

Back-Boost 방식 고효율 LED 구동시스템

鄭智倪[†], 宋成根[‡], 朴晟濬^{**}, 張永學^{***}, 文彩柱^{****}

The Operating System of High-power LED module with Back-Boost Mode

Ji-Hyun Chung, Sung-Geun Song, Sung-Jun Park, Young-Hak Chang and Chae-Joo Moon

요 약

최근 에너지 절약에 대한 관심이 고조되면서 기존 광원보다 효율이 좋은 광원개발이 계속되고 있으며 그 대표적인 것이 고효율 및 고효율(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 고효율 LED의 사용 가능성을 확인하고자 하며 기존 방식에 비하여 보다 안정적이고 효율이 좋은 새로운 LED 전원구동장치를 제안한다. 제안된 방식은 기존 방식보다 리액터의 크기를 줄일 수 있었으며 효율이 개선됨을 확인하였다.

ABSTRACT

An alternative to the nuclear and fossil fuel power is renewable energy technologies (hydro, wind, solar and ocean), and the research about the highest efficiency machinery have been processed. The high-power LED is the representative one among those. In this paper, a high efficiency lighting system using a battery charged with solar or wind power is proposed for a high power LED. And a new efficient converter called "Back-boost" is proposed. The validity of the lighting system scheme is verified by experimental results based on a laboratory prototype.

Key Words : back-boost mode, high-power LED, light source, wind and solar energy, reactor, PWM Controller

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 고효율화에 대한 연구가 진행되고 있다. 한 일례로 신호

등 분야의 경우 150[W] 백열전구가 18[W] LED 신호등으로 대체되고 있으며 이는 에너지 절감의 대표적인 사례가 되고 있다^[1]. 이에 고효율 LED를 조명용으로 사용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

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

2. 고효율(high - power) LED 광원

본 실험에 사용된 고효율 LED는 Lumileds사의 3[W] White emitter를 사용하였으며 그 패키지 구조

[†]교신저자 : 학생회원, 목포대 전기공학과 석사과정

E-mail : sea1123@lycos.co.kr

[‡]정회원, 전남대 전기공학과 박사과정

^{**}정회원, 전남대 산업 및 전기공학계열 조교수

^{***}정회원, 목포대 전기제어신소재공학부 제어시스템공학전공 교수

^{****}정회원, 목포대 전기공학과 부교수

접수일자 : 2005. 10. 21 1차 심사 : 2005. 12. 6

2차 심사 : 2006. 2. 10 심사완료 : 2006. 2. 28

는 그림 1과 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.

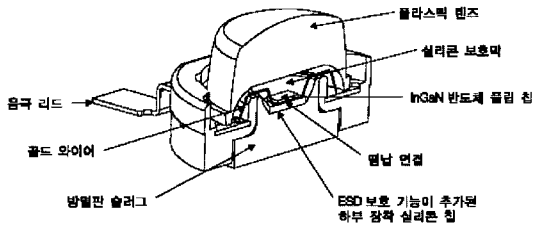


그림 1 고출력 LED의 구조
Fig. 1 Structure of high - power LED

그림 2는 접합온도 25[°C]에서 본 실험에 사용된 고출력 LED의 전기적 특성을 나타내고 있다. 그림 2(a)에서 보는 바와 같이 LED 구동 전압 범위가 상당히 좁으며 전압에 대한 전류 민감도(sensitivity) 또한 상당히 크게 나타난다. 그림 2(b)에서 보듯이 전류에 대한 광선속은 어느 정도 선형성을 유지하며 그림 2(c)에서 보듯이 고출력 LED는 주변온도에 따라 전기적 특성이 변하게 되므로 안정된 구동 및 광량 제어를 위해서는 제어가 필요하며 접합온도에 대한 상대 빛 출력 특성은 그림 2(d)와 같다.

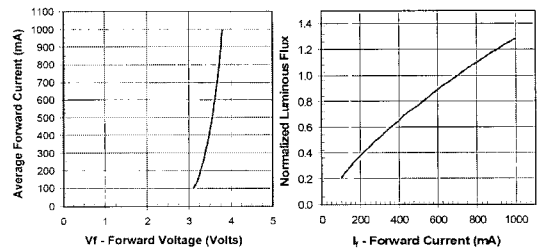
3. 고출력 LED 가로등 설계

본 논문의 목적은 태양전지로부터 충전된 직류전원인 배터리 전압을 이용하여 가로등 조명 회로를 설계함에 있다. 가로등 설계를 위해서는 LED module과 전원구동장치 설계가 필요하다.

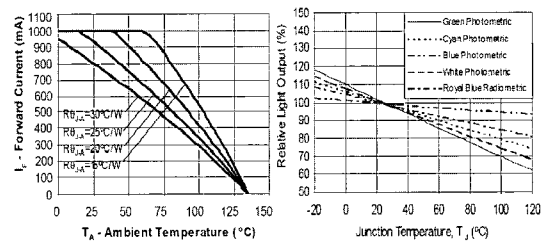
LED module은 조명용으로 사용하기 위해 LED의 직·병렬 회로수와 구동장치의 회로방식의 구성에 따라 광 특성과 효율의 차이가 있으므로 효율적인 설계가 필요하다. 또한 전원 구동 장치는 LED module이 일정한 광 출력이 나오도록 방열을 고려한 정 전류 회로를 설계하여야 하며 고출력 LED의 안정된 동작과 수명을 유지하기 위해 허용전압과 전류범위를 넘지 않도록 전원구동장치를 설계하여야 한다.

3.1 LED module 설계

본 논문에 사용된 LED 모듈의 구성은 그림 3과 같



(a) 순방향 전압 전류특성 (b) 순방향 전류와 광선속



(c) 주변온도에 대한 전류특성 (d) 빛 출력 특성

그림 2 TJ = 25 [°C]에서 고출력 LED의 전기적 특성
Fig. 2 Electrical Characteristics at Junction Temperature, TJ = 25 [°C]

으며 가로 22[cm], 세로 30[cm]의 암실 상자를 이용하여 순방향 전압에 대한 조도를 측정하였다. 구동전원은 풍력과 태양광으로 충전된 축전지 12[V] 2개로 24[V]이므로 공칭전압은 28.8[V]이다. LED의 구동 전압은 2.7[V]~4[V]이므로 LED 모듈의 동작 전압 범위는 16[V]~24[V]이다. 따라서 효율적인 구동을 위해 필요한 직렬 회로 수는 6개로 결정하였다. LED모듈의 병렬 회로 수는 원하는 조도가 나오도록 결정하는 것이 일반적이며 본 논문에서는 가로등 조명용으로 5[m]높이에서 18[Lux]을 갖기 위해 병렬 회로수를 2개로 결정하였다.

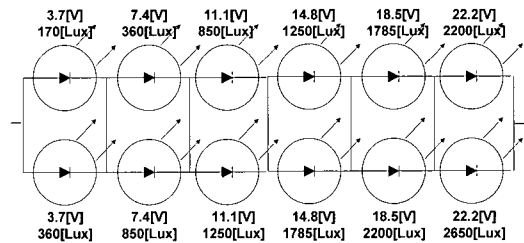


그림 3 고출력 LED 모듈
Fig. 3 Module of high-power LED

3.2 구동장치 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 흘려주게 되면 LED의 기본 특성이 변하게 되므로 방열설계를 하여 신뢰성을 확보하여야 한다.

3.2.1 기존의 구동회로

그림 4는 선형 레귤레이터를 이용한 LED전원장치 블록도이다.

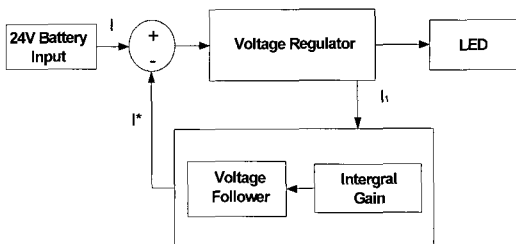


그림 4 선형 레귤레이터 방식
Fig. 4 Linear regulator mode

그림에서 보는 바와 같이 일정 전원전압으로 출력전압을 조정하기 위해서 선형 레귤레이터를 사용하였으며 정 전류를 제어하기 위한 제어기는 OP-AMP를 사용하여 지령전류와 검출전류차를 이용한 적분제어를 구성하였다. 선형 레귤레이터 방식에서는 레귤레이터의 손실은 입력전압과 출력전압의 차와 출력전류의 적에 해당하는 손실이 발생하게 된다. 따라서 이 방식은 레귤레이터 자체에서 많은 전력손실이 발생하여 전체 효율저하를 초래한다.

그림 5는 펄스구동에 의한 평균전압에 의한 전류 제어방식을 나타내고 있다. 평균전압에 의한 전류제어방식은 입력전압이 LED 직렬회로의 구동전압의 최대치보다 적은 경우에 어느 정도 효과가 있다. 전압 레귤

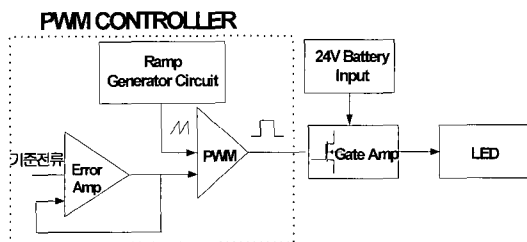


그림 5 평균전압에 의한 전류 제어방식
Fig. 5 Current control - mode with average voltage

레이터에 리액터가 필요 없는 장점을 가지나 입력전압이 구동전압보다 높은 경우에는 순시적으로 높은 구동전압이 LED에 직접 인가되므로 광 효율이 현저히 저감하게 된다. 평균전압에 의한 전류제어방식을 위해 IC Voltage - Mode PWM Controller를 사용하였다.

그림 6은 현재 일반적으로 사용되는 강압타입의 고효율 LED 구동장치를 나타내고 있다. 이 방식은 스위칭 소자를 포화영역에서 사용함으로써 전력손실을 저감할 수 있는 방식이다. 이 방식에서 출력전압의 크기는 펄스폭으로 조절이 가능하며, 전력 변환 효율이 다소 높은 장점이 있으나 리액터의 크기가 커진다는 단점이 있다.

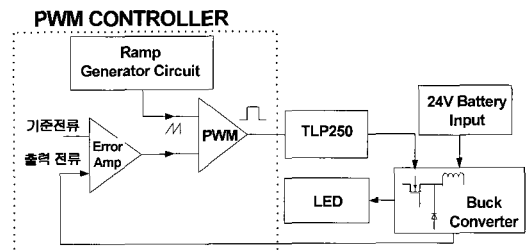


그림 6 강압 컨버터 방식
Fig. 6 Buck- converter mode

3.2.2 제안된 Back-Boost방식의 구동회로

그림 7은 기존 방식의 단점을 보완하기 위해 제안된 회로를 나타낸다. 출력단의 전압을 커패시터를 이용하여 전압분압에 의해 낮추고 출력 단에서 입력 단으로 Boost방식을 사용하여 전류제어를 통해 에너지를 회생하고 효율을 높이고자 하였다. 이때 커패시터는 에너지 축적과 전압 분배의 역할을 하며 입력 전원이 들어오면 충전되어 항상 몇 [V]의 값을 유지하다가 입력 측으로 에너지가 회생되므로 이 방식을 본 논문에서는 Back-Boost 방식이라 칭한다. 이 방식의 경우 강압

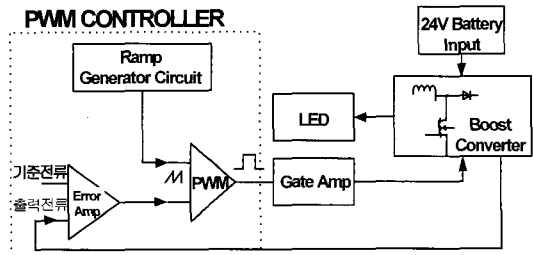


그림 7 Proposed Back-Boost 방식의 블록도
Fig. 7 Block diagram of proposed Back-Boost mode

컨버터와 소비전류는 비슷하지만 리액터가 작아져서 강압 방식에 비해 크기와 무게를 줄일 수 있으며 효율도 개선됨을 확인하였다.

그림 8(a)은 고효율 LED를 정 전류로 제어하기 위해 제안된 전력변환회로를 나타내고 있다. 본 전력회로는 콘덴서전압을 스위치 Q의 듀티비에 의해 제어하여 LED의 전류를 제어하게 된다. 컨버터의 입력은 콘덴서전압(V_C)이 되고 출력은 배터리 전압(V_{DC})이 된다. 스위치 Q의 온, 오프에 따른 동작모드는 그림 8(b), (c)로 된다. 스위치 Q가 온 될 때 즉 모드 1에서는 콘덴서전압이 리액터에 인가되어 리액터에 에너지를 저장하게 되며 스위치 Q가 오프 되면 모드 2가 되고 모드 1에서 리액터에 저장된 에너지가 전원 측으로 전달된다. 따라서 스위치 Q의 듀티비를 제어하면 콘덴서 에너지가 전원 측으로 전달되는 양을 제어할 수 있게 되어 콘덴서의 전압을 제어할 수 있게 된다.

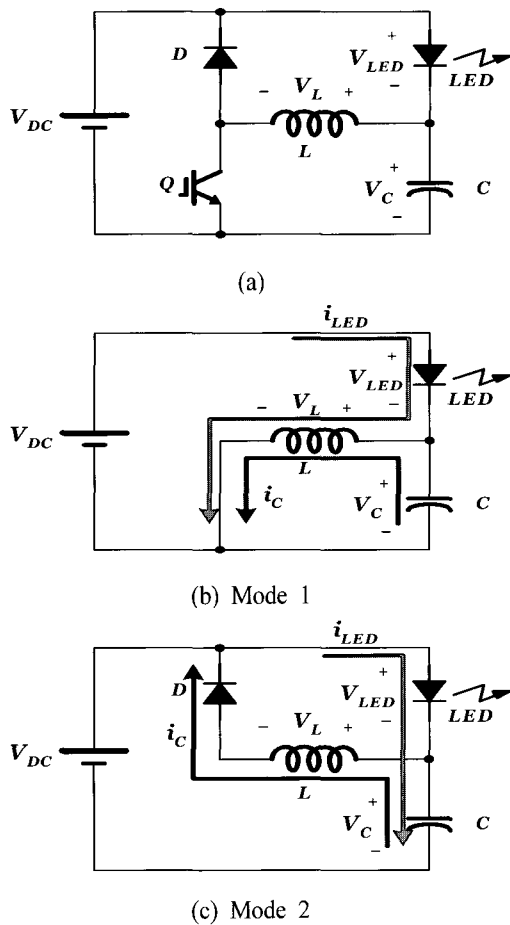


그림 8 제안된 전력회로 및 동작모드
Fig. 8 Proposed converter and operation mode

따라서 콘덴서의 전압을 제어하므로 LED에 인가되는 전압을 제어할 수 있으며 LED양단에 인가되는 전압은 아래 식과 같다.

$$V_{LED} = V_{DC} - V_C \tag{1}$$

LED양단에 제어된 전압이 인가되면 전류는 그림 2에서 나타낸 LED특성 표에서 결정되며 LED에서 흐르는 평균전류와 컨버터의 리액터에 흐르는 평균전류는 동일한 값이 됨을 알 수 있다. 따라서 리액터에 흐르는 전류를 제어하면 LED에 흐르는 전류를 제어할 수 있다. 본 전력회로의 컨버터에서 전원 측으로 변환하는 전력은 아래식과 같다.

$$P = V_C \times i_{LED} \tag{2}$$

4. 모의실험 및 실험 결과

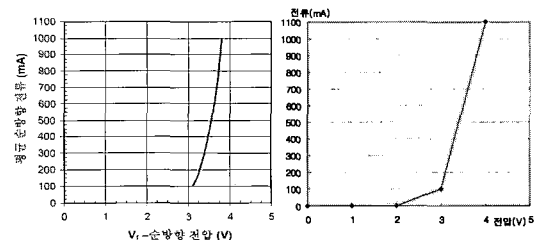
4.1 실험방법

24[V] 직류전원을 이용하여 전원구동 장치를 직류구동 방식과 펄스구동 방식으로 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 LED 모듈의 방열판 아래에 온도계를 장착하여 측정하였다.

4.2 실험결과

4.2.1 고효율 LED 실험결과

실험에 사용된 LED 1개의 전류-전압 특성을 실험하여 그림 9(b)와 같은 결과를 얻었으며 데이터 시트 제공 값과 같았다. 그림 10은 고효율 LED 1개의 시간에 따른 전류, 온도, 조도 변화를 측정하여 고효율



(a) data-sheet 제공 값 (b) 실제 측정값

그림 9 고효율 LED 전압-전류 특성

Fig. 9 Current-Voltage characteristics of high-power LED

LED의 정격구동전압인 3.7[V]입력 전압에 750[mA]로 동작 시켰을 경우 LED 자체 발열로 온도가 올라감에 따라 120분 후 전류는 590[mA]로 감소하였고 조도 또한 초기 170[lux]에서 141[lux]로 감소하였다. 온도변화는 초기 23[°C]에서 약 5분후 70[°C], 120분후 78[°C]로 변화하였다. 따라서 안정된 구동을 위해서는 전원구동 장치를 설계하여 제어하여야 한다.

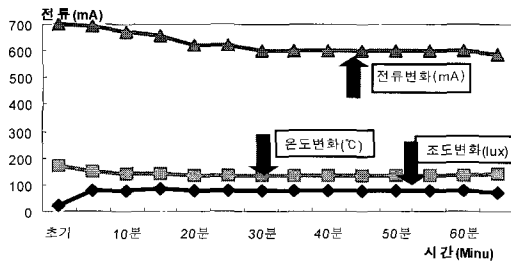


그림 10 고효율 LED 특성 변화
Fig. 10 Variation of characteristics for high-power LED

4.2.2 구동장치 실험결과

제작한 선형레귤레이터 방식의 특성을 실험하였으며 회로도는 그림 11과 같다. 입력 전압 24V에서 전류는 1.25A였으며 LED 양단에서의 출력 전압은 10.5V에

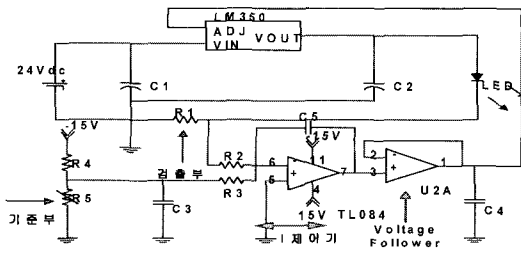
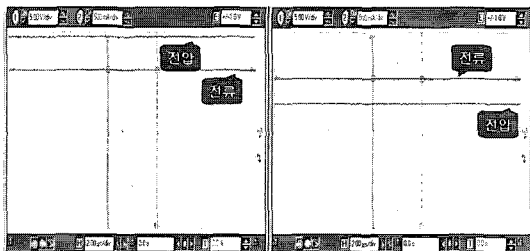


그림 11 선형 레귤레이터 방식 회로도
Fig. 11 Circuit of linear regulator mode



(a) 입력 전압, 전류 (b) 출력 전압, 전류

그림 12 선형레귤레이터 방식
Fig. 12 Linear-regulator mode

1.06A로 그림 12에 제작한 선형 레귤레이터 입력과 출력 전압, 전류 파형을 보였다. 이 방식은 레귤레이터 손실이 입력전압과 출력 전압의 차와 출력전류의 적에 해당하는 손실이 발생하게 되므로 입력전압과 출력 전압의 차이가 크지 않은 경우 보다 효율적이다. 그림 13은 제작한 평균전압에 의한 전류 제어 방식의 회로도이며 Pspice 시뮬레이션을 수행하기 위한 회로도도 그림 14이다.

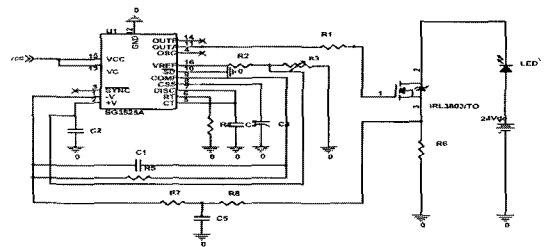


그림 13 평균전압에 의한 전류 제어방식 회로도
Fig. 13 Circuit of current control - mode with average voltage

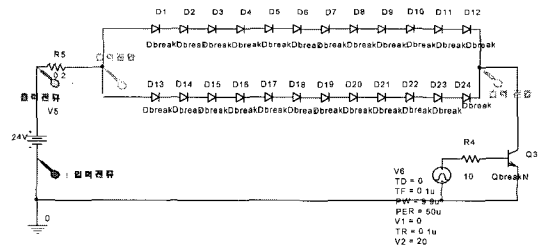
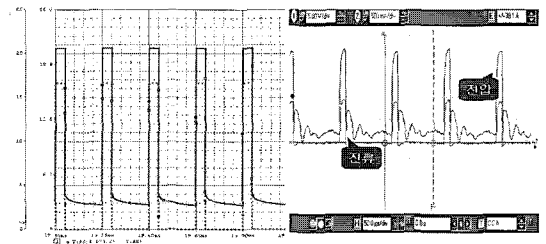


그림 14 평균전압에 의한 전류 제어 방식 시뮬레이션 회로도
Fig. 14 Circuit of simulation for current control - mode with average voltage

Pspice 시뮬레이션 후 파형과 출력 전압, 전류 파형을 LED 양단에서 측정된 결과는 그림 15와 같으며 시뮬레이션 파형과 같음을 볼 수 있다. 이 방식은 PWM



(a) Pspice 시뮬레이션 (b) 실제 출력 전압, 전류

그림 15 평균전압에 의한 전류 제어 방식
Fig. 15 Current control - mode with average voltage

Controller에 의한 구형과 펄스로 동작하며 직접 스위칭으로 인하여 스위칭 소자의 전력 손실 및 전류 측정 저항에서의 열손실이 발생하여 효율이 선형 레귤레이터 방식보다 낮았다.

그림 16은 강압 컨버터방식의 회로도이며 Pspice 시뮬레이션을 수행하기 위해 그림 17과 같은 회로도를 꾸며 각 측정 점에서 측정한 결과 그림 18과 같이 리액터와 커패시터 소자에 의해 필터링 되어 직류 출력을 얻음을 보여준다. 이 방식은 스위칭 소자를 포화영역에서 사용함으로 전력손실을 저감할 수 있으며 전력 변환 효율이 평균전압에 의한 전류 제어방식보다 높았으나 리액터를 사용하므로 전체 크기가 커지는 단점이 있었다. 강압 컨버터 방식의 전류 연속, 불연속의 경계

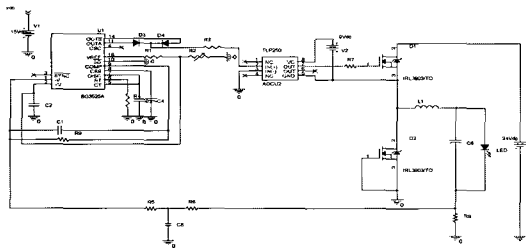


그림 16 강압 컨버터방식 회로도
Fig. 16 Circuit of buck- converter mode

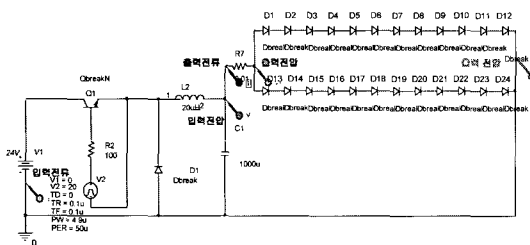
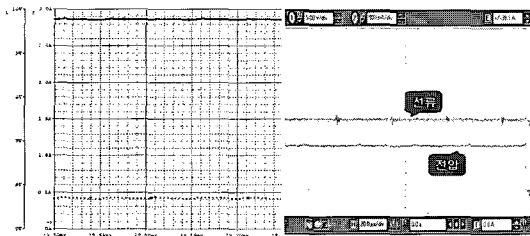


그림 17 강압 컨버터방식 시뮬레이션 회로도
Fig. 17 Circuit of simulation for buck-converter mode



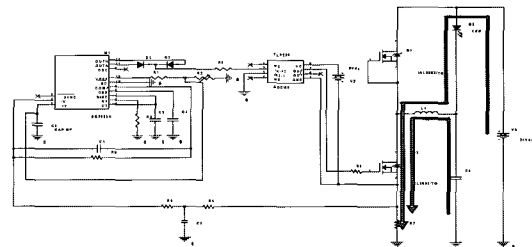
(a) Pspice 시뮬레이션 (b) 실제 출력 전압, 전류
그림 18 강압 컨버터 방식
Fig. 18 Buck-converter mode

에서 입출력 간의 식과 리액터 계산식은 다음과 같다. 이 조건과 식으로부터 듀티비(D)는 약 0.77로 계산되며 $L = 491[\mu\text{H}]$ 가 된다.

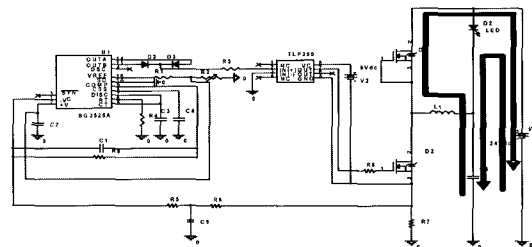
$$V_o = DV_i, \quad L = \frac{V_o(1-D)T_s}{2I_{o,\min}} \quad (3)$$

- 입력전압 : 28.8[V](축전지:24[V]공칭전압:28.8V)
- 출력전압 : 22.2[V]
- 출력전류 : 0.26[A]
- 스위칭 주파수 : 20[khz]

제안된 Back-Boost방식은 스위치의 ON-OFF동안에 그림 19와 같이 동작한다.



(a) ON 동작



(b) OFF 동작

그림 19 Back - Boost 방식 동작회로도
Fig. 19 Circuit of Back - Boost mode

그림 20은 Back-Boost방식 시뮬레이션을 수행하기 위한 회로도이며 그 결과를 그림 21에 나타내었다.

그림 22는 제안된 전력회로의 회로 동작에 대한 시뮬레이션 결과이며 커패시터를 이용하여 출력 단에서 입력 단으로 V_2 전류의 일부분이 회수됨으로서 에너지 회생을 통해 효율이 높아졌음을 확인하였다. LED의 전류를 2[A]로 동작할 경우 LED에 인가되는 전압은 약 22.2[V]가 되고 콘덴서에 인가되는 전압은 약 6.6[V]로 나타났으며 컨버터의 전달전력은 약 13.2[W]가 되었으며 LED에서 소모되는 전력은 44.4[W]로 나

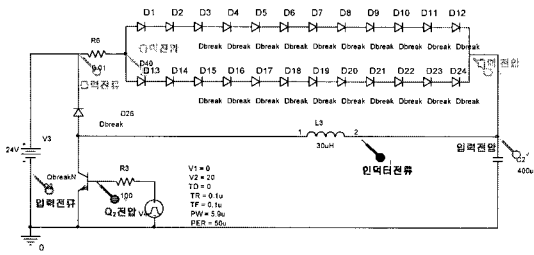
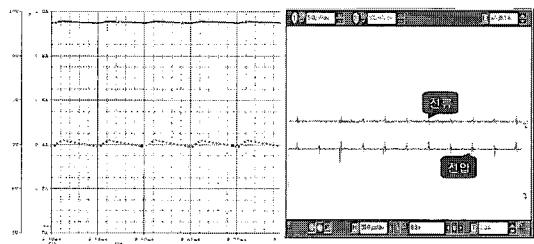


그림 20 Back - Boost 방식 시뮬레이션 회로도
Fig. 20 Circuit of simulation for Back - Boost mode



(a) Pspice 시뮬레이션 (b) 실제 출력 전압, 전류

그림 21 Back - Boost 방식
Fig. 21 Back - Boost mode

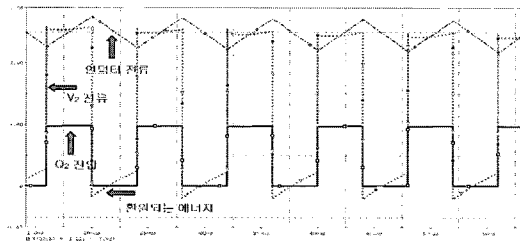


그림 22 Back - Boost 방식 시뮬레이션 결과
Fig. 22 Result of simulation for Back - Boost mode

타났다. 기존의 고효율 컨버터에서는 위와 같은 조건에서 컨버터의 전력변환은 44.4[W]가 되므로 제안된 방식보다 전력 변환율이 360% 많게 된다. 따라서 제안된 방식이 기존방식에 비하여 전력변환효율이 약 3.6배 증대됨을 알 수 있다.

Back-Boost의 전류 연속, 불연속의 경계에서 입출력 간의 식과 리액터 계산식은 식 4와 같으며 듀티비(D)는 약 0.77로 계산되며 $L = 133[\mu H]$ 가 된다.

$$V_o = \frac{1}{1-D} V_b, \quad L = \frac{V_o D(1-D)^2 T_s}{2I_{o, \min}} \quad (4)$$

· 입력전압(콘덴서 전압) : 6.6[V]

- 출력전압(배터리 전압) : 28.8[V]
- 출력전류 : 0.22[A]
- 스위칭 주파수 : 20[kHz]

그림 23은 각 구동장치의 실험 결과로 LED의 모듈이 그림 3과 같고 입력 전압 24[V]로 제작한 암실상자에서 동일한 조도 500[Lux]일 경우의 전원 구동장치 전체 소비 전류는 선형레귤레이터 방식 680[mA], 평균전압에 의한 전류 제어방식 1200[mA], 벅 컨버터 방식 260[mA], Back-Boost방식 220[mA]로 나타났다.

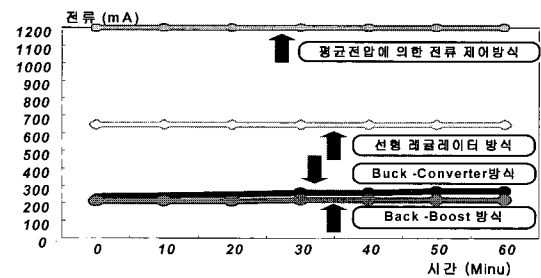


그림 23 조도 500[lux]전류특성
Fig. 23 Characteristics of current at 500[lux]

그림 24는 실험 결과를 바탕으로 제안된 방식의 전원구동장치를 제작하여 LED 모듈을 동작시켰다.

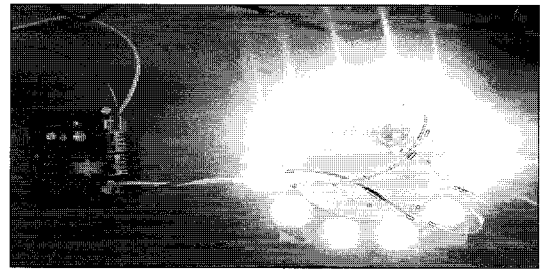


그림 24 Back-Boost 방식에 의한 LED 모듈의 동작
Fig. 24 Operating of high - power LED module with back-Boost mode

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 저하시

키는 단점이 있다. 현재 일반적으로 사용되는 강압타입의 고효율 LED 구동장치는 스위칭 소자를 포화영역에서 사용함으로써 전력손실을 저감할 수 있는 방식으로 전력 변환 효율이 다소 높은 장점이 있으나 리액터의 크기가 커져 전력변환기의 크기가 커지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 Back - Boost방식의 구동회로를 제안하였다. 제안된 고풍력 LED의 전원구동장치의 개발로 기존의 강압 타입보다 리액터의 크기를 491[μH]에서 133[μH]로 줄일 수 있어 소형으로 제작이 가능하고 효율이 개선됨을 확인하였다.

본 논문은 산업자원부 출연금등으로 수행한 지역 전략산업 석 박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 장우진외, "국내외 광원분야의 신기술 동향", 한국 조명·전기설비학회 2004춘계학술대회 조명분야 전문 워크샵, pp.6-7, 2004.
- [2] 정학근, "LED 교통신호등 특징 및 기술현황", ETIS 분석지, pp.122-136, 2002.
- [3] 홍창희, "고휘도 LED 기술 개발 동향, 에너지 전문가 기술교육 프로그램, pp.54, 2002.
- [4] 임성무, 권용석, 송상빈, 여인선, "고출력 발광다이오드의 구동전압 유형에 따른 특성", 한국 조명·전기설비학회 학술대회 논문집, pp.169-173, 2003.11.
- [5] 김훈, "조명 광원으로서 LED", 한국 조명·전기설비학회 지 제17권 제5호, pp.3-10, 2003.10.
- [6] 한수빈, "LED조명용 전원의 설계기술 현황", 한국 조명·전기설비학회지 제17권 제2호, pp.39-49, 2003.
- [7] 한수빈, 정학근, 정봉만, 박석인, 유승원, "고 휘도 LED 램프의 전원기술 동향" 전력전자학술대회 논문집(2), pp.906-909, 2004.
- [8] 이성룡, 전철환, 이수원, 이은철, "OF-LED를 이용한 에너지 절약형 광고 조명 시스템", 전력전자학술대회 논문집(2), pp.851-854, 2004.
- [9] 연제선, 안태영, "정 전류 제어가 가능한 100W급 초박형 DC-DC 컨버터", 2004년도 전력전자학술대회 논문집(2), pp.713-717, 2004.
- [10] Hewlett - Packard, "Optoelectronics/fiber - optic application manual second edition", Hewlett-Packard company, pp.1-56, 1977.
- [11] Power light source Luxeon III Emitter Technical Data-sheet DS45, Lumileds, pp.1-9, 2005.
- [12] Thermal Design Using Luxeon Power Light Sources AB05, Lumileds, pp.2-25, 2005.

저 자 소 개



정지현(鄭智現)

1978년 12월 22일생. 2001년 목포대 전기공학과 졸업. 2005년 현재 목포대 전기공학과 석사과정.



송성근(宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 졸업(석사). 동 대학원 전기공학과 박사과정. 2001년~2004년 (주)프로폼시스템 연구원. 현재 전남대 전기공학과 박사과정.



박성준(朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공학). 1996년~2000년 거제대 전기과 조교수. 2000년~2003년 동명대 전기과 조교수. 2003년~현재 전남대 산업 및 전기공학계열 조교수. 당 학회 논문지 위원.



장영학(張永學)

1960년 3월 1일생. 1981년 전남대 계측공학과 졸업. 1984년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991년~1993년 목포대 전기공학과 전임강사. 1993년~1997년 목포대 전기공학과 조교수. 1997년~1999년 목포대 전기공학과 부교수. 1999년~2002년 목포대 전기제어공학부 제어계측공학전공 부교수. 2002년~현재 목포대 전기제어신소재공학부 제어시스템공학전공 교수.



문채주(文彩柱)

1959년 12월 26일생. 1981년 전남대 계측공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1986년~1996년 한국 전력기술 부설 전력기술개발연구소 책임연구원. 1996년~1997년 한국전력기술 원자로설계개발단 책임연구원. 1997년~1999년 목포대 공과대학 전기제어공학부 전임강사. 1999년~현재 목포대 공과대학 전기공학과 부교수. 2004년 3월~현재 목포대 전기제어신소재공학부장. 2004년 4월~현재 목포대 신재생에너지 기술연구센터 소장.