서 육각형으로 갈수록 Normalized Intensity는 1 내외의 균일한 증가값을 나타내었고 굴곡의 변화 형태 또한 증가하였다. 이는 직선형에서 육각형으로 LED의 개수가 증가할수록 내부의 빈 공간이 넓어지기 때문이다.

그림 5는 형태별 기본 배치에서 Normalized Illuminance의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 나타난 것과 같이 직선형에서 육각형으로 증가할수록 20 내외의 균일한 Normalized Illuminance의 증가를 나타내었고 중심축 0에서 분포의 형태가 모퉁해졌다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 직선형에서 육각형으로 LED의 개수가 증가할수록 내부의 빈 공간이 넓어지기 때문이다.

2.3 각도별 기본 배치

다음은 한 개의 기준광원을 이용하여 각도별 기본 배치 형태에 따른 경우를 살펴해보도록 하겠다. 그림 6과 같이 한 개의 기준광원의 수직선에서 5°, 10°, 15°, 30°, 45°를 벗어난 각도를 유지하였을 경우 고정된 일정한 수직면에서 Normalized Illuminance를 검출하였다. 그림 7은 그림 6에서와 같이 각도별 기본 배치를 변형하였을 경우 수직면에서 검출한 변화값을 나타내고 있는데 5°에서 45°로 변화해 갈수록 최고 23에서 점점 줄어들어 1.3를 나타내었고 수직선에서 각이 벗어날수록 중심부는 깊어지면서 넓어지는 형태를 나타내었다. 이는 중심축 0점을 기준으로 대칭구조를 나타내도록 Receiver를 설정하였기 때문이다.

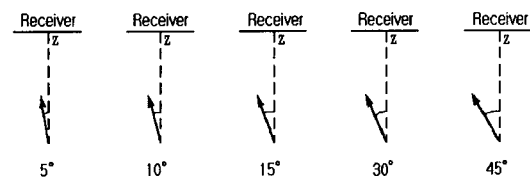


그림 6. 각도별 기본 배치
Fig. 6. Basic arrangement by angle

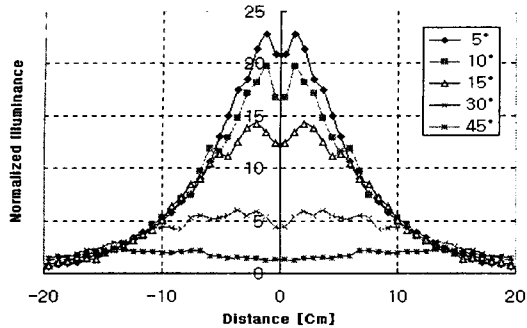


그림 7. 각도별 기본 배치에 따른 표준조도
Fig. 7. Normalized illuminance to basis arrangement of angle

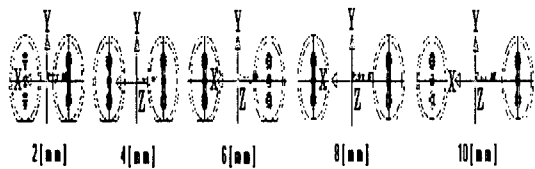


그림 8. 간격별 기본 배치
Fig. 8. Basic arrangements by LED lamps space

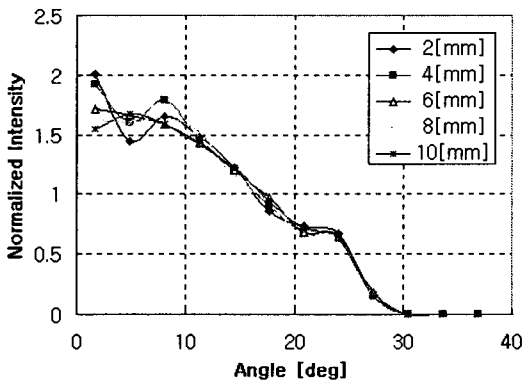


그림 9. 간격별 기본 배치에 따른 표준광도
Fig. 9. Normalized intensity according to basic arrangements by space

2.4 간격별 기본 배치

다음은 두 개의 기준광원을 이용하여 간격별 기본 배치 형태에 따른 경우를 살펴보도록 하겠다. 그림 8 과 같이 두 개의 기준광원과의 간격을 2[mm], 4[mm], 6[mm], 8[mm], 10[mm]의 간격을 유지하였으며, 여기서 말하는 2[mm]의 간격은 한 개의 기준광원 LED의 테

두리 끝에서 다른 한 개의 기준광원 LED의 테두리 끝까지의 거리를 나타낸 것이다. 이와 같이 간격별 기본 배치를 하여 시뮬레이션에 따른 Normalized Intensity와 Normalized Illuminance를 검출하였다.

그림 9는 그림 8에서와 같이 간격별 기본 배치를 변형하였을 경우 검출한 변화값을 나타내고 있는데 2[mm]에서 10[mm]로 간격을 넓혀 갈수록 8° 내에서 변화값을 나타내었으며 8°를 넘어선 각도에서는 거의 동일한 형태의 분포 곡선을 나타내었다. 또한, 중심축을 기준으로 변화값은 2에서 1.5로 감소하면서 중심축이 0°에서 5°쪽으로 이동함을 알 수 있었다. 이는 LED가 서로 간격이 벌어지면서 중심축이 이동하는 것이다.

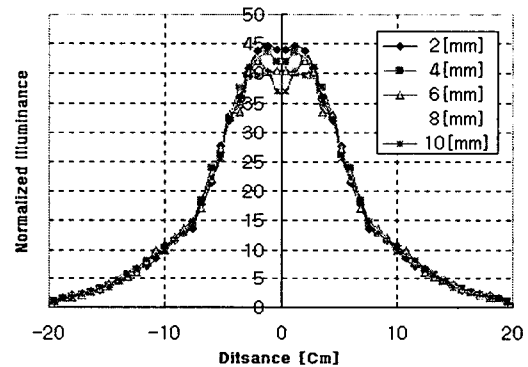


그림 10. 간격별 기본 배치에 따른 평균조도
Fig. 10. Normalized illuminance to basis arrangement of shape

그림 10은 간격별 기본 배치에서 Normalized Illuminance의 변화를 나타낸 그래프로 두 기준광원의 간격에 따른 변화를 나타내었다. 그래프에서 나타난 것과 같이 2[mm]에서 10[mm] 간격으로 넓어질수록 중심축의 값이 44에서 37로 감소하였다. 또한, 그 변화값은 $\pm 2[cm]$ 내에서 나타났으며 $\pm 2[cm]$ 밖에서는 동일한 형태의 분포 곡선을 나타내었다.

3. LED 조명광원의 광색 제어

3.1 광색 제어회로의 구성

안정적인 광출력 특성 및 원하는 광색을 얻기 위

해서는 고휘도 RGB LED의 전기적·광학적 특성을 고려하여야 한다. 그래서 그림 11과 같은 LED 제어 회로를 구성하였으며 사용된 부품은 AT89C52 마이크로 컨트롤러 1개와 D Flip-Flop 3개, PWM 스위칭 제어와 입력전류제어하기 위하여 NPN 트랜지스터 30개로 구성하였으며, 전원은 12[V], 3[A]를 공급하였다[3][4].

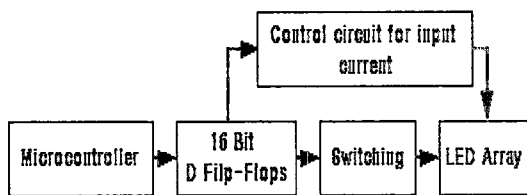


그림 11. LED 제어회로 다이어그램
Fig. 11. LED control circuit diagram

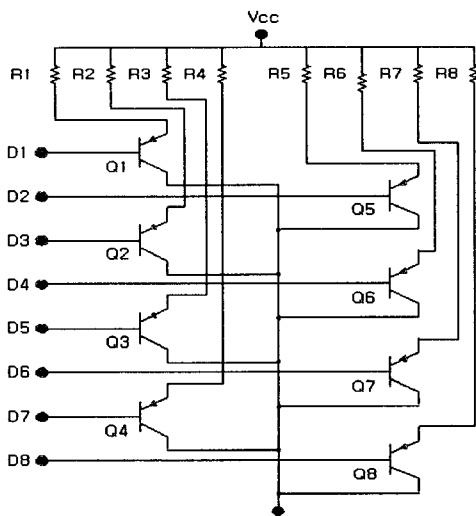


그림 12. 입력전류 제어회로
Fig. 12. Control circuit for input current

3.2 입력전류 제어

입력제어부의 신호입력은 D Flip-Flops에 연결되어 입력전류 제어신호에 따라서 전류를 제어한다. 입력전류 제어회로는 입력되는 신호에 따라서 LED에 흐르는 전류를 보상할 수 있으며 입력전류 제어용 저항값은 LED의 동작 개수에 대한 입력전류 특성에 따라 결정된 값을 사용하였다. 입력전류 제어회로는

수평축에 사용된 트랜지스터 앞단에 각각 LED의 개수에 맞게 입력 저항값을 변경하는 회로이며, LED 점등 개수에 따라서 LED에 흐르는 동작 전류의 변화를 최소화하여 안정적인 광출력이 나타나도록 하였다. 입력전류 제어회로의 입력신호는 마이크로 컨트롤러의 신호에 따라 제어된다. 그림 12는 입력전류 제어회로를 보여주고 있으며 마이크로 컨트롤러의 ON/OFF 신호에 따라 동작전류를 보상한다.

3.3 광색가변 회로의 제어프로그램

그림 13은 제어 프로그램의 구성도를 나타내고 있으며, 광색가변 회로의 제어프로그램은 PWM제어에 따라 LED의 광색을 가변하는 프로그램으로써 LED의 동작 개수에 맞게 입력전류를 보상하는 신호를 입력전류 제어회로로 보내고, 원하는 광색을 얻기 위해 고휘도 RGB LED 8개 각각의 휘도를 측정하여 산정한 기울기를 Duty 비와 곱하여 원하는 광색과 일정한 광출력을 나타내는 신호를 발생하게 하였다.

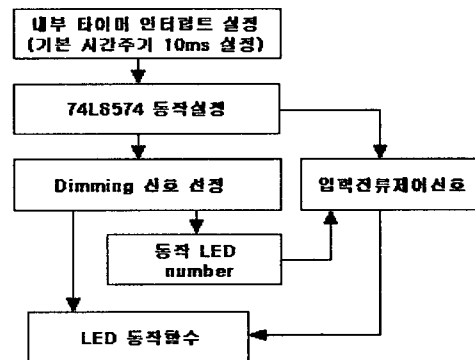


그림 13. 제어프로그램의 구성도
Fig. 13. Diagram of the control program

4. 실험 및 고찰

RGB LED의 배치는 형태별 기본 배치에서 직선형 배치로 Red: Green: Blue LED를 각각 8개: 8개: 16개로 총 32개를 직선으로 배치하였으며 LED의 간격은 각기 2[mm]씩 띄워 배치하였다. 또한, 혼합광을 얻기 위해서 반사판을 설치하였다. 광색의 변화와 휘도를 측정하기 위해서 MINOLTA社의 색채 색차계 CS-100으로 측정하였으며, 광색의 변화는 적색→녹

LED 조명 광원의 광학적 배치 및 광색 제어에 관한 연구

색→청색→적색→백색→적색의 순서로 순환 가변 가능하게 프로그램 하였다. 측정결과, 그림 14와 같이 CIE 1931 색도 좌표를 통해 광색이 변환되는 경로와 휘도값을 나타내었다.

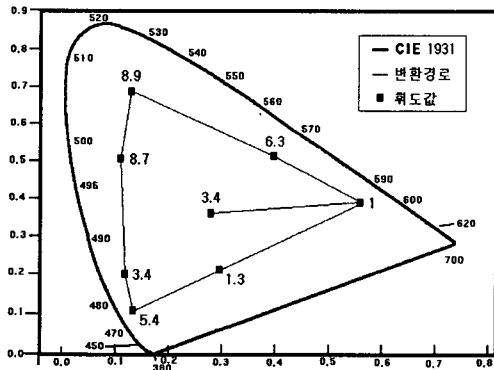


그림 14. 광색가변된 색좌표 및 휘도
Fig. 14. Chromaticity coordinates of the color & luminance of the LED lamps

5. 결론

본 연구에서는 광학설계프로그램을 이용하여 LED 조명 광원의 광학적 배치를 형태별 기본 배치와 각도별 기본 배치, 간격별 기본 배치와 같이 3가지 형태의 기본 배치에 따른 광학적 특성 변화를 예측할 수 있었다. 또한, 마이크로 컨트롤러를 이용한 고휘도 RGB LED의 광색 가변 제어회로를 구성할 수 있었으며, 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 직선형에서 육각형 변하는 형태별 기본 배치에 따라 Normalized Intensity는 1, Normalized Illuminance는 20 내외의 증가를 나타내었다.

2. 5°에서 45°로 변하는 각도별 기본 배치에 따라 고정된 수직면의 Normalized Illuminance는 최고 23에서 점점 줄어들어 1.3 내외를 나타내었다.

3. 2[mm]에서 10[mm]로 변하는 간격별 기본 배치에 따라 8° 내에서 변형된 Normalized Intensity와 ±2 [mm] 내에서 변형된 Normalized Illuminance를 나타내었다.

4. 마이크로 컨트롤러와 Dimming을 이용하여 간단하면서도 다양한 광색을 표현할 수 있는 고휘도 LED 광색 가변 제어회로를 구성할 수 있었다.

5. 고휘도 RGB LED의 동작개수에 따라 LED의 동작전류가 변하는 단점이 있었으나, 이는 고휘도 RGB LED의 동작 개수에 따른 입력전류 제어회로의 저항값을 변경함으로써 입력전류를 보상하였다.

이 논문은 1999년도 전남대학교 연구소육성과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) 여인선 외12, "고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발에 관한연구", 광주광역시 연구기획사업보고서, pp. 1~2, 200. 8. 31.
- (2) "http://www.semiconductor.agilent.com" 인터넷 자료.
- (3) 이정욱, 한달영, 김훈, "LED를 이용한 가변색 광원의 개발", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, pp. 91~98, 1999. 11. 6.
- (4) 유용수, 송상민, 광재영, 여인선, "고휘도 LED를 이용한 광색가변 제어회로에 관한 연구", 광주·전남지회 2000년도 춘계학술발표논문집, pp. 10~13, 2000. 6. 3.

◇ 저자소개 ◇

박 준 석 (朴準奭)

1999년 서남대 공대 전기공학과 졸업. 현재 전남대 대학원 전기공학과 석사과정 및 RRC 연구조원, 정보통신연구소 연구조원, 광응용기술연구소(POTRI) 연구조원

김 광 현 (金光憲)

1983년 2월 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 2월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 8월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전남대 공대 전기공학과 및 광응용기술연구소 부교수

여 인 선 (呂寅善)

1979년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 2월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 8월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전남대 공대 전기공학과 및 고품질전기전자부품및시스템연구센터(RRC) 교수, 광응용기술연구소장, 당 학회 평의원.