

# MPPT 및 CCVC 알고리즘을 적용한 에너지 절약형 OF-LED 광고조명시스템

(Energy Saving Type OF-LED Illuminated Display Board System with MPPT and CCVC Algorithms)

이성룡\* · 전철환 · 이수원 · 이은철

(Seong-Ryong Lee · Chil-Hwan Jeon · Su-Won Lee · Eun-Chul Lee)

## 요 약

본 연구에서는 광고 조명으로 인한 에너지 소비를 극소화하기 위하여 OF-LED(Optical-Fiber LED)를 이용한 에너지 절약형 광고 조명 시스템에 대하여 연구하였다. 제안한 OF-LED 광고 조명 시스템은 에너지 소비가 획기적으로 저감되고 시스템의 소형화가 가능하며, 부조일이 높은 장마철을 제외하고는 태양광 발전만으로 운영하는 큰 장점을 가진다. 태양전지의 출력 특성에 의한 배터리의 최단·최적 충전을 위해 정전류·정전압 제어법(CCVC)과, IncCond 알고리즘을 병행하여 적용 하였다. 그리고 원칩 마이크로프로세서로 디스플레이 제어와 충·방전제어를 동시에 수행하도록 하였다. 이를 실험을 통하여 제시된 시스템의 유용성을 입증하였다.

## Abstract

This paper studies the OF-LED(Optical Fiber-LED) illuminated display board system for energy saving. The OF-LED illuminated display board system has PV module, batteries, charge & discharge system, and dynamic full color display controller. Both maximum power point tracker (MPPT) and constant current & constant voltage controls (CCVC) are used to govern the charging system. This system improves the charging efficiency of battery. The system is compact and operates only by PV except the rainy days when the sun is unfavorable. In the system, display control and charging-discharging control by on-chip microprocessor are simultaneously carried out. To verify the proposed system, the simulation and experiment results show the operating characteristics with a laboratory prototype.

Key Words : OF-LED, MPPT, CCVC, Energy Saving, Illuminated Display Board System

\* 주저자 : 군산대학교 전자정보공학부, 교수  
Tel : 063-469-4703, Fax : 063-469-4699  
E-mail : srlee@kunsan.ac.kr  
접수일자 : 2004년 11월 15일  
1차심사 : 2004년 11월 16일  
2차심사 : 2004년 12월 28일  
심사완료 : 2005년 1월 24일

## 1. 서 론

최근 급격한 산업의 발전과 국제 유가가 배럴당 40달러를 넘어서는 고유가로 인하여 전력에너지 수급 문제가 국내·외적으로 가장 심각한 문제로 보고되고

있는 상황에서 상업용 빌딩에서 사용하는 전기에너지의 40%를 차지하는 조명에너지, 그 중에서도 광고조명 에너지 절감에 많은 관심이 고조되고 있다[1].

일반적으로 광고조명에 사용하는 광원은 주로 형광등, 네온등을 사용하고 있으나, 광고연출효과가 한정되어 있고, 중형 이상의 경우 200~300[W] 정도의 전력을 소비하고 있으며, 최근, 이상의 광고조명보다 다양한 애니메이션 효과를 갖고 있어 실제로 많은 보급이 이루어지고 있는 LED 디스플레이 또한 약 300[W]의 전력(옥외 광고조명[기본 2x8 모듈]시 최소한 4,096개의 LED 필요[모듈 당 LED 256개; 16x16 Dot Matrix])이 필요하여 광고조명의 에너지 소비가 무시할 수 없는 수준임을 알 수 있다[2]. 특히 국내의 광고조명산업은 광고조명을 사용하는 전국 업체수가 200만이 넘어(통계청 1997년 자료에 의한 추산), 1업체 당 200[W] 간판 두 개를 하루 평균 10시간 사용한다고 가정하면 연간 사용하는 전력 소비량은 약 2,920[GWh]에 달하고 이를 전기요금으로 환산하면 약 3,153억원에 이른다[2]. 따라서 우리나라와 같이 에너지 수입의 의존도가 높은 나라에서는 이의 에너지를 절감하는 방안의 수립이 국가적으로 절실한 시점에 있다.

한편, 광섬유(Optical Fiber)는 짧은 거리에서 빛을 손실 없이 색상 그대로 전달하는 특성[3]을 활용하여 LED와 함께 광고 패션 제품 분야에 적용되고 있다. 이는 광섬유를 활용한 다양한 패턴의 디자인, 저 소비전력, 긴 수명 그리고 다양한 조명 효과 연출이 가능한 LED를 결합하여 구성함으로써, 전력소모가 적고 유지 보수비가 적은 경제적인 장점 때문에 의류, 가방 등 패션 분야와 뛰어난 야간 식별 능력으로 인한 안전 분야 등에서 주목을 받고 있다[2].

본 연구에서는 앞서 언급한 연간 소비 전력이 수천 GWh에 달하는 광고조명분야의 소비전력절감을 위한 대안으로 이상의 광섬유와 LED를 결합한 OF-LED 광고 조명 시스템에 대하여 제안하였다. 이는 광고조명이 일반 조명과 달리, 독서등과 같은 휘도 보다는 시각 효과에 의한 광고효과가 더 중요하다는 점에 착안한 것이다. 특히 본 연구에서 제안한 광고 조명 시스템은 대전력용 LED(소비전력 1.2[W])에 의하여 구성되기 때문에 기존의 네온 및 형광램프에 의한 광고 조명에 비하여 에너지 소비를

획기적으로 저감시킬 수 있을 뿐 아니라, 시스템의 소형화가 가능하다. 또한 태양전지를 사용하여 계통에 연계시킴으로써 부조일이 높은 장마철을 제외하고는 계통의 전력공급 없이 태양광 발전만으로 운영하는 큰 장점을 가진다.

그러므로 본 연구에서는 제안된 OF-LED 광고 조명 시스템을 이론적으로 해석하고, 부하용량에 따른 태양전지 및 배터리 용량의 최적 설계방법을 논의하였다. 또한 태양전지의 출력 특성에 의한 배터리의 최단·최적 충전을 위해 정전류·정전압 제어법(CCVC)과 IncCond 알고리즘을 병행하여 적용하였다. 그리고 원칩 마이크로프로세서로 디스플레이 제어와 충·방전제어를 동시에 수행하도록 하였으며, 이를 실험을 통하여 제시된 시스템의 유용성을 입증하였다.

## 2. 시스템 설계 및 제어 알고리즘

### 2.1 시스템 설계

본 연구에서 제안한 에너지 절약형 OF-LED 광고조명시스템은 낮에는 기존의 광고조명시스템과 같이 대중에게 문구 및 이미지를 전달하면서 태양 전지를 통해 발전된 에너지를 MPPT알고리즘과 CCVC방법을 이용하여 배터리에 충전하고 밤에는 고휘도 LED를 제어기에 의해 역동적인 애니메이션으로 구동된다. 이를 위해서는 충전제어기와 LED 제어기가 필요하다. 그림 1은 Full Color LED와 광섬유를 사용한 광고 패널을 보여주고 있으며 배터리의 충전된 에너지가 DC-DC 컨버터에 의해 LED에 전달된다. 여기서 Color Display는 RGB LED를 사용하여 Full color로 표현할 수 있게 하는 추가적인 장치이다.

그림 2는 본 연구에서 제안한 에너지 절약형 OF-LED 광고조명시스템의 전체 시스템 블록도이다. 시스템을 구동하기 위한 주전원으로 태양전지를 사용하고 보조 전원으로 계통전원을 사용한다.

또한 배터리의 충전은 태양전지의 출력전력이 일정 전력이하로 떨어지면 일정전압으로 제어하는 것이 효율 면에서 유리하며[8], 본 논문에서는 태양전지의 출력전력이 일정 전력 이하일 경우 CCVC방법을 이용해 초기의 전류를 일정하게 하여 빠른 충전

이 가능하도록 하며 잔류 충전은 정전압 방식으로 충전하여 배터리의 충격을 줄였다.

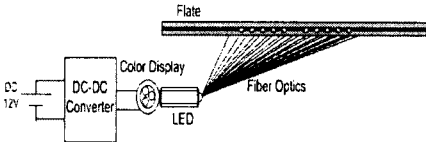


그림 1. OF-LED 광고조명시스템의 개념도  
Fig. 1. A Concept of OF-LED illuminated display board system for energy saving

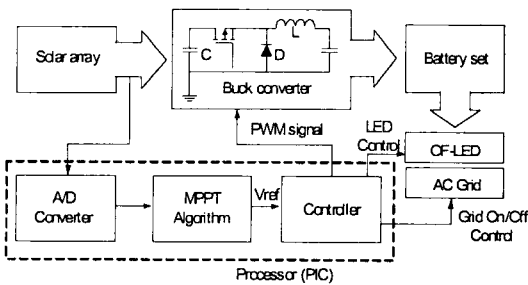


그림 2. OF-LED 광고조명 시스템의 블록도  
Fig. 2. The Block Diagram of the OF-LED illuminated display board system for energy saving

### 2.2 시스템 부하용량 산출

부하 용량은 일일 사용 부하량으로 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 태양전지용량과 배터리용량은 부하 사용량에 따라 일일사용부하량을 구하는 식(2)과 일일 배터리용량을 구하는 식(3)으로 구할 수 있다. 여기서 부조일이란 태양전지가 발전할 수 없는 경우로 일반적으로 3일을 사용한다. 그러나 일반적인 태양광 발전 시스템은 초기 설치비의 57[%]이상이 태양전지에 사용되고 배터리에 30[%]가 사용되며[3] 또한 광고 조명 시스템 특성상 소형화를 위해 배터리 용량을 줄여야한다. 그러므로 본 연구에서는 초기 설치 단가를 낮추고 배터리의 용량을 줄이기 위해 부조일 2일로 선정하였고, 부조일이 높은 장마기간을 대비하여 보조 전원으로 계통전원을 사용하였다.

$$D_c = L_c(W) \times 12hr = Wh/day \quad (1)$$

$$\frac{D_c(Wh/day)}{S_s(kWh/m^2 \cdot day) / 1kW \times S_s(0.5)} \quad (2)$$

$$\frac{D_c(Wh/day) \times D_a(2days)}{B_{be}(0.85) \times B_{ad}(0.6)} \quad (3)$$

여기서  $D_c$ 는 일일 사용 부하량,  $L_c$ 는 부하량,  $S_s$ 는 경사면 일사량,  $\delta_s$ 는 시스템 효율,  $D_a$ 는 부조일,  $B_{be}$ 는 충전지 충·방전 효율,  $B_{ad}$ 는 충전지 방전심도를 나타낸다.

논문에서 제시한 OF-LED 광고조명시스템은 1.2[W] 고휘도 LED 두 개를 사용하였다. 표 1은 부하 용량 2.4[W]의 최적 태양전지용량, 충전지 용량, 배터리 용량을 선정하여 나타내었다.

표 1. 시스템 설계 사양  
Table 1. A system design specification

일일 사용 부하량	28.8[Wh/day]
태양전지 용량	16[Wp]
충전지 부하량	94.118[Wh]
배터리 용량	12[V], 8[Ah]

### 2.3 회로구성 및 제어

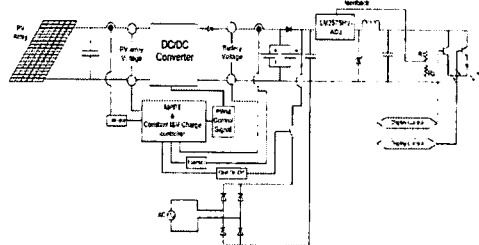


그림 3. 에너지 절약형 OF-LED 광고 조명 시스템의 제어 블록도  
Fig. 3. OF-LED illuminated display board for energy saving

그림 3은 제안한 OF-LED 시스템의 제어 블록도이다. 시스템의 구성은 태양광 발전전력을 최적 충전 제어 알고리즘으로 배터리에 충전하는 충전부와 LED를 구동하기 위한 정전류 공급기 그리고 충전 및 LED 온-오프를 하는 제어부로 구성된다. 충전부와 출력부의 각 소자의 정격용량은 표 1에 의해 최대 전압과 최대전류를 고려하여 구할 수 있다. 제어부는 원칩 마이크로프로세서인 PIC16F877을 사용하여 태양전지의 입력 전압·전류 및 충전기의 출력 전압·전류를 검출하여 스위칭 듀티비 및 LED의 온-오프 제어를 한다.

### 2.4 MPPT 알고리즘

태양전지는 온도와 일사량에 의해 최대전력점이 달라진다. 그러므로 태양전지의 최대전력을 얻을 수 있도록 하는 제어가 필요하다. 보편적인 알고리즘으로 P&O법, IncCond법, 일정전압제어법이 있다[4]. 본 논문에서는 추종 특성이 좋은 IncCond 법을 사용하였다. IncCond 법은 임피던스 매칭법으로 부하의 임피던스와 태양전지의 임피던스가 같아지는 지점에서 태양전지 출력이 최대가 되는 것을 이용하는 방법이다[5]. 태양전지의 출력은 다음과 같이 표현된다[6].

$$p = i \cdot v \tag{4}$$

식(4)을 편미분하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{v} \cdot \frac{dp}{dv} = \frac{i}{v} + \frac{di}{dv} \tag{5}$$

태양전지의 컨덕턴스를 정의하면 다음과 같다.

$$G = \frac{i}{v} \tag{6}$$

태양전지의 증분 컨덕턴스를 정의하면 다음과 같다.

$$\Delta G = \frac{di}{dv} \tag{7}$$

태양전지가 최대 출력을 가지려면  $\frac{dp}{dv} = 0$ 이므로 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$G = -\Delta G \tag{8}$$

태양전지의 최대 출력점을 컨덕턴스와 증분 컨덕턴스의 관계로 표현하면 식(9)와 같으며 그림 4는 태양전지의 동작 특성에 따른 증분 컨덕턴스와 컨덕턴스의 관계를 보여준다[7].

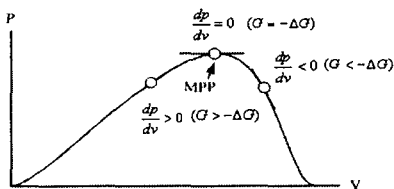


그림 4. 태양전지의 동작특성  
Fig. 4. Operation characteristic of a solar array

$$\frac{dp}{dv} \begin{cases} > 0, & \text{if } G > -\Delta G \\ = 0, & \text{if } G = -\Delta G \\ < 0, & \text{if } G < -\Delta G \end{cases} \tag{9}$$

### 2.5 최적 충전제어

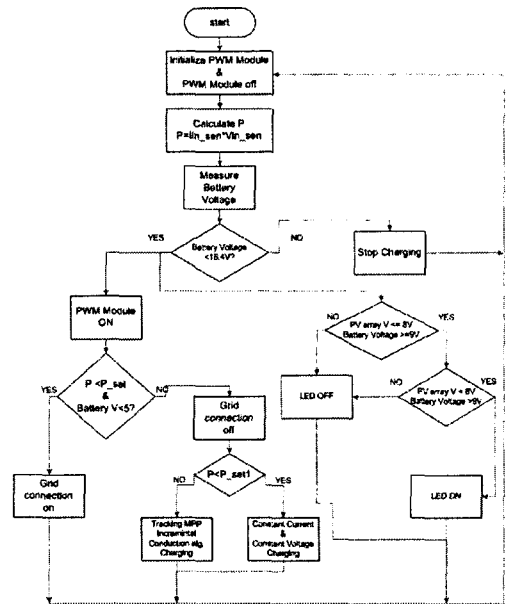


그림 5. 제어 알고리즘 순서도  
Fig. 5. Control algorithm flowchart

본 연구에서는 태양에너지의 효율을 극대화하기 위해 두 가지 알고리즘을 적용하여 충전하고 있다. 평상시에는 IncCond 알고리즘을 적용하고 일정전압 이하에서는 정전류·정전압 제어방법을 적용하여 배터리를 최적으로 충전할 수 있다. 이는 Deep Cycle에 약한 납축전지의 수명을 연장할 수 있으며, 단 시간에 축전지를 충전 할 수 있어 부조일의 영향을 덜 받을 수 있다. 또한 부조일이 높을 경우 계통 전원을 정전류 공급기에 연결하여 태양전지의 출력이 낮고 배터리의 잔류 전력이 낮으면 배터리의 전원을 차단하고 계통 전원으로 LED를 구동시킨다. 알고리즘의 순서도는 그림 5와 같다. 그림 5에서처럼 프로그램이 시작되면 ADC(A/D컨버터)와 PWM을 초기화한다. 그리고 PWM 모듈을 turn off하고 태양전지의 전압과 전류를 입력받아 판단하며, 만 충전일 경우 충전을 멈춘다. 만 충전이 아닐 경우 PWM 모듈을 turn on하고 태양전지의 출력전력과

배터리의 전압을 기준값과 비교하여 계통전원에 연결할 것인지를 판단하고 태양전지의 출력전력이 기준값보다 크고 일정 전력 이상이라면 IncCond 알고리즘으로 충전하고 그렇지 않으면 정전류·정전압 제어법으로 충전한다.

### 3. 실험 및 고찰

본 연구에서 제안한 부하용량 2.4[W]급의 에너지 절약형 OF-LED 광고조명시스템을 그림 6과 같이 제작 실험 하였고 실험 조건은 표 2와 같다.



그림 6. 개발된 시스템  
Fig. 6. The system to be developed

표 2. 실험 조건  
Table 2. The experiment condition

품명	규격	품명	규격
태양전지용량	36[Wp]	출력전압리플	0.5[%]
배터리용량	8[Ah]	정전압	14.4
입력전압	20[V]	정전류	1A
L	220[ $\mu$ H]	스위칭주파수	20[kHz]
C	220[ $\mu$ F]	주스위치	MOSFET

태양전지의 출력이 15[W]이하 일 때에는 정전류·정전압 모드로 바꾸어 PWM신호를 제어 한다. 그림 7과 그림 8은 각각 정전압 제어와 정전류 제어의 듀티비 변화에 대한 실험 결과 파형이다.

그림 7은 배터리의 개방전압이 14[V]를 넘으면 입력에 관계없이 정전압 14.4[V]로 충전하고 그림 8은 초기 충전부터 배터리 개방전압이 14[V]가 되기 이전까지 충전제어기가 정전류 1[A]로 충전하고 있는 파형이다.

본 논문에서 제시한 최적 충전 방법을 적용하여 실험한 결과 배터리를 보다 안정적이고 빠르게 충전

할 수 있음이 입증되었다.

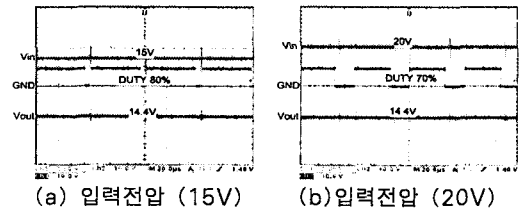


그림 7. 정전압 제어 스위칭 듀티비 실험파형  
Fig. 7. The waveforms of constant voltage control

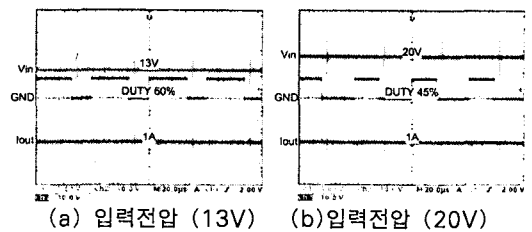


그림 8. 정전류 제어 스위칭 듀티비 실험파형  
Fig. 8. The waveforms of constant current control

그림 9는 기존의 형광등과 네온등을 사용한 광고조명시스템이며 형광등의 경우 40[W]의 형광램프 3개를 사용하였으며 네온등의 경우 70[W]의 네온을 2개 사용하였다. 그러므로 소비전력은 각각 형광등 120[W], 네온 140[W]이다[2].



그림 9. 기존의 광고조명시스템  
Fig. 9. Advertisement lighting system

그림 10은 제안된 시스템을 사용하여 에너지 절약형 OF-LED 광고 조명시스템을 동작시킨 실험 사진이다. 광고조명시스템의 효율은 일반 조명시스템과 달리 휘도의 정도가 아니라 이미지와 문구의 전달능력과 시간당 에너지 소비의 정도가 효율의 높고 낮음을 결정한다. 이에 본 논문에서는 LED 두 개 (2.4[W])로 형광등을 사용한 광고조명시스템에 비해 98[%]의 에너지 소비를 줄이고 원칩 마이크로프로

세서를 이용하여 애니메이션 효과가 가능하도록 하였으며 야간에 100[m]전방에서 식별이 가능할 뿐 아니라 시각효과가 뚜렷함을 확인하였다[2].

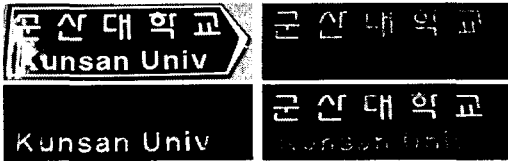


그림 10. OF-LED를 이용한 광고 조명 시스템  
Fig. 10. OF-LED illuminated display board

#### 4. 결 론

본 논문에서는 에너지 절약형 OF-LED 광고조명 시스템을 제안하였으며, 형광램프를 사용한 광고조명시스템(120W)과 비교하여 OF-LED 광고조명시스템(2.4W)로 최대 98[%]의 에너지를 절약할 수 있었으며, 원칩 마이크로프로세서에 의한 LED제어로 역동적인 애니메이션을 표현할 수 있었다. 또한 기존의 광고조명시스템을 태양전지를 사용한 독립형 OF-LED 광고조명시스템으로 대체하면 연간 수 Gwh의 에너지를 절약할 수 있을 것으로 기대된다. 태양광 발전 시스템을 적용한 OF-LED 광고 조명시스템의 경우 태양전지와 배터리의 용량을 줄임으로 초기 설치비를 줄였으며, 부하 용량에 따른 태양전지의 용량과, 배터리 용량의 최적 설계방법에 대해 논의하였다. 또한 입력변동에 따른 최대출력점을 추종하는 MPPT알고리즘과 배터리 충전 특성이 좋은 CCVC방법을 병행하여 빠르고 안정된 최적 충전제어 알고리즘을 제안하였고 2.4[W]급의 시작품을 제작 실험하였다.

이상의 결과로 본 연구에서 제안한 에너지 절약형 OF-LED 광고조명시스템은 기존의 광고 조명과 비교하여 에너지 소비는 줄이면서 보다 유연한 광고효과를 연출할 수 있었으며, OF-LED를 이용한 광고조명시스템을 사용할 경우 광고조명에 의한 에너지 소비를 줄이는데 기여할 것으로 사료된다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 에너지·자원 기술개발사업(2002-E-EL101-P-03)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### References

- [1] A. Q. Haideri and J. A. Paraskiewicz. "Saving energy and protecting the environment through a retrofit lighting program," IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference, pp. 139-145, 1993.
- [2] 유기환 외 3인 "광섬유를 이용한 고효율 광고조명시스템 및 자동생산장비 개발" 산업자원부 에너지자원기술개발사업 최종보고서, pp. 2-6, June, 2004.
- [3] Kwangwoo co. , "High-Performance Plastic Optical Fiber", ESKATM, pp. 2-3, 2002.
- [4] Johan H. R. Enslin "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 6, pp. 769-773, 1997.
- [5] M. Abouzeid, "Use of a reluctance stepper motor ofr solar tracking based on a programmable logic array(PLA) controller", Renewable Energy 23, pp. 551-560, 2001.
- [6] Moustafa M. Elsayed, "Measurements of solar density distribution on a plane receiver due to a flat heliostat", Solar energy, Vol. 54, No. 6, pp. 403-211, 1995.
- [7] K.H. Hussion. "Photovoltaic Power Tracking An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE. Vol. 142, No. 1, pp. 59-64. 1995.
- [8] 강신영 외 2인, "батери 개별 제어 방식에 의한 소규모 독립형 태양광 발전 시스템의 특성 개선", 전력전자학회 논문지 제7권 5호 pp. 49-51 2002.

#### ◇ 저자소개 ◇

##### 이성룡 (李星龍)

1958년 11월 30일생. 1980년 명지대학교 졸업(학사). 1982년 동 대학원 졸업(석사). 1988년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 군산대학교 전자정보공학부 정교수.

##### 전칠환 (全七煥)

1955년 6월 2일생. 1980년 서울대학교 졸업. 1986년 미국 Vanderbilt Univ. 졸업(석사). 1990년 미국 Vanderbilt Univ. 졸업(박사). 현재 군산대학교 전자정보공학부 정교수.

##### 이수원 (李洙原)

1968년 5월 4일생. 1991년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 군산대학교 BK21 계약교수.

##### 이은철 (李銀哲)

1978년 3월 4일생. 2004년 군산대학교 전자정보공학부 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.