해양환경안전학회지 제16권 제2호 pp. 235-240, 2010. 6. 30 (ISSN 1229-3431)
Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety

백열전구 대체용 7W급 LED 램프의 드라이버 설계

박영산* · 배철오**
*, ** 목포해양대학교 기관시스템공학부

Design of the Driver of 7W Class LED Lamps as a Substitute for Incandescent Lamps

Young-San Park* · Cherl-O Bae**
*, ** Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 백열전구를 대체하기위한 친환경 에너지 절약형 7W급 LED 램프의 구동을 위한 전원장치를 설계하였다. LED 램프는 칩 LED를 여러개 직·병렬로 연결하여 사용하게 되므로 적합한 직류 전압과 전류를 공급하여야 한다. 그런데 LED 램프는 상용 AC 220V 전원에 직접 연결해 사용하게 되므로 드라이버에는 전압제어와 전류제어가 포함된 AC/DC, DC/DC 전력변환기가 반드시 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 램프의 LED 열에 따라 출력전압과 전류제어가 가능하며 변압기가 없는 간단한 구조의 LED 램프 드라이버를 설계하였다.

핵심용어 : LED 램프, AC/DC 정류기, DC/DC 컨버터, 전압제어, 전류제어, 백열전구

Abstract : *In order to substitute incandescent lamps, a power supply device for 7W class LED lamps which are environmentally friendly and energy saving is designed. LED lamps consist of a multitude of chip LED connected in parallel and series. Thus it is necessary to supply LED lamps with DC voltage and current. However, when LED lamps are in use, they are connected directly to AC 220V. This is why we need to have AC/DC, DC/DC power converters including a control system of voltage and current. For this, a transformerless and simple LED lamp driver is designed which can control the current and output voltage for LED string of LED lamp.*

Key Words : *LED lamp, AC/DC fectifier, DC/DC converter, Voltage control, Current control, Incandescent lamp*

1. 서 론

에디슨의 백열전구 개발이후 많은 종류의 램프가 개발되어 왔으며 용량과 용도에 따라 다양한 빛으로 실생활과 산업현장에서 유용하게 사용되고 있다. 그 중에 역사가 가장 오래된 백열전구는 효율이 낮고 저 탄소 그린에너지 시대의 등기구로는 맞지 않아 다른 램프로 많이 대체되어 사용되고 있으며 LED 램프의 개발도 활발해지고 있는 추세이다. 유럽에서는 이미 백열전구의 사용을 멈추기로 하였으며 머지않아 우리나라에서도 퇴출되리라 생각된다. 백열전구의 대체용으로 가장 유망한 것이 바로 LED 램프이다. 물론 백열전구뿐 만 아니라 여러 가지 등기구들이 LED를 이용한 램프로 교체를 시도하고 있으며 우리나라에서도 앞으로 몇 년간 수 조원이 LED 램프 개발과 사용에 투자될 계획이다(http://www.kiic.or.kr/servlet/, 2009). LED 조명은 백열등 대비 75[%]. 형광등 대비 40[%]의 에너지를 절감할 수 있다고 알려져 있다(The advanced semiconductor magazine, 2006). 더구나 LED 램프는 CO2 배출저감, 무수은 등 친환경적이어서 미래의 조명으로 각광받고 있으며 각국이 기술선점을 위해 노력하고 있다. 최근 들어 고휘도 LED(HBLED)의 개발이 가능해짐으로써 LED 램프의 개발은 더욱 활기를 띄고 있으며, HBLED가 미래 LED램프의 전망을 한층 밝게 하고 있다(Mills, 2003; Huang et al., 2009). 하지만 LED 램프는 고성능 LED 소자의 개발과 더불어 MCPCB(Metal Core Printed Circuit Board), 복잡한 제어회로 그리고 냉각시스템 설계가 필요하여 기존 제품보다 가격이 10배 이상 비싸므로(Song and Yeo, 2007) 가격 경쟁력을 위한 지속적인 노력과 정부의 정책적 지원이 없이는 세계시장에서 경쟁력을 갖추기가 쉽지 않을 것으로 보인다.

세계 조명제품 수요는 유럽이 36[%], 미국 27[%], 일본 13[%], 중국을 포함한 국가가 24[%] 등으로 주로 유럽과 미국에서 많은 비중을 차지하며 조명 생산업체는 오스람과 GE가 56[%], 도시바 등 일본 업체가 15[%] 등으로 편중되어 있어(http://www.kiic.or.kr/servlet/, 2009; http://www.philips.co.kr/기술자료/, 2009) LED 조명에 있어서 기술선점이 시급하다.

본 논문은 7W급 백열전구 대체용 LED 램프의 개발에 관한 것이다. LED 램프의 구성은 AC/DC 정류부, DC/DC 전력변환부와 필터부 그리고 방열부 등으로 크게 나눌 수 있다. 펄스 트

* 대표저자 : 정회원, sesapark@mmu.ac.kr, 061-240-7221

랜스가 없는 구조로 설계하여 상용주파수 변압기를 사용한 선형시스템이나 고주파수 변압기를 사용한 시스템보다 소형화와 가격 면에서 유리하고 효율을 높일 수 있었다. 정전압, 정전류 제어 방식을 채택하여 드라이버 부분은 다양한 형태와 기능의 다른 LED 램프의 개발에 응용이 가능하도록 설계하였다.

2. 전력변환부 설계

2.1 설계사양

상용전원인 AC220[V]를 사용하여 LED 램프 구동에 적합한 DC 전압과 전류로 제어를 하기위해서는 상용 교류전원의 정류와 DC/DC 변환이 반드시 필요하게 된다. 7W급 LED 전구 개발기준은 Table 1과 같고 사용된 칩 LED의 특성은 Table 2와 같다(http://www.arcriche.com/technical data sheet/kwt728s/, 2009) Fig. 1은 7W급 LED 램프의 드라이버 전체 회로도이다.

Table 1. Criteria of development

Item	Criteria
Rectifier input	General AC power
Rectifier output	DC140 ~ 400[V]
Output voltage	DC23 ~ 31[V]
Output current	240 ~ 360[mA]
Output power	7[W]

Table 2. Characteristics of white LED

I_F[mA]	V_F[V]			View Angle	Luminous Intensity[mcd]	
	MIN	TYP	MAX		MIN	MAX
90	2.9	3.2	3.5	120	4700	7000

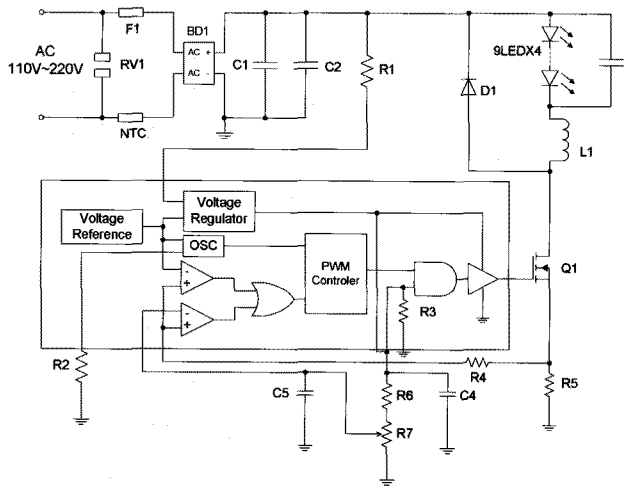


Fig. 1. Schematic diagram of LED lamp driver.

2.2 정류부

LED 램프를 위한 전력변환을 하는데 있어서 주안점에 두어야 할 것은 여러 가지가 있겠으나 그 중에 가장 중요한 것은 효율과 사이즈와 더불어 가격 경쟁력일 것이다. 따라서 정류부는 가장 간단한 브리지 정류기를 사용하였고 정류기 앞단에 돌입전류 차단과 서지방지를 위한 필터를 채용하였다. 정류기는 입력전압과 출력용량을 고려하여 600[V]/1[A] 용량의 브리지 다이오드가 내장된 칩형의 정류기를 선택하였다. 정류기 출력단의 전압평활을 위해서는 전해 콘덴서를 사용하였다. 콘덴서 용량이 클수록 평활은 잘되겠지만 그렇게 되면 큰 돌입전류가 흐르게 되므로 용량에 적합한 크기의 콘덴서를 선정하는 것이 좋다[8]. 본 실험에서는 식 (1)과 같은 기준에 의해서 콘덴서 용량을 선정하였다.

$$C_1 \geq \frac{V_{omax} \times I_{omax}}{(2V_{acmin}^2 - V_{dcmin}^2)\eta f_{ac}} \quad (1)$$

(단, η : 효율, f_{ac} : AC입력 주파수, V_o, I_o : 출력전압, 전류)

일정주파수 스위칭주파수에서 회로의 안정을 위해서 정류기 출력단 전압은 LED열 전압의 2배 이상이어야 하므로(Winer, 2008; ドランジスタ技術編輯部, 2008) 약 62V이나 제작하고자 하는 LED 램프는 상용전원의 사용을 목적으로 하므로 최소 AC전원을 100[V]로 하여 실험하였다.

$$V_{dcmin} = 2 \times V_{omax} = 2 \times 31 = 62[V] \quad (2)$$

주파수는 60[Hz], 효율은 90[%] 이상을 목표로 하였다. 조건을 고려해 계산한 C_1값은 약 7.5[μF]이었으나 좀 더 양호한 평활을 위하여 20[μF] 전해 콘덴서를 사용하였다. 콘덴서 정격전압은 입력교류전압의 최대치 이상이어야 하므로 식 (3)에 의해 311[V] 이상이어야 하나 서지전압을 고려하여 400[WV]의 것을 사용하였다.

$$V_{maxcon} \geq \sqrt{2} \times V_{acmax} \quad (3)$$

$$C_{1WV} \geq 311[V]$$

(단, V_{maxcon} : C_1에 걸리는 전압, C_{1WV} : C_1 정격전압)

2.3 필터부

정류기 입력 측에는 서지전압과 돌입전류의 제한을 위한 필터를 설치하였다. 서지전압의 방지를 위해서는 배리스터를 이용하였으며, 돌입전류의 제한을 위해서는 써미스터(NTC)를 사용하였다.

정류기 출력 측에는 저주파 평활을 위한 C_1외에 고주파수 리플전류 흡수를 위한 콘덴서 C_2를 C_1과 병렬로 두었다. C_1의 높은 등가직렬저항(ESR)으로 인하여 고주파 리플전류 흡수가 어렵게 되므로 C_2를 병렬로 둠으로써 고주파 리플전류를

흡수할 수 있도록 하였다(Winder, 2008). C_2 용량은 스위칭 주파수와 출력전류 및 V_{dcmin}을 고려하여 0.33[μF]으로 실험을 통하여 선정하였다.

2.4 DC/DC 변환부

2.4.1 L_1 설계

LED 부하단에서 허용할 수 있는 전류리플을 ±15[%]로 가정했을 때 최대리플전류는 출력전류의 30[%]가 된다. 전류변화에 의해서 인덕터에 생기는 역기전력은 식 (4)와 같다.

$$E = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} \tag{4}$$

회로에서 MOSFET가 비도통일 때 L_1에 저장된 에너지가 LED열로 전달되므로 LED열 양단의 출력전압은 코일 L_1의 역기전력과 같게 된다.

$$E = V_{LED} = V_{omax} = L \frac{di_{L1}}{dt} \tag{5}$$

그러므로

$$L = V_{omax} \times \frac{dt}{di_{L1}} \tag{6}$$

벅 컨버터에서 듀티사이클을 D라고 했을 때 MOSFET의 비도통 기간은 $dt = (1-D)/f_s$이다. 따라서

$$L_1 = \frac{V_{omax}\left(1 - \frac{V_{omax}}{\sqrt{2}V_{acnom}}\right)}{0.3 \times I_{omax} \times f_s} \tag{7}$$

식(7)로부터 계산된 L_1의 값은 5[mH]가 된다. 이 값이 커지면 L_1양단의 기생커패시턴스 값이 커지게 되고 스위칭 손실을 증가시키게 된다. 인덕터 코어는 페라이트 코어 드럼형을 사용하였으며 코일의 사이즈는 출력전류용량을 고려하여 0.25[mm]를 사용하였다.

2.4.2 MOSFET Q_1, 다이오드 D_1 결정

MOSFET의 드레인 단자에 걸리는 최대전압은 310[V]정도 이므로 안전을 위하여 50[%] 높은 용량을 고려하면 465[V] 이상이 되어야 하며 MOSFET를 흐르는 실효전류의 3배 이상의 정격의 것을 선택하여야 한다. 따라서 600[V]/2[A] 정격의 MOSFET를 실험에 사용하였다. MOSFET를 선정하는데 있어서 전압과 전류 정격 외에 도통저항과 MOSFET 양단의 기생커패시턴스 성분이다. 80[kHz]로 MOSFET가 스위칭을 하게 되므로 도통저항과 기생커패시턴스가 작아야 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

다이오드 D_1의 최대 전압 정격은 MOSFET와 같이 600[V]로 하였으며 전류용량은 출력전류(I_{omax})를 고려하여 1[A]의 것을 선정하였다. MOSFET의 스위칭 주파수를 고려하고 D_1의 역회복전류에 의한 손실을 최소화하기위해서 고속회복 다이오드를 사용하였다.

Table 3에 설계된 주요 파라미터들을 표로 나타내었다.

Table 3. Designed values of main elements

Element	Designed value
Rectifier(BD_1)	600[V]/1[A]
Condenser(C_1)	400[WV], 20[μF]
Condenser(C_2)	400[WV], 0.33[μF]
Inductor(L_1)	5[mH]
Diode(D_1)	600[V]/1[A]
MOSFET(Q_1)	600[V]/2[A]

3. 실험 및 고찰

3.1 전류조절 스위칭 회로의 동작

전류조절 회로는 고속다이오드 D_1, 리액터 L_1, MOSFET Q_1과 전류검출용 저항 R_2로 구성되어 있다. HA9910B(http://www.clare.com/datasheet/MXHV9910B/, 2009) 내부 발진기에 의해서 FF(Flip-Flop) 회로가 SET되면 MOSFET Q_1에 게이트 신호가 인가되고 Q_1은 도통된다. Q_1이 도통되면 L_1의 전류가 직선적으로 증가하게 되고 전류검출 저항 양단의 전압이 증가하고 이 전압신호는 250[mV]가 기준전압인 비교기로 인가되고 250[mV] 이상이 되면 FF 회로를 RESET시켜 Q_1을 비도통 시킨다. Q_1의 게이트 전압이 0이면 Q_1이 OFF되고 L_1의 전류는 직선적으로 감소한다. 이 과정이 발진주파수로 반복되며 발진주파수 조절로 Q_1의 주파수 조절이 가능하게 된다. 스위칭 주파수는 R_4로 조절이 가능하며 data sheet에 의하면 400[kΩ] 저항을 사용했을 때 64[kHz]이며 회로구성에 따라 10[kHz] 정도의 오차를 갖는다. 본 실험에서는 390[kΩ] 저항을 사용하였으며 80[kHz] 스위칭 주파수를 목표로 하였다.

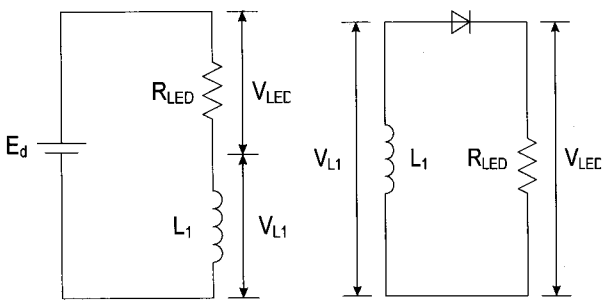


Fig. 2. Circuit diagrams when MOSFET ON/OFF.

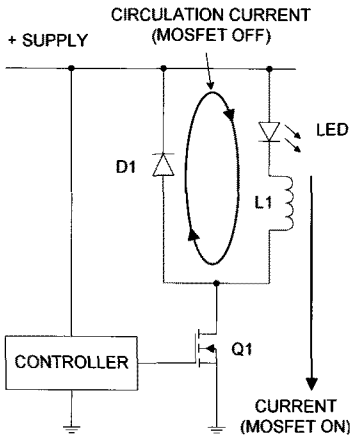


Fig. 3. Transfer L_1 energy to LED string.

전류센서 저항에 걸리는 전압을 무시했을 때 인덕터에 걸리는 전압은

$$V_d = V_{LED} + V_{L1}$$
$$V_{L1} = V_d - V_{LED} \quad (8)$$
$$V_{L1} = V_{LED} \quad (9)$$

Q_1 도통시 L_1에 축적된 에너지(E_{on})는 식 (10)과 같이 구할 수 있으며 Q_1 비도통시 L_1에 축적되었던 에너지가 LED 열로 전달된다. 이때 전달된 에너지(E_{off})는 식 (11)과 같다.

$$E_{on} = (V_d - V_{LED}) \cdot \Delta I_{L1} \cdot T_{on} \quad (10)$$
$$E_{off} = V_{LED} \cdot \Delta I_{L1} \cdot T_{off} \quad (11)$$

Q_1 도통시 L_1에 축적된 에너지와 Q_1 비도통시 LED로 전달된 에너지가 같게 되므로 $E_{on} = E_{off}$가 된다.

$$(V_d - V_{LED})\, T_{on} = V_{LED}\, T_{off} \quad (12)$$
$$\frac{T_{on}}{T} = \frac{V_{LED}}{V_d} \quad (13)$$

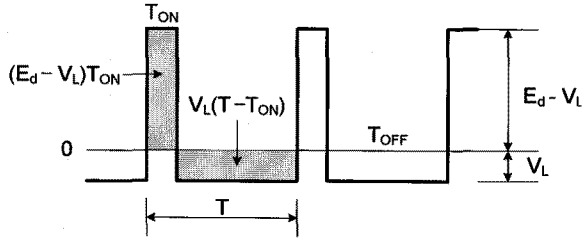


Fig. 4. Waveform of V_{L1}.

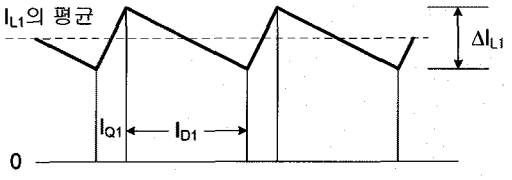


Fig. 5. Waveform of L_1 current.

스위칭 주파수가 80[kHz]일 때 $T = 12.5[\mu S]$이므로 V_{LED}=30[V]일 때 T_{on}은 식 (13)에 의해 식 (14)와 같이 되며 이 기간 동안 V_{L1}은 V_d에서 LED열 전압 V_{LED}를 뺀 전압이 걸리게 된다.

$$T_{on} = \frac{V_{LED}}{V_d} \times T = \frac{30}{290} \times 12.5 = 1.29[\mu S] \quad (14)$$

전류변화(ΔI)는 $L(\Delta I/\Delta t) = V_{L1}$으로부터 식 (15)와 같이 71.3[mA]가 된다.

$$\Delta I = \frac{V_{L1}}{L} \Delta t = \frac{290 - 30}{4.7 \times 10^{-3}} \times 1.29 \times 10^{-6} \quad (15)$$
$$= 71.3[mA]$$

그러므로 LED열로 흐르는 전류의 피크치는 275.7[mA]가 된다. 전류검출 기준값이 250[mV]이고 전류검출 저항의 크기가 0.75[Ω]이므로 이 저항을 통해서 흐르는 전류가 333.3[mA]가 되었을 때 Q_1은 비도통이 되어야 한다. 그러나 실험에서는 R_5, R_6에 의해 Q_1의 비도통 시점을 조절하여 LED 램프의 밝기 조절이 가능함과 동시에 회로에서 소모되는 전력을 최소화하고자 하였다.

3.2 실험파형

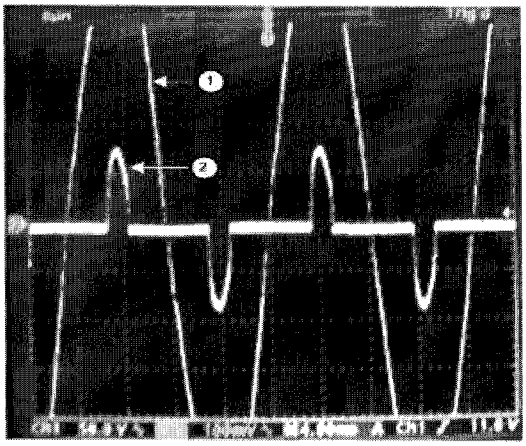
Fig. 6은 설계된 드라이버의 입력전압과 전류파형이다. 전압은 AC 220[V] 상용전원이고 전류는 평활을 위한 정류기 출력단의 전해 콘덴서로 인하여 뾰족한 형태의 전류파형이 나타남을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 MOSFET의 스위칭 파형(V_{ds})과 게이트 신호(V_{gs})의 파형을 보여주고 있다. 게이트 신호가 들어가고 있는 동안 MOSFET가 도통되어 인덕터(L_1)에 에너지가 축적되고 게이트 신호가 없을 때 MOSFET는 비도통되며 인덕터(L_1)에 축적되었던 에너지가 LED 열로 전달된다.

Fig. 8은 MOSFET의 스위칭 파형과 전류센서 양단의 파형으로, 목표로 하는 전류치에 의해서 MOSFET가 잘 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

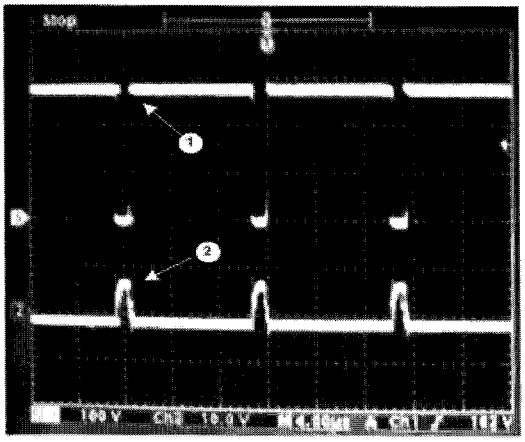
Fig. 9는 LED열 양단의 전압과 인덕터(L_1) 양단의 전압을 나타내고 있다. LED열 전압이 28[V] 정도로 잘 제어되고 있으

며 MOSFET의 ON/OFF에 따라 인덕터에서 에너지 수수가 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.



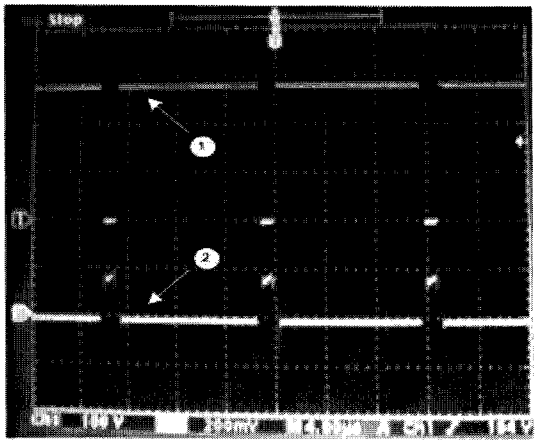
(① 50V/div. ② 100mA/div.)

Fig. 6. Waveforms of input voltage① and current②.



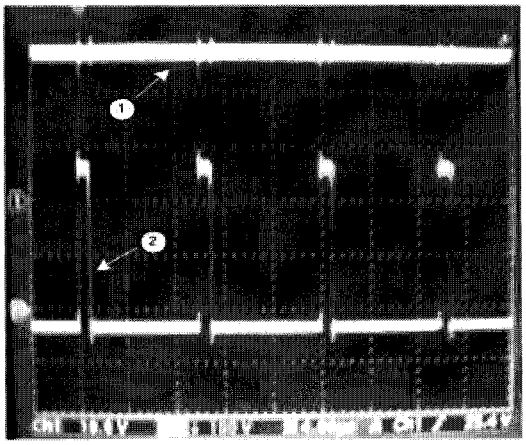
(① 100V/div. ② 10V/div.)

Fig. 7. V_{ds}① and V_{gs}② waveforms of MOSFET.



(① 100V/div. ② 200mV/div.)

Fig. 8. Waveforms of V_{ds}① and current sensor②.



(① 10V/div. ② 100V/div.)

Fig. 9. Waveforms of V_{LED}① and V_{L1}②.

4. 결 론

변압기가 없는 7W급 LED 램프용 드라이버 회로를 설계하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 주 전력라인에서 부하와 직렬로 연결된 저항이 아주 작아 저항에서 소비되는 전력이 거의 없으므로 효율을 높일 수 있다.
2) 정류된 전압을 저항이나 선형소자 등을 사용하게 되면 손실이 증가하고 저 전력소모라는 LED 램프의 장점이 사라지게 된다. 또한 정류된 전압을 직접 사용하게 되면 직류전압에 맥동이 심하여 LED 불빛 또한 점멸을 반복함으로써 빛의 질을 떨어뜨리게 된다. 그러나 설계된 회로의 직류전압은 맥동이 거의 없고 정전류제어를 함으로써 빛의 질이 매우 좋다.
3) 전력손실은 MOSFET의 도통시와 전류의 환류시로 나누어 생각할 수 있는데 전력손실이 더 많은 MOSFET 도통시간이 짧고 전력손실이 적은 환류다이오드를 통하는 시간이 기므로 전체적인 전력손실은 다른 시스템에 비해 상당히 적은 편으로 91.3[%]의 전력효율을 얻을 수 있었다.
4) 고주파 스위칭이 행해지므로 MOSFET주변의 수동소자 값의 선택에 신중을 기해야 한다. 특히, MOSFET 자체와 주변회로가 갖고 있는 콘덴서 성분은 스위칭 손실과 발열에 밀접한 관계가 있으므로 최소가 될 수 있도록 하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] Alen Mills(2003), Solid state lighting a world of expending opportunities at LED2002, The advanced semiconductor magazine, vol. 16, No. 1, pp. 30-33.

[2] Bin-Juine Huang, Dhun-Win Tang, Min-Sheng Wu (2009), System dynamic model of high power LED luminaire, Applied thermal engineering, pp. 609-616.

[3] http://www.arcriche.com/technical data sheet/kwt728s/
[4] http://www.clare.com/datasheet/MXHV9910B/
[5] http://www.kiic.or.kr/servlet/
[6] http://www.philips.co.kr/기술자료/
[7] LED lighting runs off AC mains(2006), The advanced semiconductor magazine, vol. 19, No. 9, p. 12.
[8] Song, Sang-Bin In-Seon Yeo(2007), The thermal and circuits design of an LED bulb considering temperature property, Trans. KIEE, vol. 56, No. 7, pp. 1261-1267.
[9] Steve Winder(2008), Power Supplies for LED Driving, Newnes, p. 4651.
[10] ドランジスタ技術編輯部(2008), 高輝度 パワーLEDの活用テクニツク, CQ出版社, pp. 103-116.

원고접수일 : 2010년 04월 26일
원고수정일 : 2010년 05월 24일 (1차)
: 2010년 06월 15일 (2차)
게재확정일 : 2010년 06월 24일