

논문 2014-51-7-10

# 전력소자를 사용한 LED 조명 디밍에 관한 연구

## ( A Study on LED Light Dimming using Power Device )

김 동 식\*, 채 상 훈\*\*

( Dong-Shik Kim and Sang-Hoon Choi<sup>Ⓢ</sup> )

### 요 약

주위 밝기 및 환경에 따라서 LED 조명등의 밝기를 조절하기 위한 장치를 PWM 기술과 전력 소자를 이용하여 구현하였다. 주위의 광량 측정을 위하여 CdS 센서를 사용하였으며, PWM 신호 생성을 위하여 MCU를 사용하여 제어 보드를 설계한 다음 광량에 따라 듀티비를 조절하였다. 고전압, 대전류를 필요로 하는 LED 조명등을 디밍하기 위하여 전력 소자를 사용하여 DC 전원장치의 출력을 스위칭하였으며, PowerMOSFET, IGBT, PowerBJT를 각각 사용하여 특성을 서로 비교하였다. 실험결과 선형성 면에서는 IGBT가 양호하였으나, 효율 및 가격 면까지 고려하면 PowerBJT도 우수한 특성을 보였다.

### Abstract

An LED lighting which adjusted brightness according to the surround ambient implemented using PWM technology and power devices. To measure the brightness of surround ambient a CdS sensor was used. A control board for the generation of the PWM signal was made using a MCU and duty ratio was controlled according to light intensity of surround ambient of the system. To drive the LED lamps which require high-voltage and high-current power devices were used for switching the DC power supply. Measurement results show that the IGBT is excellent as only linearity but the PowerBJT is more good to consider to efficiency and cost.

**Keywords :** PWM, LED, Dimming, 전력소자, PowerMOSFET, IGBT, PowerBJT

## I. 서 론

고유가 시대, 환경오염의 심각화가 대두되는 요즘 소비전력을 줄이고 효율을 높인 친환경적인 제품이 각광 받고 있다. 이러한 제품의 대표적인 예로써 LED를 사용한 조명등이 있다. LED 조명은 그린에너지에 해당하는 제품이지만 주변 환경에 따라 LED의 밝기가 조절되지 않는다면 친환경적인 제품으로 사용하는 의미가

희석될 뿐만 아니라 나아가서 LED 램프의 사용 수명도 짧아진다. 그러므로 효율적인 소비전력 관리와 LED의 긴 수명시간 보장을 위해서는 주변 환경의 밝기 또는 사람이나 차량의 존재 유무에 따라 LED의 밝기를 조절하여 절전을 할 필요가 있다<sup>[1]</sup>.

100W 이상의 LED 조명은 수 개 또는 수십 개의 LED가 어레이 방식으로 연결된 LED 램프와 이를 구동하는 DC 12~48V 정전압 및 수 A의 정전류를 갖는 전원장치로 이루어진다. LED 전원장치는 일반적으로 SMPS 형태로 구성되며 디밍(dimming)을 위하여 전원장치 자체에 전류를 조절할 수 있는 기능을 추가하여 제작하기도 한다<sup>[2]</sup>. 그러나 이 방식은 전류 조절을 위한 외부 제어회로가 필요할 뿐만 아니라 디밍을 할 수 있는 범위도 대체적으로 좁은 문제가 있다.

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 호서대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Engineering, Hoseo University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: shchai@hoseo.edu)

※ 이 논문은 2013년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비를 지원을 받아 수행된 연구임.(2013-0058)

접수일자: 2014년03월12일, 수정일자: 2014년05월30일

수정완료: 2014년07월01일

본 연구에서는 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용하여 LED 조명등의 밝기를 조절하고 절전을 달성할 수 있는 LED 조명 디밍 회로를 설계하였다. 이 회로는 광센서에 의해 측정된 조명등 주변의 광량 데이터를 판별하여 프로세서(MCU)를 이용하여 PWM의 듀티비(duty ratio)를 조절하는 방법을 사용한다<sup>[3]</sup>.

한편, 가로등이나 보안등과 같은 고출력 LED 조명등의 전원장치는 수십 볼트 수 암페어 이상의 대전력에 의해 구동되므로 출력단에는 PWM 구동을 위한 전력 스위칭 회로가 필요하다. 그런데 전력 스위칭 회로에 기존의 점접식 릴레이를 사용하면 동작속도나 수명 측면에서 부적합하므로 반도체 전력소자를 주로 사용한다. 본 연구에서는 반도체 전력소자로서 Power MOSFET(PWMOS), IGBT, PowerBJT(PWRBJT)를 각각 사용하여 전력 스위칭 회로를 구성한 다음 각 소자별 구동 특성을 서로 비교함으로써 LED 조명등의 밝기를 조절하고 전력을 절감하는데 있어서 보다 효율적인 전력소자를 알아보려고 하였다<sup>[4-6]</sup>.

## II. LED 조명 디밍장치의 구성

### 1. PWM 제어부의 구성

그림 1은 LED 조명등 디밍을 위한 PWM 제어부의 구성을 개략적으로 나타낸 블록도이다. 주변 환경의 밝기를 측정하기 위하여 광센서로는 CdS 센서를 사용하며, 광량에 따라 변화되어 출력되는 센서의 전압 값을 MCU에 내장된 A/D 변환기에 입력한다. 입력된 전압은 디지털 값으로 변환되어 처리되며, 값의 범위에 따라 PWM 신호의 듀티비가 다르게 결정된다. 듀티비는 주변 환경의 밝기에 따라 100~0%의 범위로 결정된다. PWM 신호의 출력 주파수는 MCU에 내장된 타이머(TIMER2)에 의하여 결정되며, PWM 주기는 주파수의 역수로 계산된다. 이 제어부에서의 PWM 주기는

$$(T2\_PR+1)*4*TOSC*(T2\_PV) \tag{1}$$

로 정의된다. 실제 실험에서는 T2\_PR 레지스터(Timer2 Period Register)의 값은 255(0xFF), 4는 내장된 프리스케일러(prescaler)의 기본 분주비, TOSC는 수정발진기 클럭 주파수인 20MHz의 역수이며, T2\_PV(TIMER2 Prescale Value)는 16으로 설정하여 일반적으로 많이 사용하는 주파수 대역인 1.2207KHz의 PWM 신호가 출

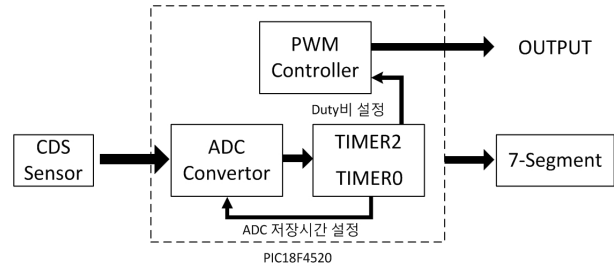


그림 1. PWM 제어부 구성 블록도  
Fig. 1. Block diagram of PWM Control part.

력되게 하였다. 정확성을 확보하기 위하여 0.5초 마다 광량을 측정 후 누적된 값을 10초마다 측정된 횟수 20으로 나누어 평균값을 계산한 다음 듀티비를 결정하였으며, 시간지연을 두어 데이터 값이 단시간 내에 바뀌는 것을 방지하였다. 또한 PWM 듀티비가 변경되는 것을 눈으로 확인하기 쉽게 하기 위하여 7-Segment를 사용하여 듀티비 크기를 구간 별로 표시하였다.

### 2. 전력소자 구동 회로의 설계

그림 2는 본 연구에서 구성한 LED 조명등 디밍회로의 블록도이다. 대전력 소자인 PWMOS나 IGBT, PWRBJT를 전력 스위칭 용도로 사용하기 위해서는 차단(cut-off)영역과 포화(saturation)영역에서 동작할 수 있도록 동작 조건을 맞추어 주어야 한다. 포화 영역에서의 동작이 보장되는 PWMOS의 게이트(gate)-소스(source) 또는 IGBT의 게이트-에미터(emitter) 전압은 대략 10V 이상이며, 수십 mA 이상의 큰 전류도 필요하므로 MCU에서 출력되는 0 또는 5V의 PWM 신호로는

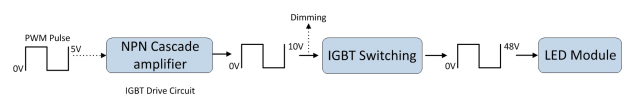


그림 2. IGBT 구동 회로 구성 블록도  
Fig. 2. Block diagram of IGBT operation circuit.

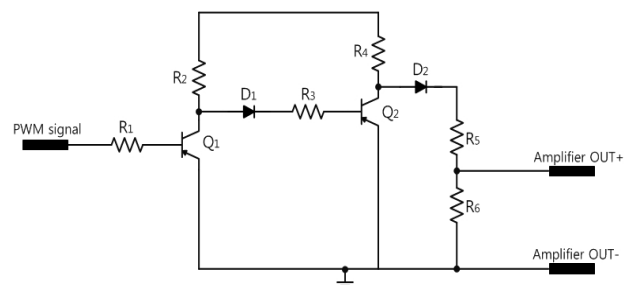


그림 3. 설계된 PWRMOS/IGBT 드라이버 회로  
Fig. 3. Designed PWRMOS/IGBT driver circuit.

구동이 불가능하다. 따라서 10V 이상의 게이트-소스 또는 게이트-에미터 전압을 안정적으로 인가해 주기 위하여 그림 3과 같이 BJT 트랜지스터를 사용하여 PWRMOS 또는 IGBT 게이트 드라이브 회로를 구성하였다. 설계된 회로는 전압 및 전류를 구동하기 위한 저항과 NPN 트랜지스터로 구성된 2단 증폭기 형태이다. MCU의 PWM 출력을 입력받는 NPN 트랜지스터는 에미터 공통(common-emitter) 구조를 갖는다. 에미터 공통 증폭기의 출력은 입력과 180도 위상차를 가지므로 높은 전압(10V)에서 턴온되는 NMOS와 IGBT의 게이트를 제어하기 위해서는 동위상의 신호를 복원하여야 한다. 이를 보완하고 전류를 증가시키기 위하여 NPN 공통 에미터 증폭기를 하나 더 결합하여 종속접속 증폭기(cascade amplifier)방식의 회로를 구성하였다. 완벽한 풀스윙(full swing) 스위칭 동작을 위하여 출력단 PWRMOS 또는 IGBT 스위칭회로는 그림 4와 같이 소스 또는 에미터 공통 구조로 구성을 하였으며, 48V 3A 이상의 대전력 PWM 출력과 함께 빠른 동작속도특성을 얻기 위하여 연결되는 각 R, C들의 값을 최적화하였다. 그러나 PWRBJT의 경우는 2단으로 구성된 다알링톤(Darlington) 형태의 높은 전류이득을 갖는 전력소자가 출시되어 있으므로 그림 3의 회로를 사용하지 않고 MCU의 5V PWM 출력 신호를 이용하여 전력소자를 직접 구동하였다.

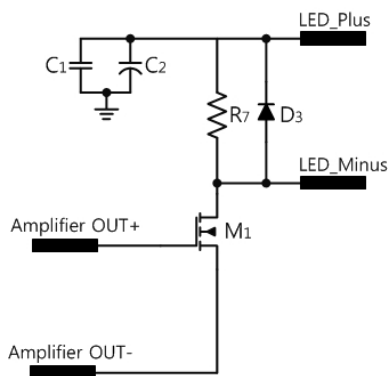


그림 4. 설계된 PWRMOS/IGBT 동작 회로  
Fig. 4. Designed PWRMOS/IGBT circuit.

### III. 실험 및 분석

그림 5는 본 실험을 위하여 제작한 LED 조명등 디밍 회로이며 DC 전원장치와 LED 램프 사이에 위치한다.

전원장치는 SMPS 형태의 DC 48V, 3.2A 전류용량의 디밍 기능이 없는 일반적인 제품을 사용하였으며, LED 램프는 150W 급 조명용을 사용하였다. 표 1, 2, 3은 PWRMOS, IGBT, PWRBJT를 각각 전력소자로 사용했을 때의 LED 조명 시스템의 동작특성들을 종합한 것이다. 전력, 전류를 비롯한 각종 전기적 특성은 DC 전원

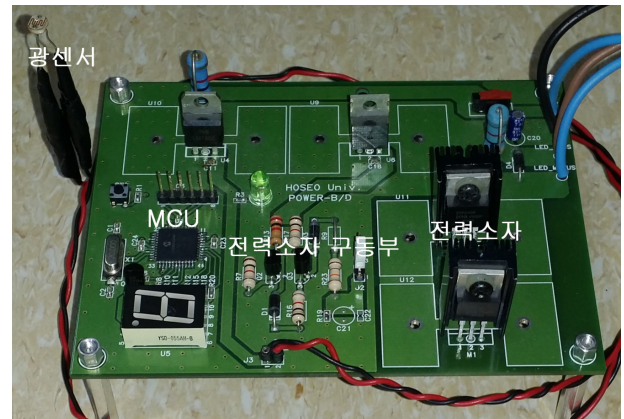


그림 5. 제작된 LED 디밍 회로  
Fig. 5. Assembled LED Dimming circuit.

표 1. PWRMOS 시스템 특성  
Table 1. Characteristics of PWRMOS system.

FND	Duty	전력 (W)	전류 (A)	조도 (Lux)	DC전압(V)	COS $\theta$
1	3	11	0.15	800	46.8	0.33
2	5	20	0.17	2200	49	0.52
3	10	43	0.26	6700	51	0.73
4	20	95	0.45	14800	51.7	0.94
5	30	158	0.72	23000	51.8	0.97
6	50	147	0.67	28100	47.8	0.98
7	70	152	0.70	32900	45.8	0.97
8	100	153	0.70	37900	52.1	0.97

표 2. IGBT 시스템 특성  
Table 2. Characteristics of IGBT system.

FND	Duty	전력 (W)	전류 (A)	조도 (Lux)	DC전압(V)	COS $\theta$
1	3	9	0.13	200	41.9	0.31
2	5	15	0.15	800	45.2	0.36
3	10	24	0.19	3500	46.2	0.59
4	20	60	0.31	10100	48.5	0.82
5	30	102	0.49	17900	49.6	0.94
6	50	152	0.69	27900	48.1	0.98
7	70	155	0.7	32500	46.5	0.98
8	100	156	0.71	38000	52.2	0.98

표 3. PWRBJT 시스템 특성  
Table 3. Characteristics of PWRBJT system.

FND	Duty	전력 (W)	전류 (A)	조도 (Lux)	DC전압(V)	COS θ
1	3	15	0.15	1900	47.4	0.44
2	5	21	0.17	3000	47.4	0.52
3	10	33	0.23	6100	47.2	0.64
4	20	58	0.32	11900	47.0	0.81
5	30	82	0.40	17700	47.2	0.91
6	50	138	0.63	28800	46.8	0.97
7	70	167	0.77	37300	45.4	0.99
8	100	161	0.74	43500	48.0	0.98

장치, 전력소자를 내장한 PWM 디밍 제어기, LED 조명등을 포함한 전체 시스템에 대하여 측정하였으며, 조도는 조명등으로부터 1m 거리에서 동일한 조건으로 LED용 조도계를 사용하여 측정하였다. DC 전압은 시스템 동작 시 LED 전원장치의 출력단 전압을 나타낸 것이며, COSθ는 소비전력의 역률을 나타내는 것이다<sup>[3]</sup>. 표에서 보듯이 사용된 전력소자의 종류에 따라 듀티비에 따른 전력, 전류, 조도 등 모든 전기적 특성이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 PWM 주파수 및 듀티비에 따라서 각 전력소자의 동작특성이 다르기 때문이며, 각 전력소자의 고유 응답특성에 기인한다. 그림 6, 7, 8은 듀티비 30%일 때의 전력소자의 종류에 따른 출력 응답특성을 나타낸 것으로 전압 및 상승시간, 하강시간이 각각 다르게 나타났다. 즉, 전압 Vmax는 PWRMOS가 53.6V, IGBT가 50.0V, PWRBJT가 49.6V로 나타났으며, 상승 및 하강시간도 PWRMOS가 가장 길고 PWRBJT가 가장 짧게 나타났다. 이는 각 전력소자 내에서의 전자 및 홀의 이동 메커니즘이 서로 달라서 이로 인한 입출력 임피던스가 서로 다르기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 그중에서도 특히 PWRMOS는 입력 임피던스와 출력 임피던스 모두 크기 때문에 전압과 상승 및 하강시간이 모두 커져서 전력소비도 크게 나타나는 것으로 판단되며, PWRBJT는 거의 반대의 특성이 나타났고, IGBT는 중간 정도의 특성을 보였다. 듀티비 변화에 따른 각 소자별 특성을 살펴보면 듀티비가 클 경우에는 PWRBJT의 전류가 다른 소자에 비해 10% 정도 커서 전력소모가 많다. 그러나 조도 역시 10% 정도 큰 것으로 나타났다. 듀티비가 중간쯤일 때는 오히려 IGBT나 PWRMOS가 전력소모가 많고 조도는 비슷하였으나, 듀티비가 작을 때는

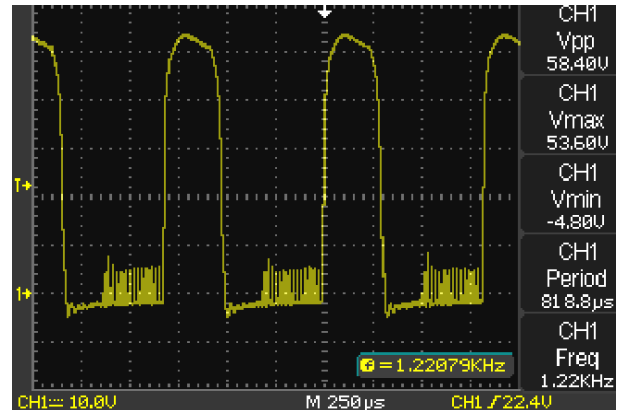


그림 6. 듀티비 30%에서의 PWRMOS PWM 출력  
Fig. 6. PWRMOS PWM output signal of 30% duty cycle.

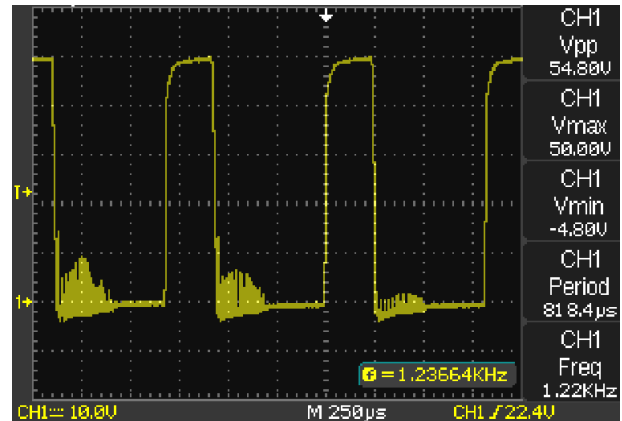


그림 7. 듀티비 30%에서의 IGBT PWM 출력  
Fig. 7. IGBT PWM output signal of 30% duty cycle.

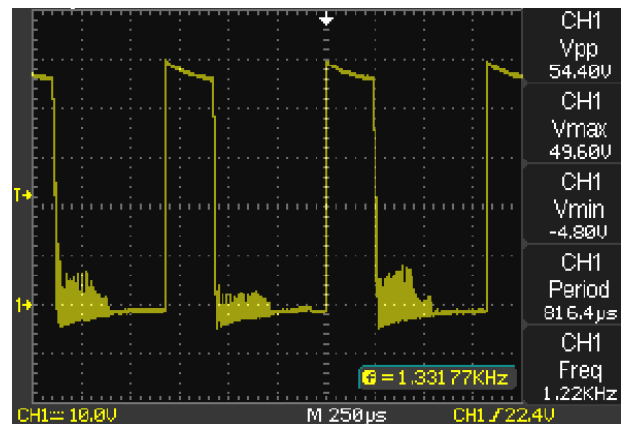


그림 8. 듀티비 30%에서의 BJT PWM 출력  
Fig. 8. PWRBJT PWM output signal of 30% duty cycle.

PWRMOS의 전력소비 및 조도가 더 크게 나타났다. 그리고 듀티비가 20% 이하일 때는 세 소자 모두 역률이 급격히 나빠지는 현상이 나타나므로 특별한 경우를 제

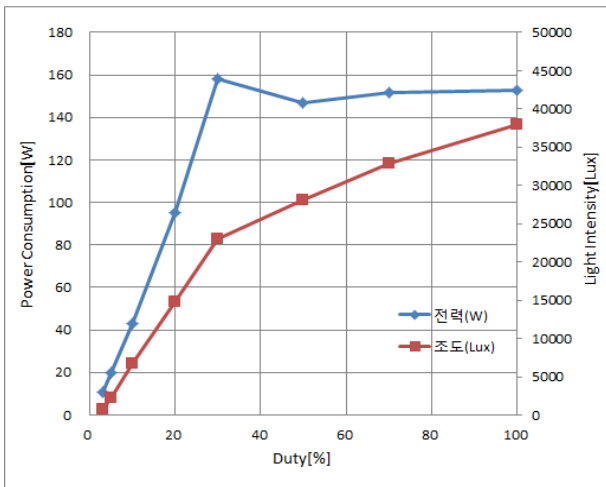


그림 9. PWRMOS의 전력소비 및 조도 특성  
Fig. 9. Power consumption and light intensity of PWRMOS.

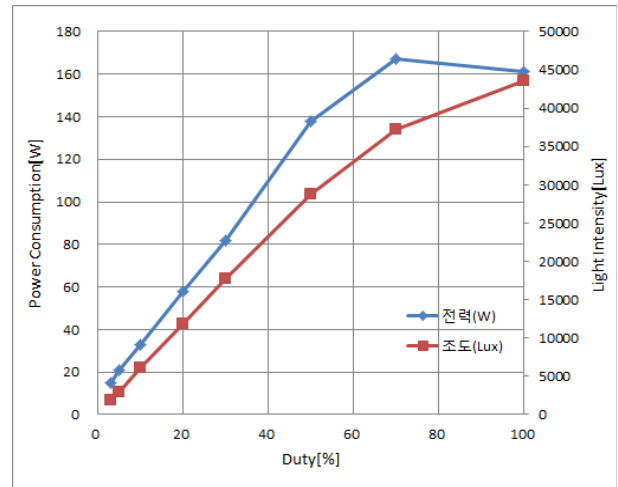


그림 11. PWRBJT의 전력소비 및 조도 특성  
Fig. 11. Power consumption and light intensity of PWRBJT.

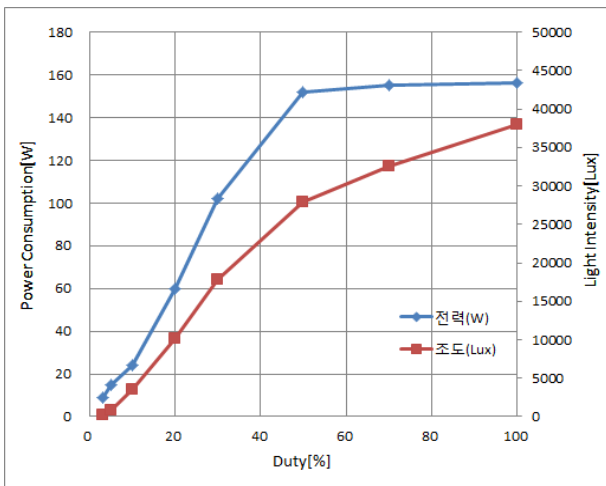


그림 10. IGBT의 전력소비 및 조도 특성  
Fig. 10. Power consumption and light intensity of IGBT.

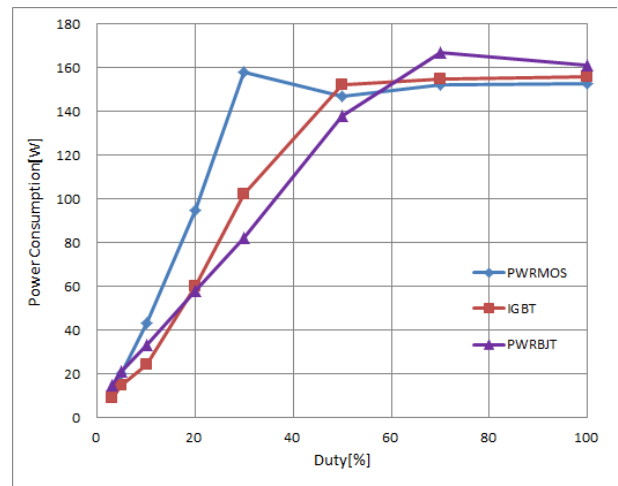


그림 12. 전력소자에 따른 전력소비 특성  
Fig. 12. Power consumption as power devices.

의하고는 이 구간을 사용하지 않는 것이 바람직하다. 그림 9, 10, 11은 전력소자의 종류에 따른 전력 및 조도 특성을 나타낸 것으로 듀티비에 따라 전력 및 조도가 비선형적으로 나타났다. 특히 PWRMOS의 경우는 30%의 듀티비에서 전력이 급격히 증가하는 특성이 나타났으며, PWRBJT의 경우도 70%부근에서 미약하지만 비슷한 현상이 나타났다. 이는 듀티비의 변화에 따라 전력소자 내에서의 고유 응답특성이 변하기 때문에 발생하는 현상으로 해석된다. 그러나 조도특성은 전력소모 특성에서 나타나는 특이점과 관계없이 비교적 선형적인 동작특성을 보였다. 실험결과 전력소모 및 조도특성만 볼 때는 IGBT를 사용한 시스템이 가장 무난한 특성을

보였다. 그림 12와 13은 각 전력소자의 전력소비 및 조도특성을 서로 비교하여 보여준다. 그림 12에서 보듯이 PWRBJT가 선형성 면에서는 가장 우수하지만 듀티비 70% 부근에서 듀티비의 감소에도 불구하고 소비전력이 오히려 증가하는 현상이 나타났으며, 반면에 IGBT는 비교적 무난한 특성을 나타내었다. 그림 13에서 보듯이 조도 특성에 있어서는 PWRMOS나 PWRBJT가 듀티비가 클 때 또는 작을 때 서로 상반되는 특성을 보였으나, IGBT는 PWRMOS나 PWRBJT의 특성을 합한 것과 유사한 무난한 선형성을 나타내었다. 그러나 표 1, 2, 3에서 보듯이 DC 전압 변동 및 역률(COS $\theta$ ) 면에서는 IGBT가 PWRMOS나 PWRBJT에 비해 오히려 취약한

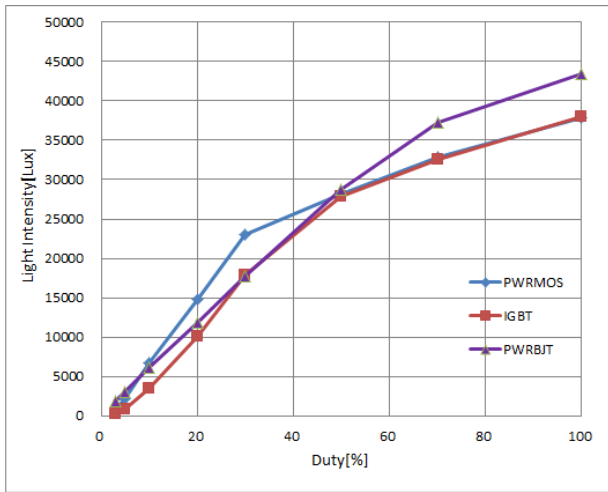


그림 13. 전력소자에 따른 조도 특성  
Fig. 13. Light intensity as power devices.

특성을 보였다. 이는 IGBT가 입력단은 MOSFET, 출력단은 BJT 구조를 이루므로 두 소자의 단점 특성들이 모두 부각되기 때문에 나타나는 것으로 분석된다. 따라서 선형성이 중요한 전기적 특성만 고려하면 IGBT가 우수하나, 전력 대비 효율과 같은 다른 특성들까지 고려하면 PWRBJT나 PWRMOS가 더 유리할 수도 있다. 그런데 시스템의 양산을 고려하면 제작 원가도 매우 중요한 요소이므로 그림 3과 같은 구동회로가 필요 없고 IGBT에 비해 가격이 1/3정도에 불과한 PWRBJT가 적합한 전력소자로 볼 수 있다. 이에 비해 PWRMOS는 분주비의 감소에도 불구하고 전력소모가 오히려 크게 증가하는 구간이 존재하여 사용에 문제가 있었다.

한편, 그림 6, 7, 8에서 PWM 0V 일부 구간에서 잡음이 발생하는 특성이 나타났으며, 이는 주변 소자나 PCB 기판에서 발생하는 R, C 기생성분을 통하여 MCU에서 사용하는 클록에 의한 디지털 신호가 커플링되어 유입되는 현상으로 분석된다. 이 문제는 PCB 사이즈를 줄여서 R, C 기생성분을 줄이고, 잡음 바이패스 필터회로를 추가하면 해결될 것으로 본다.

#### IV. 결 론

광센서 및 PWM 제어기술을 이용하여 주변환경의 밝기에 따라 LED 디밍 조절 및 절전이 가능한 회로를 설계하였다. 또한 고전압, 대전류를 필요로 하는 LED 조명을 제어하기 위해서 전력소자를 사용한 스위칭 회로를 구현하였다. PWRMOS, IGBT, PWRBJT를 사용

하여 전력 스위칭 회로를 각각 구현한 결과 전력 및 조도특성 만으로 볼 때는 IGBT가 우수한 것으로 나타났으나, 구동회로의 단순성과 소자 자체의 가격을 고려할 때는 오히려 PWRBJT가 더 유리한 것으로 나타났다. PWRMOS는 특정 분주비에서 전력소모가 크게 증가하는 구간이 존재하여 사용에 문제가 있다.

본 연구에 의한 LED 조명 시스템은 주위 환경에 따라 LED 조명등의 밝기를 조절할 수 있으므로 주택이나 사무실 및 관공서에 설치된 실내등뿐만 아니라 도로나 실외에 설치된 가로등이나 보안등의 효율적인 사용 및 전력절감에 크게 이바지 할 수 있을 것이다.

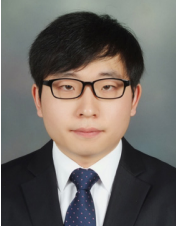
#### Acknowledgement

본 연구는 IDEC의 일부 CAD tool 지원으로 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- [1] S. B. Song, "Technologies and goods of LED lights," *J. of KIIEIE*, vol. 2, no. 5, pp. 19-28, Sep. 2011.
- [2] B. S. Lee, Y. S. Kim, "A study of lighting fixtures power supply that use current control", *J. of IEEK SD*, vol. 49. no. 11, pp.193-198, Nov. 2012.
- [3] Gacio D, Alonso J. M, Garcia J, Campa L, "High frequency PWM dimming technique for high power factor converters in LED lighting", *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, pp.743-749, 2010.
- [4] Chanho Park, Kwyro Lee, "Shallow Saturation and Fast Switching Characteristics of the Power BJT with Corrugated Base Junctions", *Solid-State Device Research Conference*, pp.259-262, 2001.
- [5] S. J. Finney, B. W. Williams, T. C. Green, Heriot-Watt, "IGBT Turn-off Characteristics and High Frequency Application", *Electron Devices, IEE*, pp.5/1-5/4, 1994.
- [6] Adler, M. S, Owyang, K. W, Baliga, B. Jayant, Kokosa, R. A, "The evolution of power device technology", *Electron Devices, IEEE Transactions on Vol.31, Issue.11*, pp.1570-1591, 1984.

— 저 자 소 개 —



김 동 식(학생회원)  
2011년 호서대학교 전자공학과  
전자공학사 졸업  
2013년 현재 호서대학교  
전자공학과 석사 졸업  
2014년 현재 호서대학교  
전자공학과 박사과정

<주관심분야 : RF용 PLL 회로 설계, LED 조명  
시스템, 태양전지>



채 상 훈(평생회원)-교신저자  
1981년 경북대학교  
전자공학 과 학사 졸업  
1983년 부산대학교  
전자공학과 석사 졸업  
1992년 부산대학교  
전자공학과 박사 졸업

1983년 3월~1997년 8월 한국전자통신연구원  
반도체 연구단 책임연구원

2004년 9월~2006년 8월 University of Florida  
연구교수

1997년 9월~현재 호서대학교 전자공학과 교수  
<주관심 분야 : RF 아날로그 ASIC 설계, LED  
조명시스템, 태양전지, 전력소자 설계 및 공정>