

새로운 조명기기 점등제어 시스템 New Lighting Control System for Light Devices

인 치 국*, 윤 달 환**, 인 치 호**

Chi-Goog In*, Dal-Hwan Yoon**, Chi-Ho Lin**

Abstract

In this paper, new efficient lighting control system for light devices is proposed to reduce power consumption and increases LED life-cycle and heat efficiency of LED lighting module. The new proposed lighting control system for light devices divides into 4 stages according to the illuminance surrounding by measuring illuminance and apply to automatic pattern lighting algorithm. And via level check will be light up for set time by applying intersection lighting algorithm of magic square pattern forming a fully symmetrical. Experimental analysis results, shows heating value and power consumption reduced to maximum 30 percent and lifetime of LED improved to maximum 60 percent in comparison with previous lighting system so applying system to LED streetlight, stable and high energy efficiency can be acquired.

요 약

본 논문에서는 LED 가로등의 소비 전력을 줄이고 수명 및 LED 모듈의 열효율을 높이기 위한 효율적인 새로운 조명기기 LED 점등제어 시스템을 제안한다. 제안된 새로운 조명기기 점등제어 시스템은 조도를 측정하여 주변 조도에 따라 4단계로 구분하고 자동 패턴 조명 알고리즘을 적용한다. 그리고 단계검사를 통해 완전대칭을 형성하는 마방진 패턴에 교차점등 알고리즘을 적용하여 설정된 시간동안 점등을 하게 된다. 실험분석 결과, 기존의 조명 시스템과 비교하여 발열량과 소비전력이 최대 30%이상 감소되었고 LED의 수명이 최대 60%이상 향상되었기 때문에 LED 가로등에 적용할 경우 안정적이고 높은 에너지 효율성을 얻을 수 있다.

Key words : LED, Pattern, Streetlight, Lighting algorithm, Energy conservation

1. 서론

에너지 절약과 환경규제에 의한 대체 조명으로 기존의 백열전구보다 전력 효율이 좋고 친환경적인 LED(Light Emitting Diode) 조명이 각광받고 있다. LED는 기존의 광원에 비해 소비전력(W)이 적다는

것이 가장 큰 장점이다.[1-2]

LED 조명은 백열전구와 할로겐램프에 비하여 광효율이 5.6~7.3배에 달하며 형광등에 비해서도 광효율이 앞서고 있다.[3] 또한 LED 조명은 유해물질을 배출하지 않아 환경오염과 별도의 폐기비용이 발생되지 않으며 전력소비량도 작아 CO2 배출량도 적다. LED는 반도체에서 전기 에너지가 빛 에너지로 직접 변환되기 때문에 에너지 효율이 매우 높다. 그러나 입력된 전기 에너지 가운데 15%가 빛으로 변환이 되고, 85%는 손실로서 열로 변환되어 LED의 온도가 상승하게 된다.[4] 이러한 온도상승은 LED의 광량 저하와 LED 기판에 사용된 급속 등의 열화를 촉진하여 LED의 수명을 급격하게 저하시키는 등의 문제점을 가지고 있다.[5-6] 기존의 점등 방식은 전체 LED를 점등하는 방식으로 장시간 점등을 하였을 경우 열전도로 인한 높은 발열량과 광량저하, 그리고 LED의

* 世明大學校 컴퓨터學部
(School of Computer, Semyung University)

** 世明大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering, Semyung University)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 감사의 글 (Acknowledgment)

본 논문은 한국 연구재단의 지역혁신 인력양성사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.(100041)

接受日:2011年 09月 23日, 修正完了日: 2011年 11月 01日

掲載確定日: 2011年 11月 10日

수명저하를 가져왔으며, 이러한 온도상승을 최소화하기 위해 LED 조명기기의 부속품에 히트싱크와 구동회로의 부품 수를 증가시켜 효율이 낮아지고 비용이 증가하게 되었다.[7]

본 논문에서 제안하는 새로운 조명기기 점등제어 시스템은 주변의 밝기에 따라서 4단계로 점등이 되기 때문에 불필요한 LED의 점등되는 개수를 최소화시켜 특정 광량을 유지할 수 있으며, LED의 수명을 극대화시킬 수 있다. 또한 교차적으로 패턴 점등이 되기 때문에 주변 LED들로부터 열의 전도율이 저하되어 LED의 온도상승으로 발생하는 여러 가지 문제점을 해결할 수 있으며 부속품에 별도의 히트싱크와 구동회로의 부품수가 추가되지 않기 때문에 비용을 절감할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 주변 광량에 따라 점등 단계를 분류하고, LED를 교차적으로 패턴 점등하여 열효율을 높이고 LED의 성능을 최대화하며, 저전력 및 높은 에너지 효율성을 가지며 비용을 절감할 수 있는 새로운 조명기기 점등제어 시스템을 제안하고자 한다.

II. LED 패턴 점등제어 알고리즘

2.1. 제안된 전체적인 알고리즘의 순서도

본 논문에서 제안하는 LED 패턴 점등 알고리즘은 LED 점등 패턴을 총 4단계로 나누고 주변의 조도를 측정하여 동적으로 제어되기 때문에 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있으며 동작되는 LED 개수가 줄어들기 때문에 에너지 효율을 높일 수 있다. 각 단계별로 LED가 동작하는 개수가 다르기 때문에 조도분포를 고르게 하기 위하여 마방진을 이용하여 점등 패턴을 분석하였다. 마방진을 이용하면 상하좌우 완전 대칭적인 패턴을 생성할 수 있기 때문에 균형적인 조도분포가 가능하다. LED 패턴 점등제어 알고리즘은 주변 광량에 따른 자동 패턴점등 알고리즘과 각 단계의 교차점등 알고리즘이 병행하여 수행된다. 광량에 따른 자동 패턴점등 알고리즘은 조도 센서를 이용하여 주변의 광량을 입력받아 측정된 양을 단계별로 분류하여 설정하고, 각 단계에 따라서 LED가 패턴점등하게 된다. 단계는 0에서 3으로 분류되는데 단계 0은 조명도가 풍부하여 조명이 필요하지 않는 것으로 판단되어 조명이 점등되지 않는다. 단계 1에서는 조명도가 일정수위 있는 것으로 판단되어 전체 LED의 50%를 동작하여 일정시간마다 회전 및 반전 알고리즘의 교차 점등 기법을 수행하여 점등된다. 단계 2에서는 조명도가 일정수위 미만으로 판단되어 전체 LED의

75%만큼 동작시킴과 일정시간마다 회전 및 반전 알고리즘의 교차기법이 동시적으로 수행하며 점등된다. 단계 3에서는 조명도가 매우 미미한 것으로 판단되어 전체 LED가 동작하여 최대 광속으로 점등된다. 각 단계에서는 설정된 시간동안 점등설정을 그대로 유지하게 되며, 유지시간이 끝나게 되면 다시 조도센서를 이용하여 주변의 광량을 측정하여 단계를 다시 분류하게 된다. 그림 1은 제안하는 알고리즘의 순서도를 나타낸 것이다.

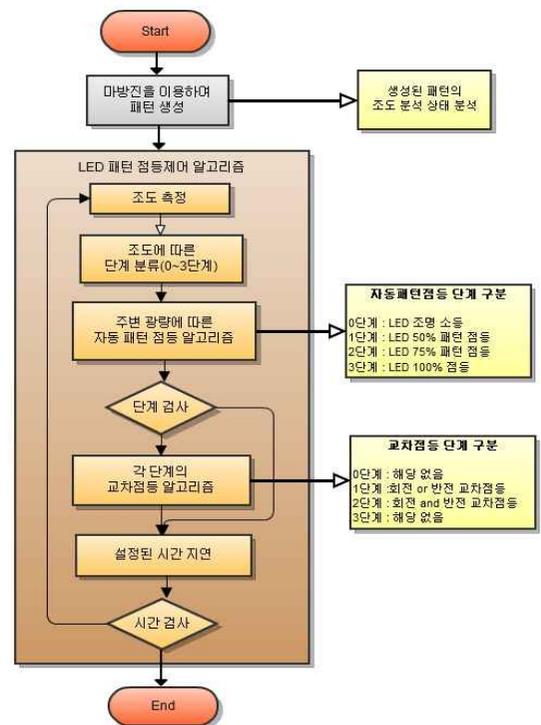


Fig. 1. The Flowchart of the proposed algorithm

그림 1. 제안된 알고리즘의 순서도

2.2 마방진을 이용하여 생성된 패턴 분석

마방진은 가로, 세로 $n \times n$ 칸에 1부터 n 의 제곱까지의 자연수열을 한번 씩 써넣어 행과 열, 대각선의 각 방향의 합이 모두 같도록 만든 정방행렬을 말한다.[8] 그림 2는 마방진의 수의 배열로부터 얻을 수 있는 패턴을 보여주고 있다.

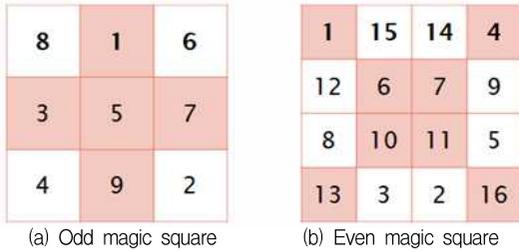


Fig. 2. The magic square patterns
그림 2. 마방진 패턴

그림 2(a)는 홀수 마방진으로 전체 배열의 개수가 홀수이기 때문에 전체의 배열의 비율이 같지 않아 모든 LED를 균등하게 사용할 수 없다. 그러나 그림 2(b)는 짝수 마방진으로 전체의 비율이 같기 때문에 모든 LED를 균등하게 사용할 수 있다.

그림 3은 짝수 마방진으로부터 얻을 수 있는 패턴을 보인 것이다. 마방진은 조합 방법에 따라 여러 개의 완전 대칭되는 패턴을 생성할 수 있다. 상하좌우가 완전히 대칭이 된다면 패턴을 변화시켜도 조도를 골고루 분포할 수 있다. 조도 분포는 평면적 또는 공간적인 조도의 확산이나 변화를 나타내는 것으로 평균 조도가 동일해도 그 분포상태에 따라 달라 보이기 때문에 조도의 분포상태가 매우 중요하다.[9]

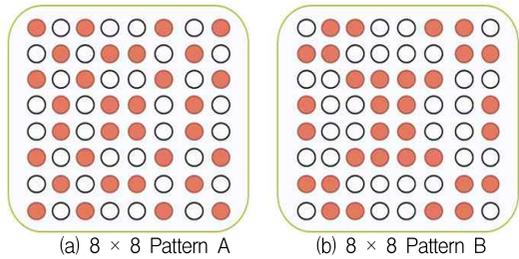


Fig. 3. Application pattern of an even magic square
그림 3. 짝수마방진의 응용패턴

2.3 주변광량에 따른 자동 패턴 점등 알고리즘

본 알고리즘은 조명 센서를 이용하여 주변의 광량을 감지하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 측정된 값을 총 4단계로 나누어 구분하였다.

주변의 광량을 측정하는 조도센서를 이용하였으며, 광량 측정 범위는 0~500의 조명도(lux)로 설정하였다. 표 1에서는 각 단계별로 설정된 조명도와 LED의 동작개수, 교차 알고리즘의 가능여부를 나타내고 있다.

Table 1. Each level according to the state
표 1. 각 단계에 따른 상태

단계별 분포			
Level	조명도(lux)	LED 동작 개수	교차 점등
0	250 ~ 500	0	No
1	151 ~ 249	50%	Yes
2	80 ~ 150	75%	Yes
3	0 ~ 79	100%	No

레벨이 0이면 주변의 광량이 일정수준 이상인 것으로 LED가 동작되지 않는다. 레벨이 1이면 LED의 동작개수는 50 %이며 회전 및 반전 기법을 적용한 교차 점등을 하게 된다. 레벨이 2가 되면 LED의 동작개수는 75 %로 증가되며 회전과 반전이 동시에 이루어져 교차 점등을 하게 된다. 레벨이 3이 되면 주변 광량이 미미한 것으로 전체 LED를 점등하게 되어 주변을 밝게 비추게 된다. 그림 4는 주변 광량에 따라 LED가 자동적으로 단계별로 점등되는 것을 나타낸 것이다.

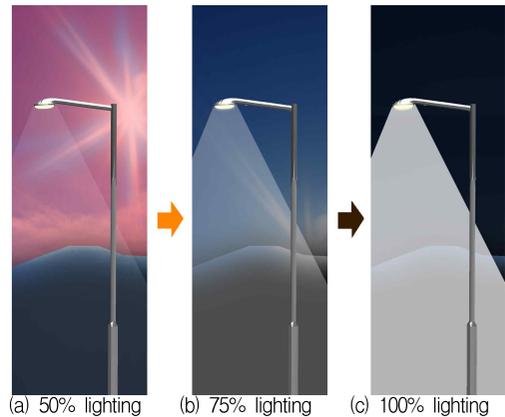


Fig. 4. Simulation of the illuminance surroundings
그림 4. 주변 광량에 따른 시뮬레이션

2.4 각 단계의 교차점등 알고리즘

본 논문에서 제시하는 교차점등 알고리즘은 단계 1과 단계 2에서만 적용이 된다. 그림 5와 같이 단계 1에서는 모든 LED의 50%만 점등하여 회전과 반전 기법을 정기적인 시간 간격으로 교차적으로 수행하여 점등된다. 주변 조명도가 151에서 249 사이일 경우에만 패턴 점등을 하게 되며, 모든 LED를 균일하게 사용하기 때문에 가장 안정적이고 에너지 효율이 높다.

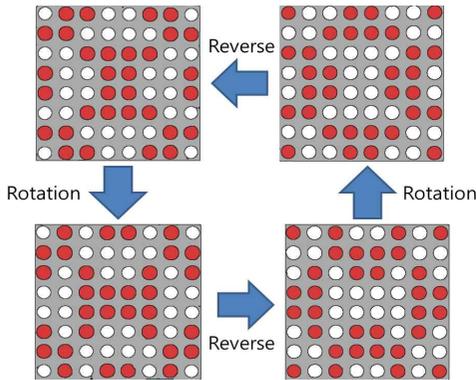


Fig. 5. A rotation & reverse algorithm on level 1
 그림 5. 단계 1의 회전 및 반전 알고리즘

그림 6과 같이 단계 2에서는 단계 1에서 점등되지 않은 LED를 격자형으로 점등시켜 25%를 추가 점등한다. 이러한 과정을 거치면 모든 LED의 75%만큼을 점등되어 회전과 반전 기법이 정기적인 시간 간격으로 동시에 수행하여 점등하게 된다. 주변 조도가 80에서 150 사이에서 점등이 되며 단계 1에서 점등된 패턴보다 높은 광속을 가진다.

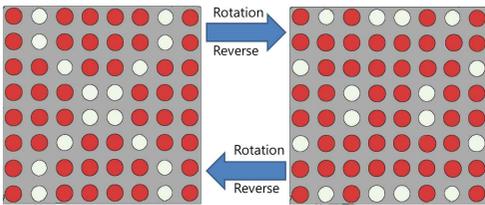


Fig. 6. A rotation & reverse algorithm on level 2
 그림 6. 단계 2의 회전·반전 알고리즘

단계 2의 패턴점등에서는 모든 LED를 균등하게 사용하지 않아서 안정적이지는 않지만 전체 점등하였을 때보다 발열량이 줄어들고 에너지 효율 측면에서 유리하다.

III. 실험 및 결과

새로운 조명기기 점등제어 시스템은 일반적인 LED 조명 시스템과는 달리 조명도에 따라 단계별로 분류되고 자동적으로 패턴점등을 수행한다. 본 논문에서는 패턴에 따른 조명도를 분석하기 위하여 그림 7과 같이 다중센서 플랫폼이 결합되어 있는 Hmote2420의

싱크 노드와 싱크 노드로부터 데이터를 수집하는 베이스 노드 그리고 수집된 데이터를 화면에 보여줄 수 있는 노트북을 이용하여 조도를 측정하였다.

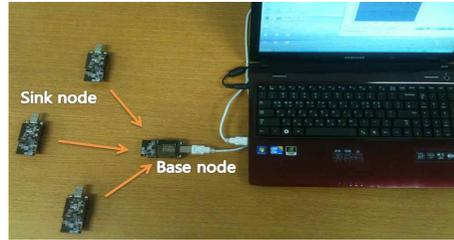


Fig. 7. Device configuration for illuminance measurement
 그림 7. 조도 측정을 위한 장치 구성

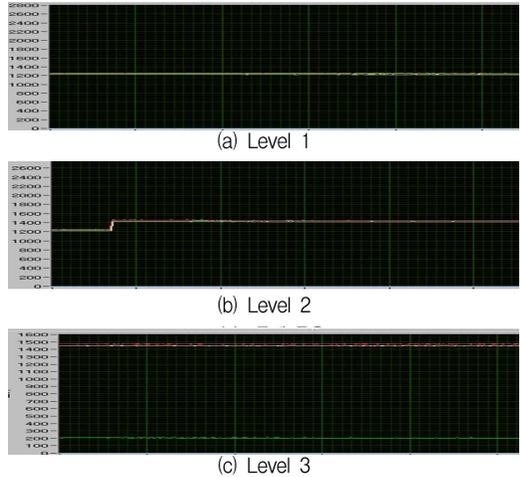


Fig. 8. Illuminance measurements contents for each step
 그림 8. 각 단계에 대한 조도측정 내용

그림 8은 각 단계별로 측정된 조명도를 나타내고 있다. 단계 1로 점등이 되었을 경우에는 측정된 실제 조명도가 1251 lux를 나타냈고, 단계 2로 점등이 되었을 경우에는 조금 더 상승된 1403 lux를 나타냈다. 그리고 단계 3으로 점등이 되었을 경우에는 조명의 수치인 1475 lux를 나타냈다. 각 단계의 패턴에 따른 조명도의 차이는 72~148 정도로 큰 차이를 보이지 않았다.

LED 조명의 각 단계의 교차수행 시간은 15분 간격으로 설정하였다. 조도측정 프로그램을 이용하여 18시부터 06시까지의 조도를 측정해보니 주변 광량에 따른 각 단계별 LED 점등시간은 표 2와 같이 단계 0이 2시간, 단계 1이 2시간, 단계 2가 4시간 그리고 단계 3은 4시간 점등되었다.

Table 2. Classification according to the illuminance surroundings level for times

표 2. 시간대 조도량에 따른 단계 분류

시간대 조도량 정보							
시간	18-19	19-20	20-22	22-02	02-04	04-05	05-06
단계	0	1	2	3	2	1	0
통계	단계 0		단계 1				
	2h		2h				
	단계 2		단계 3				
	4h		4h				

그림 8은 측정된 조명도를 시간별로 분석하여 그 래프로 나타낸 것이다.

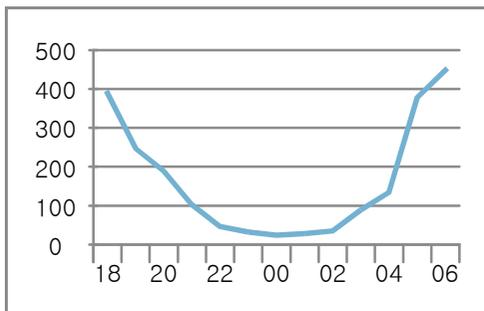


Fig. 9. Illuminance measurement graph

그림 9. 조도 측정 그래프

각 LED당 사용빈도수는 점등을 할 때마다 개별 증가시켜 분석하였으며, 검증한 결과 본 알고리즘 기준으로 각 LED가 총 40번의 사용빈도수를 가진다고 가정할 때, 제안된 알고리즘은 20~36번의 점등 횟수로 표 3과 같이 기존방식보다 낮은 사용빈도수를 가지는 결과를 얻을 수 있었다.

Table 3. Frequency in use of LED in a day

표 3. 하루 동안 LED의 사용빈도수

8 by 8 LED Matrix								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	36	20	36	28	28	36	20	36
2	36	28	36	36	36	36	28	36
3	28	36	28	36	36	28	36	28
4	36	36	28	28	28	28	36	36
5	36	36	28	28	28	28	36	36
6	28	36	28	36	36	28	36	28
7	36	28	36	36	36	36	28	36
8	36	20	36	28	28	36	20	36

기존의 전체 점멸 방식의 LED 조명기기는 모든 LED를 점등하기 때문에 73lm의 광속과 57℃의 발열량 그리고 3.15W의 소비전력을 보였다. 한편, 마방진을 이용한 LED 조명기기는 52~73lm의 광속과 39~52℃의 발열량 그리고 1.3W의 소비 전력을 보였다. 따라서 전체 점멸 방식의 LED 조명기기와 비교하였을 때 0~30.9%의 발광효율이 저하 하였지만 발열량은 8.8~31.6%가 감소되었고, 0~30.6%의 소비 전력이 줄어들었다. 그리고 LED의 동작 개수가 주변 광량에 비례하여 자동적으로 제어가 되기 때문에 높은 에너지 효율과 낮은 발열량의 결과를 얻을 수 있었다. 표 4는 기존 방식과 제안된 알고리즘 방식의 차이점을 나타내고 있다.

Table 4. The differences between previous system and proposed algorithm

표 4. 기존 방식과 제안된 알고리즘 방식의 차이점

동작패턴	기존의 점등 방식	제안하는 점등 방식	증감률(%)
총 LED(ea)	64	64	0 %
동작 LED(ea)	64	32/46/64	0~50 %
소비전력(W)	3.15	1.83~3.15	0~30.6 %
Heat(℃)	57	39~52	8.8~31.6 %
광속(lm)	73	52~73	0~30.9 %
수명(hr)	10,000~50,000	15,000~80,000	50~60 %

IV. 결론

본 논문에서는 주변 조명의 밝기에 비례하여 자동적으로 LED의 점등 개수를 제어하여 에너지를 절약하고 특정 밝기를 유지할 수 있는 새로운 LED 조명기기 제어 시스템을 제안하였다.

새로운 조명기기 점등제어 시스템은 주변의 밝기에 따라서 4단계로 점등이 되기 때문에 불필요한 LED의 점등되는 개수를 최소화시켜 특정 광량을 유지할 수 있었고 LED의 수명을 극대화시켰다. 또한 교차적으로 패턴 점등이 되기 때문에 주변 LED들로부터 열의 전도율이 저하되어 LED의 온도상승으로 발생하는 여러 가지 문제점을 해결할 수 있었으며 부속품에 별도의 히트싱크와 구동회로의 부품수가 추가되지 않기 때문에 비용을 절감할 수 있었다. 또한 Magic square을 이용하여 생성한 완전대칭 패턴으로 어떤 각도에서도 안정적으로 조도분포가 균등하게 적용되었으며, 회전 및 반전 기법으로 교차점등을 함으로써 LED의 수명을 극대화 시켰고 에너지 효율을 높

일 수 있었다. 그 결과 최대 30.9%의 광속이 저하 되었고, 발열량은 최대 31.6%가 감소되었으며, 최대 30.6%의 소비 전력이 줄어들었음을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문에서 제안된 점등제어 시스템을 실제적인 LED 가로등에 적용할 경우 안정적이고 높은 에너지 효율성을 얻을 수 있다.

참고문헌

- [1] L. Doulos, A. Tsangrassoulis, and F. Topalis, "Quantifying energy savings in daylight responsive system: The role of dimming electronic ballasts", *Energy and Buildings*, vol.40, no.1, pp.36-50, 2008.
- [2] 윤연수, "에너지 절약적인 직류 LED 조명과 조명제어", *전기전자학회지*, 제14권, 제2호, pp.32-37, 2009.
- [3] 황명근, 신상욱, 조미령, 이세현, 이영주, 김진선, "조명용 LED 광원의 광학적 특성 평가 및 성능 분석", *한국조명전기설비학회 2007년도 춘계학술대회 논문집*, pp.170-173, 2007.
- [4] 김향곤, 최충석, "LED 가로등의 발열 패턴 및 전류 특성에 관한 연구", *대한전기학회 논문지*, 제58권, 제3호, pp.357-361, 2009.
- [5] King-Tong Lau, William S. Yerazunis, Roderick L. Shepherd, Dermot Diamond, "Quantitative colorimetric analysis of dye mixtures using an optical photometer based on LED array", *Sensors and Actuator B: Chemical*, vol.114, no.2, pp.819-825, 2006.
- [6] 김태훈, "LED조명의 수명평가 및 국제표준", *대한전자공학회 논문지*, 제37권, 제2호, pp.40-46, 2010.
- [7] Masataka Nishimura, Hiroshi Shirasawa, and Wen-Jie Song, "A light-emitting diode light source for imaging of neural activities with voltage-sensitive dyes", *Neuroscience Research*, vol.54, no.3, pp.230-234, 2006.
- [8] C.H. Barton and A. Sudbery, "Magic squares and matrix models of Lie algebras", *Advances in Mathematics*, vol.180, no.2, pp.596-647, 2003.
- [9] Yoshihiko Muto, Manabu Yoshikawa, and Hiroshi Kayano, "Illuminance Distribution Analysis for Enclosed-space Applied Light Source with Different Radiative Characteristics Using Finite Element Procedure", *Journal of Light & Visual Environment*, vol.15, no.1, pp.41-47, 1991.
- [10] Optoelectronics Industry Development Association (OIDA), Light emitting diodes (LEDs) for general illumination : An OIDA technology roadmap update 2002. *Optoelectronics Industry Development Assn*, Washington DC, 2002.

저자 소개

인 치 국 (비회원)



2011년 : 세명대학교 컴퓨터학부 졸업 (이학사)
 2011년 3월-현재 : 세명대학교 대학원 컴퓨터학과 석사 과정
 <주관심분야> SOC CAD, ASIC 설계, CAD 알고리즘, SOC 설계, RTOS 및 내장형 시스템

윤 달 환 (정회원)



1984년 : 한양대학교 전자공학과 학사 졸업
 1986년 : 한양대학교 전자공학과 석사 졸업
 1987-1993 : 육군사관학교 교수
 1994년 : 한양대학교 전자공학과 박사 졸업
 2001-2003 : 세명대학교 산업기술 연구소

2005-2009 : (주)하이원 대표이사
 1995 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야> 통신 신호처리, 의용신호처리, 한방 IT 융합, 전력전자

인 치 호 (정회원)



1985년 : 한양대학교 공과대학 (공학사)
 1987년 : 한양대학교 대학원 공학석사 (CAD 전공)
 1996년 : 한양대학교 대학원 공학박사 (CAD 전공)
 1992년 ~ 현재 : 세명대학교 컴퓨터학부 교수

<주관심분야> SOC CAD, ASIC 설계, CAD 알고리즘, SOC 설계, RTOS 및 내장형 시스템