SMPS 구동 대형교통 신호용 LED 신호등의 특성

신현용*

Characteristics of LED Signal Lamp Driving by SMPS for Large-scale Traffic Signal

Hyun-Yong Shin*

요 약

본 연구에서는 공항, 철도, 항만 등 대형 교통수단의 표시등으로 사용하기 위하여 SMPS에 의하여 구동되는 LED 신호등을 설계하고 제작된 LED 신호등의 전기적 특성과 EMI 특성을 조사하였다. 10V 이상의 교류 및 직류입력전압에 대한 출력전류는 1.67A이었다. 0.15~30MHz에서 측정한 잡음단자전압은 허용기준 준첨두치와 허용기준 평균치 보다 낮았으며, 30~1000MHz에서 측정한 잡음전계강도는 59.96MHz에서 23.96dBμV/m 이었다.

ABSTRACT

In this study, SMPS driven LED traffic signal light for Large-scale traffic such as railroad and airport was designed and its electrical and EMI characteristics were measured. The output current of the LED module driven by SMPS was 1.67A for AC and DC input voltage over 10V. The conducted emission measured over 0.15~30MHz frequency range was lower than the allowed quasi-peak and average level, and the radiated noise measured over 30~1000MHz frequency range showed 23.96dBμV/m at 59.96MHz.

키워드

Large-scale Traffic Signal, LED signal Lamp, SMPS, EMI, Conducted Emission, Radiated Emission
대형교통 신호, LED 신호등, SMPS, EMI, 전도성 복사, 방사성 복사

Ⅰ. 서 론

최근 발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)에 대한 연구와 개발이 활발하여 LED의 광도가 증가됨에 따라 단순 지시기능을 넘어서 표시소자 등의 광원으로 활용되고 있다. 특히, LED는 일반 광원에 비해 에너지 소비가 매우 낮아 에너지 절약 효과가 매우 크기 때문에 원예 등 다양한 분야에서 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-5].

LED는 광의 높은 직진성 및 높은 파장 선택도로 인하여 주야간 표시소자로 적합할 뿐만 아니라 최근 대량생산에 따라 가격도 저렴하여 조명기구에도 응용되어 그 응용폭이 크게 확대되고 있다. 최근 보급되고 있는 LED 교통신호등은 기존 램프형 광원에 비해 90% 정도의 전기절약 효과를 가져왔을 뿐만 아니라 유지보수비용을 크게 절감할 수 있고 높은 시야율을 확보함으로써 교통사고 방지에 많은 기여를 하고 있는 실정이다[6-8].

* 남서울대학교 전자공학과(eeshin@nsu.ac.kr)
접수일자 : 2011. 08. 24 심사(수정)일자 : 2011. 09. 22 게재확정일자 : 2011. 10. 12

신호용 LED 등기구는 1990년대 중반 이후 에너지 절약 차원에서 세계적으로 추진되어 현재 선진국뿐만 아니라 개발도상국에도 차량용 LED 교통신호등의 보급률은 30~90%에 이르고 있다. 또한, 기타 교통수단인 철도 및 항만, 공항 등에도 그 보급이 점차 확대되어 가고 있다. 우리나라의 신호등의 수는 2005년 8월 통계에 의하면 약 40만 set (4색등, 3색등, 보행등, 보조등, 경고등 포함), 114만 등으로 철도용 신호등까지 포함시키면 120만 등을 넘을 것으로 추정되며 매년 10% 정도가 신규로 설치되고 있는 현실이다. 자동차 도로용 신호등은 2002년부터 LED 신호등으로 교체가 진행되어 2005년 1분기 현재 약 20.6%가 교체되었다. 그러나 대형교통수단인 철도, 항공, 항만 등에 필요한 방향지시 및 표시장치에 대한 LED 신호등의 적용은 국내에서는 아직 미미한 실정이다.

본 연구에서는 철도 및 항공 등 대형교통 신호용 LED 신호등의 구동을 위하여 개발한 SMPS (Switching Mode Power Supply) 전원공급장치를 LED 모듈에 장착하여 제작된 LED 신호등의 전기적 특성을 측정하였다. 최근 들어 전자기기에서 발생되는 EMI(Electro Magnetic Interference)가 타 전자기기의 오동작은 물론 인체에까지 나쁜 영향을 미칠 수 있다는 연구결과에 따라 세계적으로 EMI의 규격이 매우 까다롭게 적용되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제작된 LED 신호등의 EMI 특성을 측정하고 국제무선장해특별위원회 (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques; CISPR)에서 정한 규정에 따라 결정된 한국방송통신위원회의 기준을 만족하는지 확인하였다.

II. SMPS 및 LED 모듈

그림 1은 본 연구에서 대형교통 표시용 LED module을 구동하기 위한 전원공급장치인 SMPS의 기본 구조를 나타낸 것이다. 본 SMPS는 surge와 lightning에 대한 보호회로를 가진 입력전원부, AC를 DC로 변환시키는 스위치회로, 발진을 위한 스위칭 converter 회로 및 출력전류의 크기를 항시 검출하여 전류 값의 변동을 feedback 시켜 출력전류를 원하는 수준으로 계속적으로 보상할 수 있는 전류검출회로 등 4 부분으로 구성하였다.

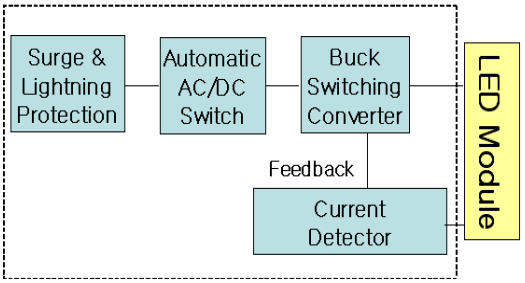

그림 1. 전원공급장치의 schematic diagram
Fig. 1 Schematic diagram for SMPS

입력전원회로는 AC/DC 입력전원부, 과전류 보호를 위한 fuse, 외부 surge차단회로 및 내부에서 발생하는 EMI를 제거하기 위한 line filter 등으로 구성하였다. SMPS 회로는 용량성 부하로 스위칭 동작회로를 구성하고 있어 단순한 전자회로에 비하여 noise 성분을 많이 포함하고 있다. EMI noise를 감소시키기 위하여 line filter와 커패시터를 사용하여 noise filter 회로를 구성하여 노이즈에 대한 감쇄율을 증대시켰다. LF 용량과 커패시터의 값을 조정함으로써 EMI의 잡음단자전압(conducted emission)을 설정된 기준을 만족시키도록 설계하였다. LED 구동용 SMPS 회로의 역률을 개선하기 위하여 역률개선회로를 채택하여 정격입력전압과 최대출력전류 조건 하에서 역률을 0.75이상이 되도록 설계하였다.

본 연구에서는 발진주파수가 67KHz, 최대 듀티비가 77%, 기동전류가 0.1mA이며 전류제한 기능, 다양한 전압 보호 기능 및 thermal shutdown 기능을 내장하고 있는 Fairchild사의 KA5M 계열의 power switch IC를 SMPS용 IC로 사용하였다. 또한 KA5M 계열의 SMPS용 IC는 일반적으로 많이 사용되는 상용전원의 적은 전력을 converting 하는 데 필요한 최대정격이 800V/3A인 출력용 power MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)를 내장하고 있으며 PWM(Pulse Width Modulation) 파형을 출력하도록 되어있다.

그림 2은 본 연구에서 설계한 AC/DC 겸용 LED 구동용 전원공급 장치의 회로도이며 그림 3은 제작된

전원공급 장치를 보여주는 사진이다. 제작된 전원공급 장치는 입력전압 8~12VAC 및 8~16VDC에 대하여 출력전압, 출력전류는 각각 5.7VDC, 1.7ADC이었다.

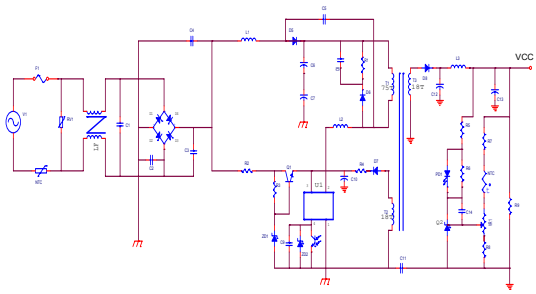

그림 2. AC/DC 겸용 LED 모듈 구동용 전원공급 장치 회로도
Fig. 2 Circuit diagram of AC/DC power supply for LED module driving

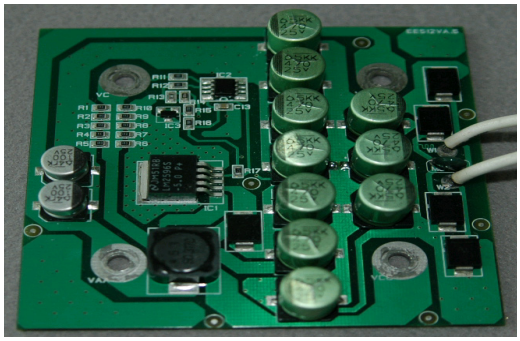

그림 3. 제작된 AC/DC 겸용 LED 전원공급 장치
Fig. 3 Photograph of AC/DC LED power supply

LED 신호등을 제작하기 위하여 그림 4와 같은 LED 배열을 설계하였다. LED 배열은 그림 4와 같이 전면부의 254개의 적색 LED와 측면부의 좌우 각 4개의 백색 LED를 분리하여 배열하고 전원공급 장치로부터 입력신호를 받아 구동되도록 하였으며 필요에 따라 V_f 및 전력 조절을 위한 저항을 연결할 수 있도록 구성하였다. 그림 5는 LED 구동 SMPS가 장착된 LED 모듈을 나타낸 것이며, 그림 6은 본 연구에서 제작한 LED module과 SMPS를 결합하여 신호등으로 사용하기 위하여 렌즈가 포함된 기존의 철도신호등 외함체에 설치시킨 LED 등기구의 모식도이다.

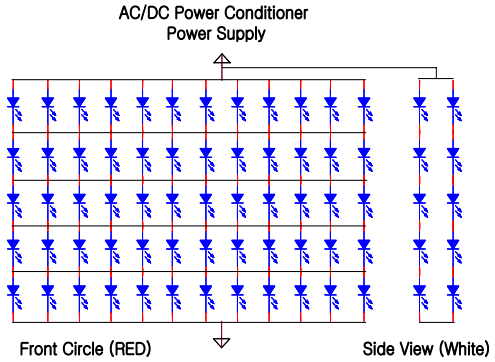

그림 4. LED 배열
Fig. 4 LED array

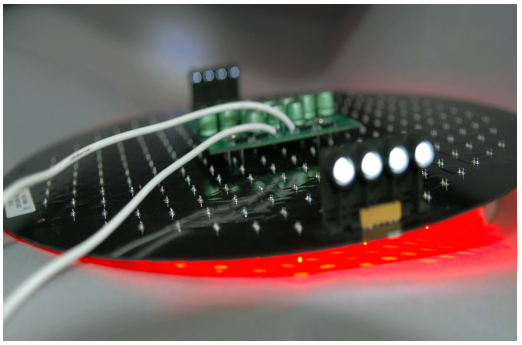

그림 5. SMPS가 장착된 LED 모듈
Fig. 5 LED module with SMPS

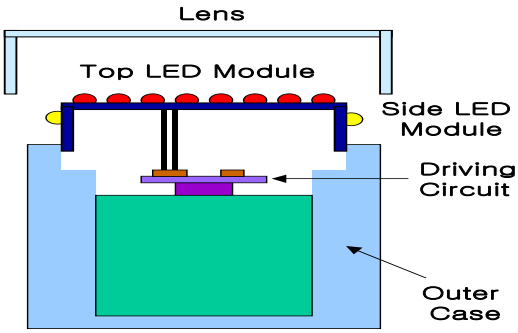

그림 6. 철도 신호용 LED 등기구 모식도
Fig. 6 Schematic diagram of LED Lamp for railroad signal

III. 결과 및 고찰

그림 5에 나타낸 LED module 5개를 미국에서 철도용 신호기구의 납품을 대행하는 Say Liat사에 전기적 특성의 측정을 의뢰하였다. 표 1은 Say Liat사에서 측정한 LED module의 전기적 특성을 나타낸 것이며 표 2는 현재 미국의 철도 신호용으로 사용되고 있는 Metaphase Technology사의 LED module(RRCP Ver.5)의 전기적 특성을 측정한 결과이다. 표 1과 표 2에서 보는 바와 같이 Metaphase Technology사의 제품은 10~18VAC에서 ≒5.5V와 ≒1.48A의 출력전압과 전류를 보이는 반면에 본 연구에서 개발한 LED module은 8~18VAC에서 ≒5.6V, ≒1.69A의 전압과 전류를 출력하고 있어 출력전압과 출력전류 안정성이 우수함을 알 수 있다.

표 1. Say Liat사에서 측정한 LED 신호등(EES 1)의 전기적 특성
Table 1. Electrical characteristics of LED signal lamp(EES1) tested by Say Liat

V_{in} (Vac)	I_{in}(A)	P_{in} (W)	pf	V_{out} (V)	I_{out} (A)
5	0.344	1.0	0.635	5.128	0.134
6	1.074	4.4	0.701	5.423	0.542
7	2.02	10.2	0.761	5.574	1.152
8	2.6	15.0	0.747	5.647	1.593
9	2.5	16.0	0.729	5.655	1.688
10	2.2	16.0	0.732	5.647	1.691
11	2.05	16.0	0.705	5.641	1.692
12	1.892	15.8	0.696	5.640	1.695
13	1.777	15.7	0.691	5.638	1.697
14	1.636	15.6	0.677	5.635	1.698
15	1.563	15.5	0.666	5.635	1.696
16	1.459	15.4	0.661	5.634	1.702
17	1.395	15.4	0.651	5.633	1.702
18	1.343	15.5	0.645	5.632	1.701

표 2. Metaphase 테크놀로지사의 LED 신호등(RRCPS Ver5)의 전기적 특성
Table 2. Electrical characteristics of LED signal lamp(RRCPS Ver5) manufactured by Metaphase Technoloty

V_{in} (Vac)	I_{in}(A)	P_{in} (W)	pf	V_{out} (V)	I_{out} (A)
5	0.701	0.7	0.652	4.963	0.218
6	0.742	3.3	0.754	5.242	0.423
7	1.197	6.3	0.752	5.360	0.758
8	1.458	8.4	0.726	5.432	1.008
9	1.646	10.3	0.712	5.491	1.251
10	1.746	12.1	0.697	5.528	1.454
11	1.619	12.0	0.681	5.530	1.475
12	1.381	11.7	0.705	5.528	1.476
13	1.240	11.6	0.668	5.528	1.478
14	1.249	11.5	0.656	5.528	1.479
15	1.175	11.4	0.649	5.524	1.480
16	1.102	11.4	0.648	5.527	1.480
17	1.040	11.4	0.647	5.524	1.481
18	1.038	11.9	0.642	5.524	1.482

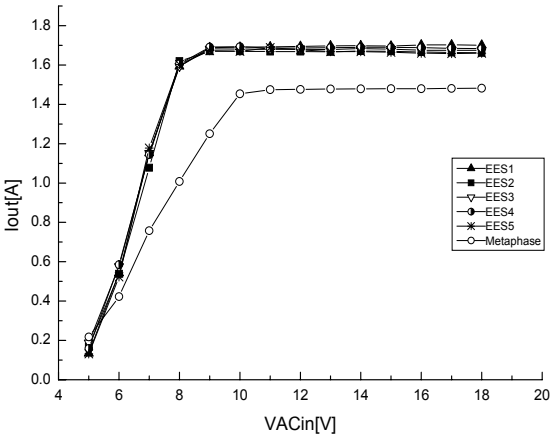

그림 7. 교류입력전압에 대한 출력전류 특성
Fig. 7 Output current characteristics with AC input voltage

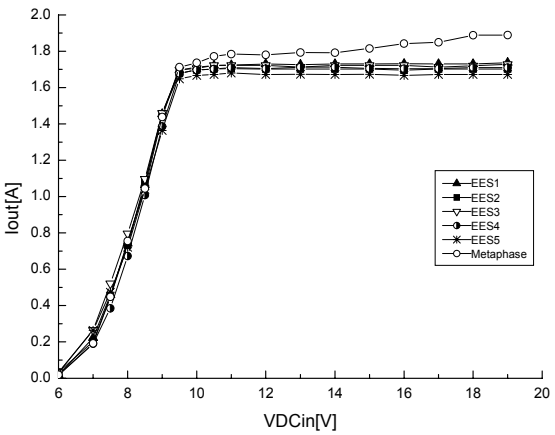

그림 8. 직류입력전압에 대한 출력전류 특성
Fig. 8 Output current characteristics with DC input voltage

그림 7과 그림 8은 본 연구에서 개발한 LED 신호등과 Metaphase Technology사의 LED module의 교류입력전압과 직류입력전압에 대한 출력전류를 보여주는 것이다. 동일한 교류입력전압에 대하여 본 연구에서 개발한 LED module용 SMPS가 더 크고 안정된 전류를 출력하고 있음을 볼 수 있다. 직류입력전압에 대한 출력전류의 변동성을 측정한 결과 기존에 사용되고 있는 Metaphase Technology사의 SMPS는 인가전압이 증가함에 따라 미세한 전류의 증가를 보인 반면 본 연구에서 개발한 SMPS는 사용가능한 전압구간에서 거의 일정한 값을 유자함을 알 수 있다.

전자기기에서 발생되는 EMI가 타 전자기기의 오동작은 물론 인체에까지 나쁜 영향을 미칠 수 있다는 연구 보고에 따라 세계적으로 EMI의 규격이 매우 까다롭게 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 EMI를 최소화할 수 있도록 회로를 설계하였으며, 신뢰성을 위하여 기술표준원 및 한국전기전자시험연구원에 의뢰하여 CISPR 규격에 따라 사방 10m 크기의 Anechoic chamber에서 0.15MHz~1GHz 의 주파수 범위에서 측정하였으며 전파법 제 73조에 따라 제정된 전자파장해방지기준(방통위 고시 제 2008-39호)에 명시된 산업환경에서의 장해방지기준과 비교하였다.

그림 9는 그림 6과 같이 제작한 철도용 LED 신호등에 대하여 0.15~30MHz 사이의 주파수 영역에서 conducted emission을 측정한 결과를 보여주는 그림으로 측정된 잡음단자전압은 그림 9의 점선으로 표시된 허용기준 준첨두치(0.15~0.5MHz에서 79dBμV, 0.5~30Mhz에서 73dBμV)와 허용기준 평균치(0.15~0.5MHz에서 66dBμV, 0.5~30MHZ에서 60dBμV) 보다 낮은 값을 나타내고 있어 본 연구에서 제작된 LED 신호등이 전자파장해방지기준을 만족함을 알 수 있다. 0.15~30MHz 사이의 낮은 주파수 영역에서는 잡음단자전압과 잡음전계강도가 측정되었음을 볼 수 있다.

최근 사회적인 문제가 되고 있는 잡음은 30MHz 이상의 높은 주파수 대역의 radiation noise에 의한 것으로 이러한 잡음은 주로 공기 중으로 전파되는 것으로 전류에 의해 발생되는 자계에 의해 발생되는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서 제작한 LED 신호등에 대하여 측정거리 10m에서 측정한 잡음전계강도는 그림 10과 같다. 59.96MHz에서 허용기준인 준첨두치(30~230MH에서 40dBμV/m)보다 낮은 23.96dBμV/m를 보

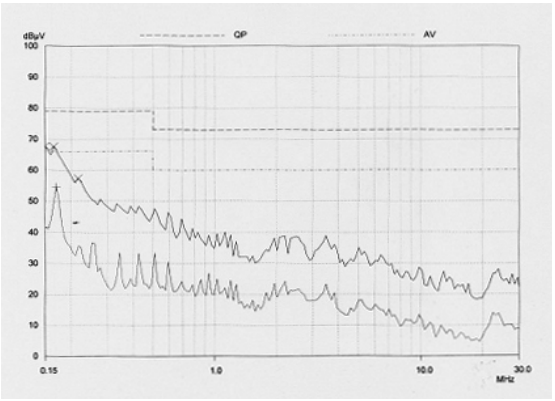

그림 9. 저주파수 대역의 잡음단자전압
Fig. 9 Conducted emission for low-frequency band

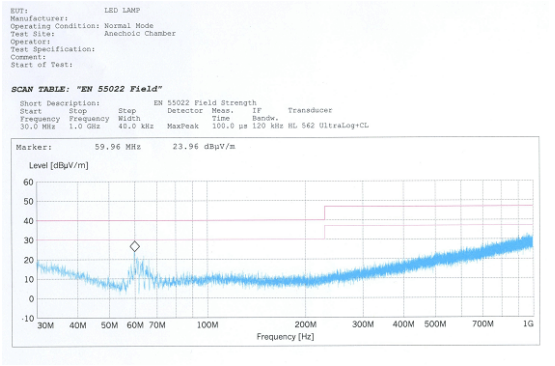

그림 10. 고주파수 대역의 잡음전계강도
Fig. 10 Radiation noise for high-frequency band

였으며 230~1000MHz의 측정 주파수 범위 전 구간에서는 허용기준 준첨두치인 47dBμV/m 이하의 base 신호 외에는 radiation noise가 검출되지 않았다. 이상의 결과로부터 개발된 LED 신호등의 전자파장해에 대한 저항능력은 매우 우수한 것으로 판단된다.

IV. 결 론

친환경 에너지 소자로 각광을 받고 있는 고휘도 LED를 철도, 항공 등의 대형교통 수단의 교통표시등으로 사용하기 위하여 SMPS 구동 LED module을 설계하고 전기적 특성 및 EMI 특성을 조사하였다. 10V 이상의 교류입력전압과 직류입력전압에 대하여

1..67A 이상으로 거의 일정한 출력전류를 출력하며 매우 안정되었다. 또한 0.15~1000MHz 사이에서 EMI 특성을 측정한 결과 잡음단자전압은 0.15~30MHz의 주파수 범위에서 허용기준 준첨두치와 허용기준 평균치 보다 낮았으며, 측정거리 10m에서 측정한 잡음전계강도는 59.96MHz에서 허용기준 준첨두치의 약 60% 수준인 23.96dBμV/m이었다.

향후 보다 나은 대형교통 신호용 LED 등기구의 개발을 위하여 광의 집속 및 확산을 위한 Fresnel 렌즈 및 spreading window에 대한 광학적 연구, 미세가공 기술의 개발 및 금형설계 등 광학특성 개선을 위한 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 남서울대학교 학술연구비지원에 의해 연구되었음.

참고 문헌

[1] 홍창희, “LED의 새로운 응용 연구 기술 동향”, 전자부품, pp. 28, Jun., 2003.
[2] 김민식, “고휘도 LED의 응용분야 및 시장전망”, 정보통신진흥원 학술정보, pp. 70-72, Feb., 2003.
[3] S. J. Lee and J. C. Lee, “Design and evaluation of LCD backlight unit by LED array modules”, Trans. Electr. Electron. Mater., Vol. 9, No. 3, pp. 110-115, 2008.
[4] 공명국, 김도우, “저항 네트워크 모델을 통한 LED 설계”, 전기전자재료학회 논문지, Vol. 21, No. 1, pp. 73-78, 2008.
[5] 김규한, “식물 생장을 촉진하는 온실용 LED 조명장치”, 한국 특허 No. 100906226, 2009.6.29.
[6] J. Bullough, “Optimizing the Design and Use of LED for Visually Critical Application - Comparison of Traffic Signal Requirements”, Lighting Research Center, 1998.
[7] 정만봉, 정학근, 유승원, “LED 교통신호등 국내 보급 타당성 분석”, 한국에너지공학회 추계학술대회 논문집, pp. 153-158, 2001.
[8] 권삼영, “LED 조명의 철도산업에의 적용 동향 및 전망”, 철도저널, Vol. 12, No. 2, pp. 35-39, 2009.

저자 소개

신현용(Hyun-Yong Shin)

1979년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1981년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
1987년 7월 : 루이지애나주립대학교 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 전자재료, 반도체 공정, 센서 및 센서 응용