Back-Boost 방식에 의한 새로운 고출력 LED 구동시스템

(The operating system of a new high-power LED module with back-boost mode)

정지현*, 임정민*, 양시창*, 송성근**, 박성준**, 문채주*
목포대학교*, 전남대학교**
(J.H Chung* · J.M. Lim* · S.C, Yang* · S.G. Song** · S.J. Park** · C.J. Moon*)

요 약

최근 에너지 절약에 대한 관심이 고조되면서 기존 광원보다 효율이 좋은 광원개발이 계속되고 있으며 그 대표적 것이 고출력(high-power) LED이다. 고효율 LED의 개발로 인해 일부에서는 일반 조명용으로 사용하려는 연구가 진행 중이며 풍력과 태양광 발전을 이용한 야간 조명용 전원으로 사용하려는 연구도 진행되고 있다. 이에 본 논문에서는 조명용 광원으로 직류 전원을 이용한 고출력 LED의 사용 가능성을 확인하고자 하며 기존 방식에 비하여 보다 안정적이고 효율이 좋은 새로운 LED 전원구동장치를 제안 한다. 제안된 방식은 기존의 방식에 리액터의 크기를 줄일 수 있었으며 효율이 개선됨을 확인하였다.

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 의존도가 가장 높은 화력과 원자력 발전은 자원고갈과 환경 및 안정성 등의 문제로 인해 그 대안으로 대체 에너지에 대한 연구가 지속적으로 증가하고 있다. 또한 에너지 절약과 기기의 고 효율화에 대한 연구가 진행되고 있다.

한 일례로 신호등 분야의 경우 150[W] 백열전구가 18[W] LED 신호등으로 대체되고 있으며 이는 에너지 절감의 대표적 사례가 되고 있다.[1] 이에 고출력 LED를 조명용으로 사용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 풍력과 태양광 시스템을 이용 충전된 축전지로부터 고효율 조명용 시스템을 개발하고자 하며 광원으로는 고출력 LED를 사용하고자 한다. 또한 기존의 직류구동방식과 펄스 구동방식을 비교하여 제안된 방식의 우수성을 증명하였다.

2. 고출력(High Power) LED 광원

본 실험에 사용된 고출력 LED는 Lumileds사의 3[W] White emitter를 사용하였으며 그 패키지 구조는 그림1과 같다. 고출력 LED칩은 열 경로를 제공하기 위해 금속 방열판 슬러그에 부착되어 있으며 고출력 LED칩의 음극리드와 양극리드에 전기적으로 연결하여 사용한다. 또한 고온 플라스틱렌즈는 플라스틱케이스에 부착되고 고출력 LED칩과 렌즈 간의 층은 광학용 실리콘 보호막으로 채워져 있다.

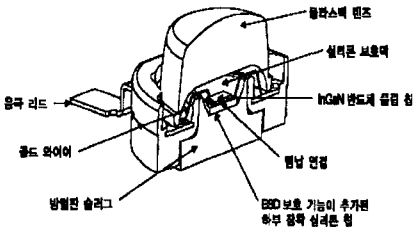


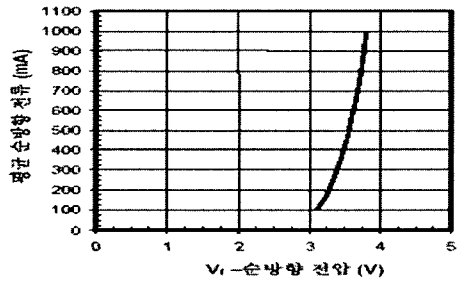
그림 1 고출력 LED의 구조

그림 2는 25℃에서 본 실험에 사용된 고출력 LED의 전기적 특성을 나타내고 있다.

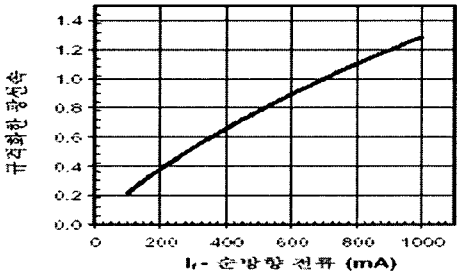
그림2(a)에서 보는 바와 같이 LED 구동 전압 범위가 상당히 좁으며 전압에 대한 전류 센스티브티(sensitivity) 또한 상당히 크게 나타난다.

그러나 그림2(b)에서 보듯이 전류에 대한 광선속

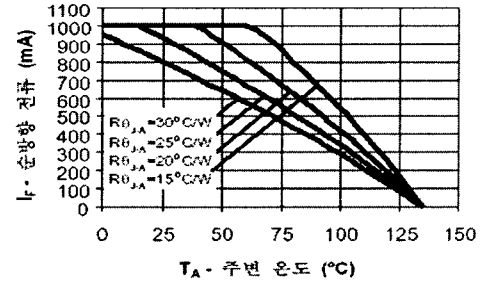
은 어느 정도 선형성을 유지한다.
또한 그림2(c)에서 보듯이 고출력 LED는 주변온도에 따라 전기적 특성이 변하게 되어 안정된 구동을 위해서는 제어가 필요하다.
따라서 고출력 LED의 광 출력을 제어하기 위해서는 전류를 제어하는 것이 바람직하다.



(a) 순방향 전압과 전류특성



(b) 순방향전류와 광선속



(c) 주변온도에 대한 전류특성

그림 2 고출력 LED의 전기적 특성

3. 고출력 LED 가로등 설계

전원구동장치는 다음의 요건을 만족하여야 한다. 고출력 LED 광원은 빛의 발산과 함께 열 발산을 수반하게 되어 시간이 지날수록 온도가 상승하여 광 출력을 떨어지게 된다. 이를 보상하기 위해서는 더 많은 전류를 흘려줘야 하지만 전류를 많이 흘러주게 되면 LED의 기본 특성이 변하게 되므로 방열설계를 잘 하여야 한다. 조명용으로 사용하기 위해서는 일정한 광 출력이 나와야 하므로 방열을 고려한 정 전류 회로를 설계하여야 한다. 또한 고출력 LED의 안정된 동작과 수명을 유지하기 위해 허용전압, 전류 범위를 넘지 않도록 전원구동장치를 설계하여야 한다.

3.1 LED 모듈 설계

조명용 고출력 LED 장치 설계 시 LED의 직·병렬 회로수와 구동장치의 회로방식에 따라 광 특성과 효율의 차이가 있으므로 효율적인 설계가 필요하다.
본 논문의 목적은 태양전지로부터 충전된 직류전원인 배터리 전압을 이용하여 가로등 조명 회로를 설계함에 있다. 본 논문에 사용된 LED 모듈의 구성은 그림3과 같다.

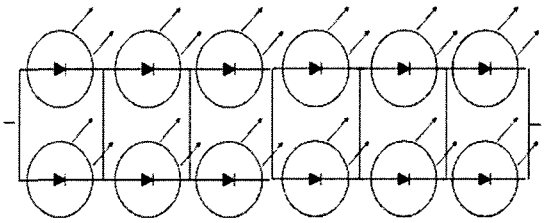


그림3 LED 모듈의 구성도

구동전원은 24[V] 배터리이므로 공칭전압은 28.8[V]이다. LED의 구동 전압은 정격이 3~4[V]이므로 LED 모듈의 동작 전압 범위는 16V~24V이다. 따라서 효율적인 구동을 위해 필요한 직렬 회로수는 6개로 결정하였다. LED모듈의 병렬 회로수는 원하는 조도가 나오도록 결정하는 것이 일반적이며, 본 논문에서는 가로등 조명용으로 5[M]높이에서 18[Lux]을 갖기 위해 병렬 회로수를 2개로 결정하였다.

3.2 구동장치의 설계

3.2.1 기존의 구동회로
그림4는 선형 레귤레이터를 이용한 LED전원장치 블록도이다.

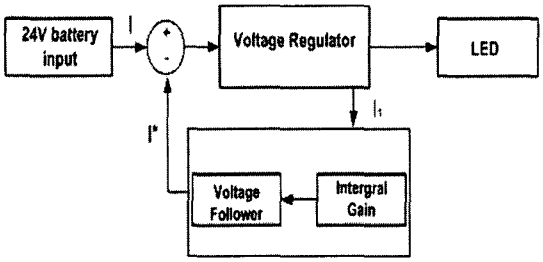


그림 4 선형 레귤레이터 방식

그림에서 보는 바와 같이 일정 전원전압으로 출력전압을 조정하기 위해서 선형 레귤레이터를 사용하였으며, 정 전류를 제어하기 위한 제어기는 OP-AMP를 사용하여 지령전류와 검출전류차를 이용한 적분제어기를 구성하였다.

선형 레귤레이터 방식에서는 레귤레이터의 손실은 입력전압과 출력전압의 차와 출력전의 적에 해당하는 손실이 발생하게 된다. 따라서 이 방식은 레귤레이터 자체에서 많은 전력손실이 발생하여 전체 효율저하를 초래한다.

그림5는 펄스구동에 의한 평균전압에 의한 전류제어방식을 나타내고 있다.

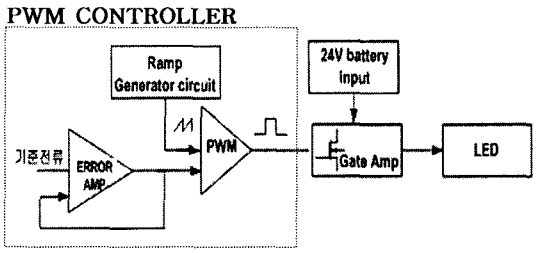


그림 5 평균전압에 의한 전류 제어방식

그림5와 같이 평균전압에 의한 전류제어방식은 입력전압이 LED 직렬회로의 구동전압의 최대치보다 적은 경우에 어느 정도 효과가 있다. 이 방식은 LED의 광 발생 효율을 저하시키는 단점이 있으나, 전압 레귤레이터에 인덕터가 필요 없는 장점을 가진다. 그러나 입력전압이 구동전압보다 높은 경우에는 순시적으로 높은 구동전압이 LED에 직접 인가되므로 광 효율이 현저히 저감하게 된다. 평균전압에 의한 전류제어방식을 위해 IC Voltage - Mode PWM Controller를 사용하였으며 동작은 그림6과 같다.

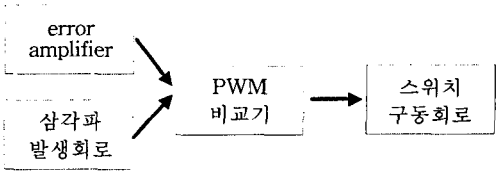


그림 6 PWM 제어회로 블록도

그림7은 현재 일반적으로 사용되는 감압타입의 고효율 LED 구동장치를 나타내고 있다. 이 방식은 스위칭 소자를 포화영역에서 사용함으로 전력손실을 저감할 수 있는 방식이다. 이 방식에서 출력전압의 크기는 펄스폭으로 조절이 가능하며, 전력 변환 효율이 다소 높은 장점이 있으나, 전력변환기의 회로가 복잡하다는 단점이 있다.

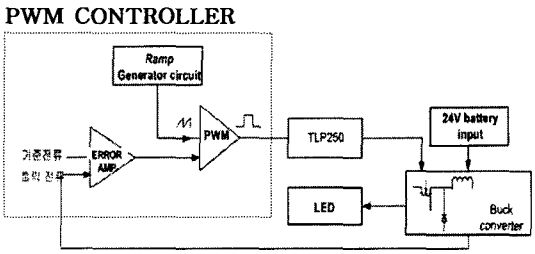


그림 7 강압 컨버터방식

3.2.2 제안된 Back-boost방식의 구동회로

기존 방식의 단점을 보완하고자 Back - boost방식의 구동회로를 제안한다.

먼저 Pspice simulation을 수행 하였다. 출력단의 전압은 커패시터를 이용하여 전압분압에 의해 낮추고 출력단에서 입력단으로 Back - boost를 사용하여 에너지 회생을 통해 효율을 높이고자 하였으며, Back-boost 방식의 회로와 시뮬레이션은 그림8과 같다.

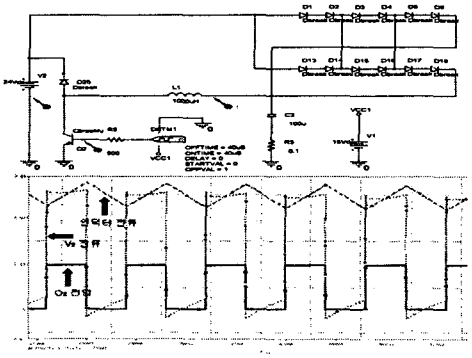


그림 8 Back-boost simulation 회로도와 결과

시뮬레이션 결과 V_2전류의 일부분의 에너지가 환원되어짐을 볼 수 있다. 이 환원된 에너지를 입력단으로 넘겨 승압하여 재사용하므로 효율을 높일 수 있다.

Back-boost 방식의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 Back-boost의 전원구동장치 제작하였으며 그림9와 같다.

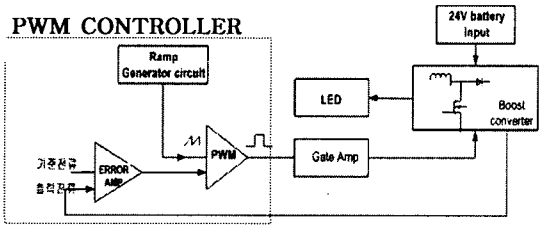


그림 9 Back-boost 방식

이 방식의 경우 강압 컨버터와 소비전류와 효율은 비슷하지만 리액터가 작아져서 크기와 무게를 줄일 수 있으며 회로가 간단해지고 효율도 개선되었다.

4. 실험 결과 및 고찰

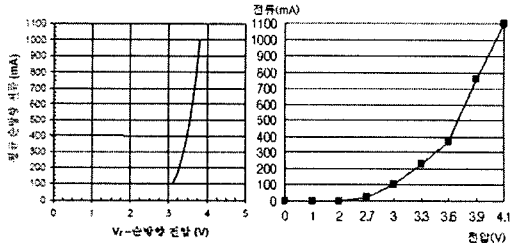
4.1 실험방법

24[V] 직류전원을 직류구동방식과 펄스구동 방식을 측정·비교하였다. 광 출력은 가로 22[cm], 세로 30[cm]의 암실 상자를 제작하여 조도계를 이용하여 측정하였다. 소비전력은 500[lux]일 때 각각의 전압과 전류파형을 오실로스코프를 이용하여 측정하였으며 온도는 LED모듈의 방열판 아래에 온도계를 장착, 측정하였다.

4.2 실험결과

4.2.1 고출력 LED 실험결과

실험에 사용된 LED 1개의 전류-전압 특성을 직접 실험하여 그림10(b)와 같은 결과를 얻었다.



(a) data-sheet 제공값 (b) 실제 측정값

그림 10 고출력 LED 전압-전류 특성

그림11은 고출력 LED 1개의 시간에 따른 전류, 온도, 조도의 변화를 측정하였다. 고출력 LED의 정격인 3.7[V]입력 전압에 750[mA]로 동작 시켰을 때 LED 자체 발열로 온도가 올라감에 따라 2시간 후 전류는 590[mA]로 감소하였고 조도 또한 초기 170[lux]에서 2시간 후 141[lux]로 감소하였다. 온도변화는 초기 23[℃]에서 약 5분후 70[℃], 120분후 78[℃]로 변화하였다.

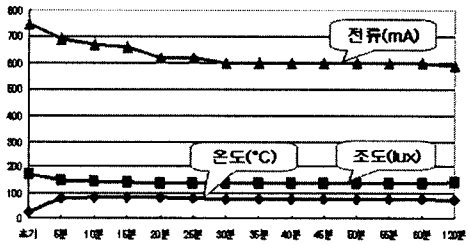


그림 11 고출력 LED 특성 변화

4.2.1 구동장치 실험결과

LED의 모듈이 그림3과 같고 입력 전압이 24[V]일 때 각 구동장치의 전체 소비 전류는 직류 구동 680[mA], 펄스구동 1200[mA], DC CHOPPER 240[mA]로 그림12에 나타내었으며 모두 정 전류로 구동되고 있음을 보여준다.

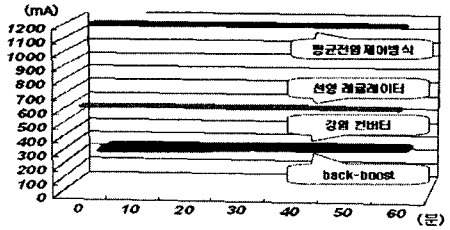


그림 12 조도 500[lux]전류특성

그림13과 그림14는 제작한 선형 레귤레이터의 회로도와 입력과 출력 전압, 전류 파형이다

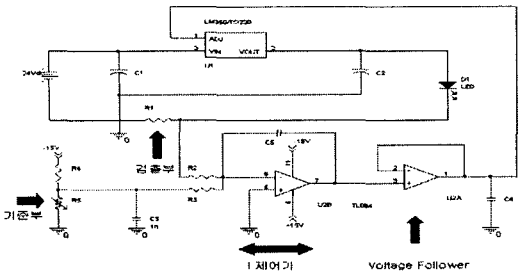
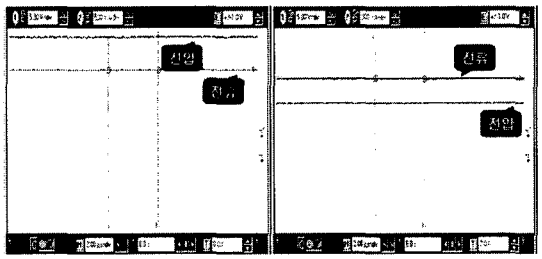


그림 13 선형 레귤레이터 방식 회로도



(a) 입력전압, 전류 (b) 출력 전압, 전류

그림 14 선형레귤레이터 방식

그림15은 제작한 평균전압에 의한 전류 제어 방식의 회로도이고 그림16은 입력과 출력 전압, 전류 파형이다. PWM Controller에 의한 구형파 펄스로 동작한다.

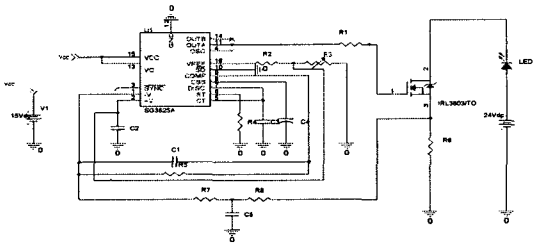
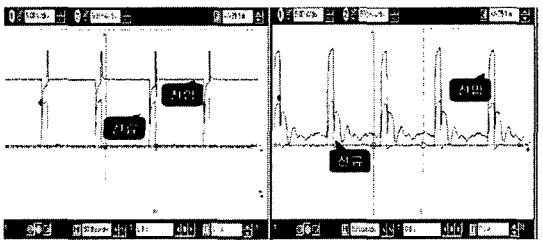


그림 15 평균전압에 의한 전류 제어방식 회로도



(a) 입력전압, 전류 (b) 출력 전압, 전류

그림 16 평균 전압 제어에 의한 전류 제어방식

그림 17은 강압 컨버터방식의 회로도이다.

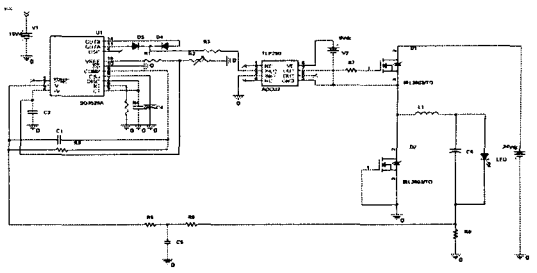
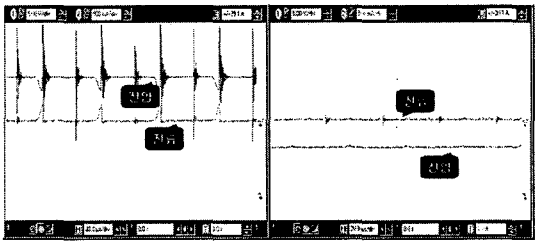


그림 17 강압 컨버터방식 회로도

그림18은 강압 컨버터 방식의 입출력 파형을 나타낸다.



(a) 입력전압, 전류 (b) 출력 전압, 전류

그림 18 강압 컨버터 방식

인덕터와 커패시터 소자에 의해 필터링되어 출력을 얻을 수 있음을 보여준다.

제안된 Back-boost방식은 스위치의 ON - OFF 동안에 그림19와 같이 동작한다.

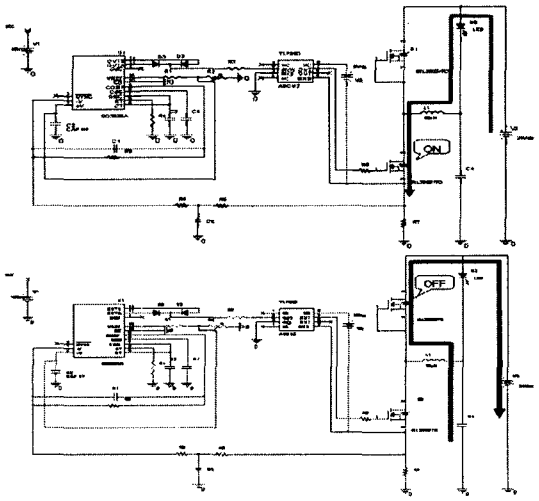
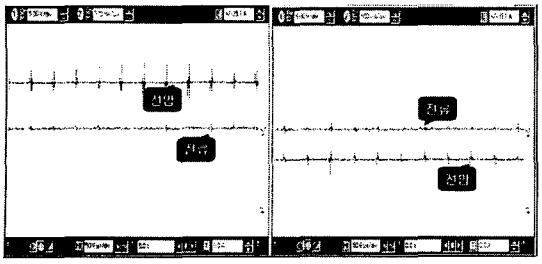


그림 19 Back -boost 방식 동작회로도

그림20은 back-boost방식의 입출력 전압 전류 파형이다.



(a) 입력전압, 전류 (b) 출력 전압, 전류

그림 20 Back-boost 방식

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 회로와 제안된 전원 구동 장치를 제작하여 동일한 광 출력에서 전기적 특성을 오실로스코프와 조도계를 이용하여 측정하였다.

기존 회로 중 선형 레귤레이터 방식은 레귤레이터 자체에서 많은 전력손실이 발생하여 전체 효율저하를 초래하며 평균전압에 의한 전류제어방식은 구동전압의 최대치보다 큰 경우는 LED의 광 발생 효율을 저하시키는 단점이 있다.

현재 일반적으로 사용되는 강압타입의 고효율 LED 구동장치는 스위칭 소자를 포화영역에서 사용함으로 전력손실을 저감할 수 있는 방식으로 전력 변환 효율이 다소 높은 장점이 있으나, 전력변환기의 회로가 복잡하다는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하고자 Back - boost방식의 구동회로를 제안하였다. 제안된 고출력 LED의 전원구동장치의 개발로 기존의 방식에 리액터의 크기를 줄일 수 있었으며 회로가 간단해지고 효율이 개선됨을 확인하였다. 시제품 개발을 위해서는 현장 실험 등이 필요하다.

본 논문은 산업자원부 출연금등으로 수행한 지역전략산업 석 박사 연구인력 양성사업의 연구결과물입니다.

참 고 문 헌

[1] 장우진외, "국내외 광원분야의 신기술 동향", 한국조명 · 전기설비학회 2004춘계학술대회 조명분야 전문워크샵, PP.6, 2004.

[2] 정학근, "LED 교통신호등 특징 및 기술현황"ETIS 분석지 PP122~136

[3] 홍창희, "고휘도 LED 기술 개발 동향, 에너지 전문가 기술교육 프로그램,pp.54

[4] 임성무, 권용석, 송상빈, 여인선, "고출력 발광다이오드의 구동전압 유형에 따른 특성" 한국 조명 · 전기설비학회 학술대회 논문집, pp169~173, 2003.11

[5] 김훈, "조명 광원으로서 LED", 한국 조명 · 전기설비학회지 제17권 제5호, pp3~10, 2003.10

[6] 한수빈, "LED조명용 전원의 설계기술 현황", 한국 조명 · 전기설비학회지 제17권 제2호 pp39 ~49 2003.4

[7] Hewlett-Packard company, Optoelectronics /fiber-optic application manual second edition, 1977

[8] power light source Luxeon III Emitter Technical Datasheet DS45 , Lumileds

[9] Thermal Design Using Luxeon Power Light Sources AB05, Lumileds