

수동 역률 보상회로를 이용한 LED 센서등 회로의 개발

Development of LED sensor lights circuit by passive power factor correction circuit

박 종 연* 유 진 완** 이 학 범***
Park, Chong-Yeun Yoo, Jin-Wan Lee, Hak-Beom

Abstract

In this paper, We studied LED(Light Emittted Diode) sensor lights system using PIR(Pyroelectric Infrared Ray) sensor, CdS and MCU(Micro Controller Unit). And applied the valley fill circuit to improve the power factor. We designed the amplifier for each sensor and the LED driver for constant current which is the buck converter. Also, we proposed the algorithm of LED control by each sensors using MCU. Experimental results showed that power factor is 92% with valley fill circuit.

키워드 : 수동 역률 보상 회로, 밸리필 회로, LED 구동회로
Keywords : *Passive PFC, Valley fill circuit, LED Driver*

1. 서론

차세대 조명으로 각광 받는 LED는 발광효율이 높고 수명이 길며, 친환경적인 광원이다. 현대에 이르러 고출력 LED의 개발로 인해 실내·외 조명이나 광 통신, 일반조명, 디스플레이 등 여러 분야에 사용되고 있다. 또한 향후에도 기술적 발전과 소자의 가격하락으로 인한 지속적 발전이 기대되는 상황이다[1]. 또한 세계적으로 에너지 절약과 친환경적 조명으로 LED를 이용한 조명이 각광을 받으면서 국내시장에서도 많은 성장을 하고 있다.

LED를 구동하기 위해서는 220V 60Hz의 상용전원을 이용하여 LED에 정전류를 인가하는 전력변

환장치가 필요하다. 특히 저전력의 전력변환장치 중 대부분은 정류동작을 하는 브리지 다이오드에 평활 커패시터를 직접 연결하여 사용한다. 이는 입력전류를 비선형적인 특성으로 바꾸게 되며, 이로 인해 THD가 상승하고 역률이 감소한다. 최근 생산설비의 안정성과 효율 향상을 위해 전원 품질에 대한 기준이 세계적으로 정립되고 규제가 강화되고 있기 때문에 저전력에서도 역률을 개선해야 할 필요가 있다. 미국의 SSL(Solid State Lighting)에서는 LED 전력변환장치의 역률 제한을 거주지역과 상업지역에서 각각 0.7과 0.9 이상을 만족해야 함이 명시되어 있고[2], 국내의 경우 LED KS규격에 따르면 소비전력 5W 이상일 경우 역률 0.9 이상을 만족해야 함을 표준으로 명시하고 있다[3][4]. 이를 위해 시스템 입력측에 역률개선회로(PFC)를 추가해야 한다. 하지만 국내 일반 LED 센서등은 PFC 회로를 추가하지 않고 평활 커패시터를 사용하여 입

* 강원대학교전기전자공학과 교수, 교신 저자
** 강원대학교 전기전자공학과 대학원 박사과정
*** 강원대학교 전기전자공학과 학사과정

력전류에 고조파가 많이 포함되고 역률이 낮아 고조파와 역률에 있어 국제적 규제와 국내 표준(KS)에도 부합하지 못하고 있는 상황이다. 본 논문에서 제시하는 시스템의 전력은 저전력인 15W이기 때문에 값이 비싼 능동 PFC 보다 값이 비교적 저렴한 수동 PFC를 적용하였다[5].

본 논문은 에너지 저감을 목적으로 하는 LED 센서등 개발을 위해 인체를 감지 하기 위한 PIR (Pyroelectric Infrared Ray) 센서와 주,야간을 구별하기 위한 CdS 센서를 적용하였다[6]. 센서 신호를 받아 LED 동작을 제어하기 위하여 저가형 MCU를 적용하였고 그에 따른 LED 센서등 알고리즘을 제안하였다. 또한 국내, 국제 역률 규격에 부합하기 위해 수동 역률 개선회로를 적용하여 저전력, 고효율의 LED 센서등 시스템을 개발하였다.

2. 본론

본 논문에서 개발한 LED 센서등 시스템의 블록도는 그림 1과 같다.

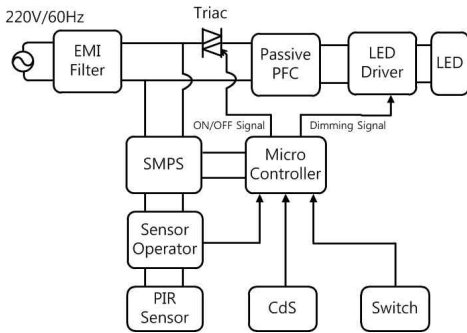


그림 1 LED 센서등 시스템 블록도

본 시스템은 15W LED 센서등 시스템으로 출력단의 LED는 1.3W LED 9개를 직렬 연결하여 구성하였다. 출력전압은 34V, 100% 디밍시 출력전류는 400mA의 정전류로 LED를 동작시킨다. 상용전원 AC 220V를 공급받아 출력으로 정전류 400mA를 LED에 인가하기 위해 강압형 DC-DC 컨버터인 벽 컨버터 형태의 LED 구동회로를 적용하여 전압을 낮추고 출력전류를 센싱받아 출력전류를 일정하게 유지시켜 LED 정전류로 구동시킨다.

입력단에는 EMI 필터를 사용하여 동상모드 노이즈와 공통모드 노이즈와 같은 외부노이즈를 차단하고 PFC 회로의 입력단에 트라이악을 사용하여 조건에 따라 LED 구동회로의 전원을 차단하게 하였다. LED를 동작시키지 않을 때는 PFC 회로 입력측의 트라이악을 통해 입력 전원의 차

단으로 대기전력을 줄여 손실을 감소시켰다. LED driver의 IC는 벽 컨버터 타입의 LED 구동 IC인 HV9910을 적용하였다.

인체감지 센서는 PIR 센서를 사용하였고, 에너지 절약을 위한 주,야간 판별을 위해 CdS 센서를 사용하였다. 센서 신호를 받아 LED 구동회로에 On / Off 신호와 디밍 신호를 인가하기 위해 MCU는 저가형인 ATiny24를 사용하였다. 미약한 센서 신호를 증폭하기 위한 증폭기의 바이어스 전압과 MCU의 전원을 인가하기 위해 수동 PFC와는 별도로 벽 컨버터 형태의 SMPS를 사용하였다. 이는 LED 구동회로에 있는 FET가 약 50KHz의 고속 스위칭을 함으로써 스위칭 노이즈가 발생하는데 센서 구동회로에 영향을 미쳐 미세한 신호를 감지하는 센서에 영향을 주기 때문이다. 이를 구현하기 위해 MCU측과 LED 구동회로간 디밍신호를 포토 커플러를 사용하여 절연시켰다. 이로 인해 센서 구동회로는 LED 구동회로부의 FET 스위칭 노이즈로부터 영향을 받지 않는다.

2.1 밸리필 회로와 LED 구동회로

본 논문에서는 수동 PFC 종류중 하나인 밸리필 (Valley fill) 회로를 적용하였다. 밸리필 회로는 입력단에 전파 정류 다이오드 외에 다이오드 3개와 같은 용량의 커패시터 2개, 돌입전류를 막기위한 인덕터로 구성되어있다. 밸리 필 회로의 기본 구조는 그림 2와 같다[7].

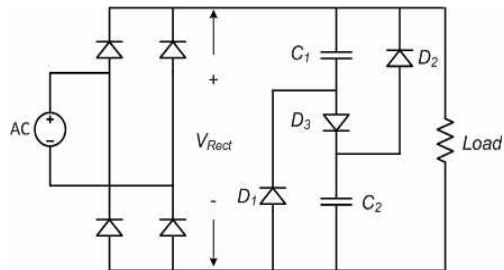


그림 2 밸리 필 회로

정류 된 전압 V_{Rect} 가 커패시터 C_1 , C_2 의 충전전압 보다 크면 다이오드 D_3 가 도통하여 커패시터 C_1 , C_2 가 직렬 연결되어 충전되며, 커패시터에는 각각 $V_{Peak}/2$ 의 전압이 충전된다. 충전 시 등가 회로는 그림 2와 같다.

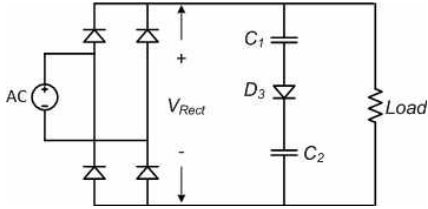


그림 3 커패시터 충전 시 그림 1의 등가회로

입력 전압이 커패시터에 충전된 전압보다 낮아지면 D_1 과 D_2 가 도통하여 C_1 , C_2 가 병렬로 연결된다. 그림 3은 커패시터 방전 시 밸리 필 회로의 등가회로이다.

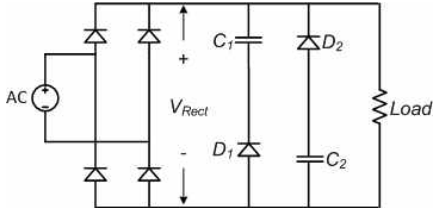


그림 4 커패시터 방전 시 그림 1의 등가회로

커패시터 C_1 과 C_2 는 같은 값을 사용하기 때문에 커패시터 충·방전시 커패시터의 값은 다음과 같다.

$$C_{charging} = \frac{1}{2}C, \quad C_{discharging} = 2C$$

밸리 필 회로에 따른 입력전류와 출력전압은 그림 4와 같다[5]. 커패시터 충전 시 돌입전류의 인가와 방전 구간에서 브리지 다이오드가 OFF되어 입력전류가 흐르지 않는 것을 확인 할 수 있다.

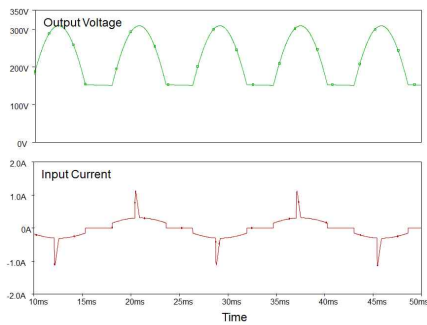


그림 5 밸리 필 회로의 출력전압, 입력전류 특성

그림 2의 밸리 필 회로를 LED 구동회로에 적용하여 측정된 결과 역률 92%, 전류 THD는 27%로 측정되어[5] 국내, 국외 표준에 부합하는 PFC회로임을

확인하였다.

LED의 디밍 방법은 스위칭 레귤레이터 방식을 사용하였다. 스위칭 레귤레이터를 적용한 경우 출력전류를 감지하여 duty비로 스위치를 제어하기 때문에 정확한 전류제어가 가능하고 대부분 90%이상의 효율을 갖는다. 따라서 LED 구동회로는 스위칭 레귤레이터 방식으로 적용하였다.

LED 구동회로의 스위칭 주파수는 50KHz이며 벽 컨버터 형태의 IC를 사용하여 LED양단에 알맞게 전압을 인가하고 출력전류를 감지하여 정전류로 LED를 구동시킨다. LED 구동회로는 그림 6과 같다.

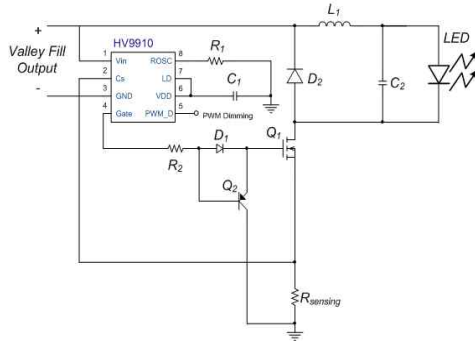


그림 6 LED 구동회로

LED 구동회로의 입력전압은 밸리 필 회로의 출력 전압으로 전압의 변화가 크기 때문에 출력전압의 변동에도 적합한 구동회로가 필요하다. R_{osc} 단자와 GND사이에 저항을 연결하여 조절할 수 있다. 그림 6의 구동회로는 벽 컨버터 형태이므로 출력 전압은 스위치의 on / off 듀티비에 의해 결정되고, 듀티비는 출력 전류를 센싱하여 결정된다. 그리고 보다 정확한 동작을 하기 위해 게이트 구동회로를 추가하였다. R_2 , D_1 , Q_2 는 벽 컨버터 스위치 Q_1 의 게이트-소스 간 커패시터스에 충전된 전압을 방전하기 위한 소자로서 보다 정확한 스위칭 동작을 가능하게 한다

2.2 센서 구동회로

(1)PIR(Pyroelectric Infrared Ray) 센서

PIR 센서는 초전형 적외선 센서를 말한다. 인체에서 방출되는 $9.4 \sim 10.4\mu\text{m}$ 에서 피크를 가진 원적외선을 감지하고 이를 전기적 신호를 발생시켜 출력하는 센서이다. 적외선은 원자나 전자의 진동에 의해서 발생하는 전자기파 중 파장(λ)이 $0.7\mu\text{m}$ 에서 $1,000\mu\text{m}$ 의 것을 의미한다.

초전기(Pyroelectric)는 강유전체가 갖고 있는 특성으로 열을 받았을 때 발생하는 전기를 의미하며, 외부에서 인가되는 전기가 없을 때 물질 자체의 전기적인 극성 띠는 것을 자발분극이라고 한다. 강유전

체는 열을 받을 경우 내부에 자발분극에 의해 전위차를 갖게 되는데 이를 이용한 센서가 PIR 센서이다. PIR 센서의 구동회로의 블록도는 다음과 같다.

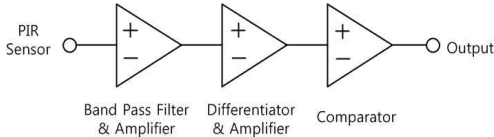


그림 7 PIR 센서 구동회로 블록도

PIR 센서의 내부에는 신호의 증폭을 위한 FET가 포함되어 있는데 센서의 출력신호를 MCU로 인가하기에는 μV 단위로 매우 작기 때문에 증폭기를 적용하였고 인체 감지를 알리는 주파수만을 필터링하는 BPF(Band Pass Filter)를 적용하였다. 하지만 증폭기를 거쳐도 그 신호의 크기는 mV 단위로 MCU에 인가하기 위해서 한번더 증폭기를 거친다. 이때 센서 출력에 오프셋을 적용하여 미분기로 신호를 인가한다. 끝단에는 인체를 감지했을 때 증폭된 신호가 일정 전압을 넘었을 경우에 high 신호와 low 신호를 공급할 수 있도록 비교기를 적용하여 구형파 형태의 신호로 MCU에 인가된다.

(2) CdS 센서

CdS 센서는 센서가 감지하는 빛의 양에 따라 전기 저항값이 변화하는 소자이다.

CdS 센서 구동회로는 그림 8과 같다.

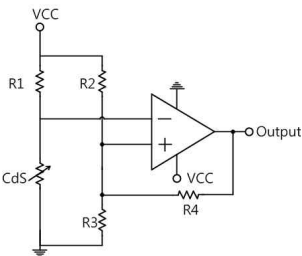


그림 8 CdS 센서 구동회로

저항 R1을 기준저항으로 연결하여 CdS의 저항값과의 전압분배를 통한 비교에 의해 주간인지 야간인지 판별한다. 이를 이용하여 PIR 센서가 인체를 감지하더라도 빛의 양이 충분한 주간이면 LED를 점등 시키지 않도록 구성하였다. 이때 저항 R1과 CdS 센서의 조도에 따른 저항값이 같아지는 지점에서 문제가 될 가능성이 있는데 이를 방지하기 위해 슈미트 트리거를 적용하였다. 슈미트 트리거는 저항 R4를 이용하여 positive feedback을 사용하였는데 이는 CdS 회로의 출력단의 high, low 신호를 구분짓는 경계에서 감도를 감소시키기 위함이다. 증폭기의 바이어스 5V 레벨중 3.5V 이상에

서는 high신호를 출력하고 1.5V이하에서는 low신호가 출력되도록 하여 안정된 동작을 구현하였다.

2.3 LED 센서등 동작 알고리즘

본 논문에서 제안하는 LED 센서등 동작 알고리즘은 그림 9와 같다.

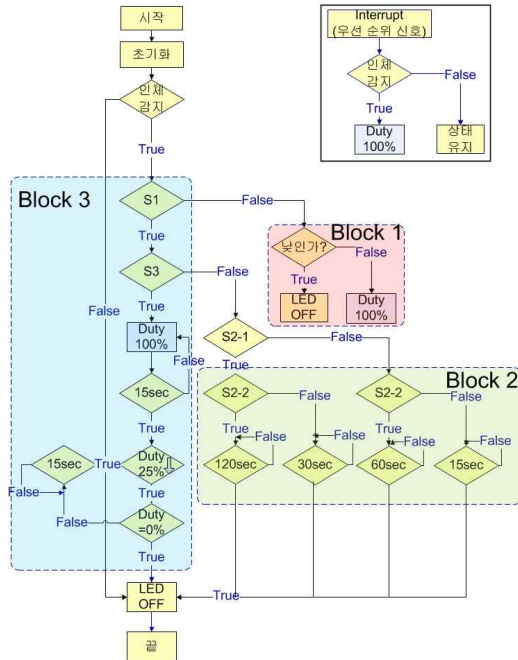


그림 9 LED 센서등 동작 알고리즘

위의 흐름도는 크게 세 블록으로 나눌수 있다. 첫 번째는 주간에도 LED를 점등할 것인지 또는 빛의 양이 충분하여 LED를 점등하지 않아도 시야 확보에 문제가 없다고 판단되어 주간에는 LED 구동회로의 전원을 차단하는 기능이다. 두 번째는 PIR 센서가 인체를 감지하여 LED가 점등된 후 일정 시간 인체 신호가 감지되지 않아 소등을 할 때 소등하기까지의 시간을 조절하는 기능이다. 세 번째 기능은 소등을 하는 과정에서 일정시간마다 LED 밝기를 줄여가며 소등하는 dimming 기능을 구현하였다. 4개의 각 스위치는 S1, S2-1, S2-2, S3로 표현하였다. S1은 주, 야간 판별 여부 스위치로 동작하고 S2는 소등 시간을 결정하는 스위치로 적용하였는데 4가지 종류의 시간을 인가하기 위해 스위치 2개를 사용하였다. S3은 LED를 소등하는 과정에서 밝기가 100%에서 0%로 단번에 바뀌는 일괄 소등과 100%에서 75%, 75%에서 50%, 25%에서 off상태로 순차적인 소등을 선택하는 스위치로 적용하였다.

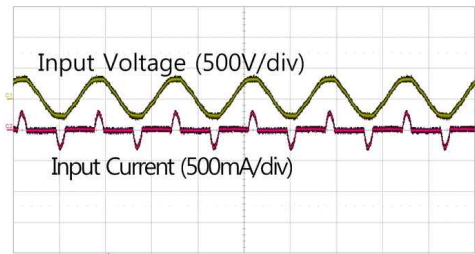
위의 흐름도로 프로그램을 코딩하여 LED 센서등 시스템에 적용하였다.

3. 실험결과

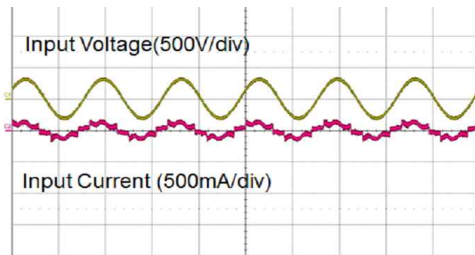
LED 센서등을 실제 구현하기 위해 다음의 소자를 사용하여 설계하였다.

표 2 LED 센서등 소자값

LED 구동회로		밸리필 회로	
R1	470KkΩ	D1,D2,D3	D1N4937
R2	12Ω	C1, D2	20uF
R _{sensing}	0.3Ω	CdS 구동회로	
C1	1uF	R1	20KΩ
L1	3mH	R2, R3	1KΩ
D1	D1N4148	R4	2KΩ
D2	UF3M		
Q1	IRF830		
Q2	2N2907		



(a) 밸리필 회로 미적용



(b) 밸리필 회로 적용

그림 10 밸리 필 적용에 따른 입력전압, 입력전류

위의 그림 10은 LED 센서등 시스템에 PFC 회로가 없는 경우와 있는 경우의 입력전압과 입력전류 파형을 나타낸다. 위의 PFC 회로가 없고 평활 커패시터만 있는 경우는 전류가 흐르지 않는 구간이 존재하며 흐르는 구간에 돌입전류가 존재한다. 반면 수동 PFC 회로인 밸리필을 사용한 아래의 파형

의 경우 전류의 불연속구간은 있지만 위의 파형보다 불연속구간이 감소한 것을 볼 수 있다. 돌입전류 또한 감소하여 전류 THD를 감소시켰다. 이를 비교하기 위해 측정된 결과는 표 3과 같다. 측정장비는 Xitron2551 power analyzer를 사용하였다.

표 3 밸리필 회로 유무에 따른 특성 비교

구분	유	무
역률	67%	92%
전류 THD	77%	27%

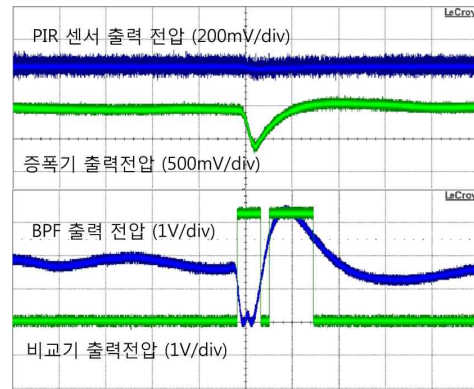


그림 11 센서 구동회로의 파형

위의 그림 11의 파형은 PIR 센서 구동회로에서 센서의 출력과 증폭기, BPF와 비교기의 출력 파형 나타낸다. PIR 센서를 이용하여 인체가 감지되면 센서 출력이 미세하게 변화하는데 이를 증폭기를 통해 약 200배 증폭시킨다.

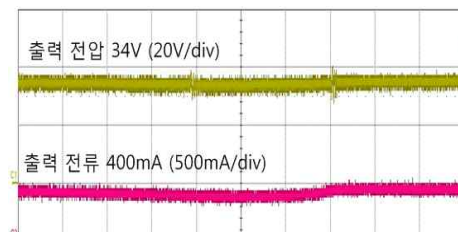


그림 12 LED 센서등 시스템의 출력전압, 출력 전류

그림 12의 파형은 출력 전압, 출력 전류를 나타낸 것으로 전압 34V를 LED 양단에 인가하고 전류는 정전류 400mA로 측정되었다.

그림 13은 프로그램을 통해 일정한 시간마다 듀티비가 감소하여 순차적으로 소등되는 과정의 출력전류를 나타낸다.

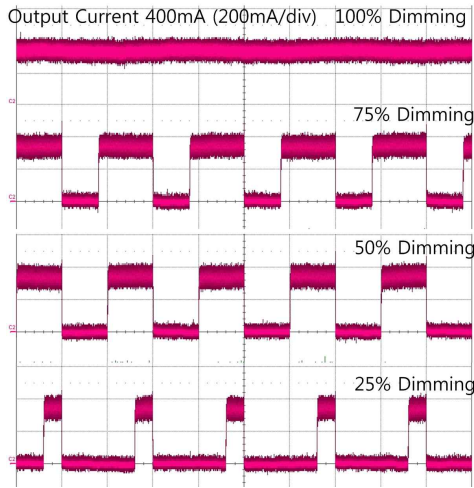


그림 13 디밍시 LED 출력전류

실험결과를 바탕으로 다음의 국제, 국내 표준과 비교하면 표 4와 같다.

표 4 국내, 국제 표준과의 역률과 THD비교

구분	PF	THD
SSL[2]	가정용 ≥ 0.70 산업용 ≥ 0.90	·
IEC 1000-3-2[8]	·	$3 \times \text{PF}$
KS	0.90	·
본 시스템	0.92	27%

미국의 SSL(Solid State Light)는 가정용과 산업용의 역률을 제시하지만 전류 THD 기준은 제시하지 않는다. 그에 반해 국제 전자기술위원회(IEC : International Electrotechnical Commission)의 표준인 IEC 1000-3-2는 역률에 따라 역률의 3배수한 값이 기준 전류 THD로 명시하고 있다[8]. 국내의 경우 역시 역률 0.9이상을 제시하고 있지만 THD는 명시되어 있지 않다[9].

4. 결론

본 논문은 PIR 센서와 CdS 센서를 사용하여 15W LED 센서등 시스템을 설계하고 수동 PFC 회로를 추가하여 역률 92%, 전류 THD 27%를 달성하였다. 저전력 시스템에 저가형 PFC인 밸리필 회로를 LED 센서등에 추가하여 비용이 크게 증가하지 않으며 국제 및 국내 표준에 적합한 역률과 THD를 갖는다. 또한 PIR 센서를 이용한 인체감지와 CdS 센서를 통한 주, 야간 구분 동작, 그리고

이를 구현하기 위한 MCU 알고리즘을 제안하여 LED 센서등 시스템을 개발하였다. 또한 향후 DSP 칩을 이용한 연구를 통하여 LED 구동장치와 센서 구동회로를 통합시켜 회로의 간소화가 가능할 것으로 기대한다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2011-C6150-1101-0002)

참고 문헌

- [1] 박종연, 유진완, 최왕섭, “PIR 센서와 정 전류 IC를 이용한 인체 감지형 POWER LED 구동 회로” *대한전기학회 하계 학술대회 논문집*, 2295-2296p, 2008.
- [2] *ENERGY STAR Program Requirements for Solid State Lighting Luminaires*.
- [3] *전기공급약관 시행세칙*, 한국전력공사 p.112, 2011.
- [4] *중소 기업을 위한 LED 조명 KS 인증 실무가이드북*, 한국 표준 협회, p.112, 2009.
- [5] 박종연, 조계현, “전자식 형광등용 역률 개선 회로의 특성 비교”, *산업기술연구소 논문집*, 제18집, 165-163p, 1998.
- [6] 박종연, 유진완, 최왕섭, “PIR 센서와 정 전류 IC를 이용한 인체 감지형 POWER LED 구동 회로” *대한전기학회 하계 학술대회 논문집*, 2295-2296p, 2008.
- [7] 유진완, 이학범, 박종연. “밸리 필 회로 및 부스팅 인덕터를 이용한 LED 구동회로의 역률 개선”, *강원대학교 산업기술연구소 논문집*, 31권, A호. p.103-107. 2011.
- [8] IEC 1000-3-2, Class-C.
- [9] KS C 7657