

## 마이크로컨트롤러를 이용한 Power LED 구동용 정전류형 DC-DC 컨버터 구동에 관한 연구

황락훈<sup>1\*</sup>, 나승권<sup>2</sup>, 최기호<sup>3</sup>

<sup>1</sup>세명대학교 전기공학과, <sup>2</sup>한국폴리텍대학 의용공학과, <sup>3</sup>한국폴리텍대학 전기제어학과

### A Study on Power LED driving constant Current-type DC-DC converter Driven using microcontroller

Lark-Hoon Hwang<sup>1\*</sup>, Seung-kwon Na<sup>2</sup> and Gi-Ho Choi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept.of Electrical Engineering, Semyoung University

<sup>2</sup>Dept.of Biomedical Engineering, Korea Polytechnics College

<sup>3</sup>Dept.of Electric Control Engineering, Korea Polytechnics College

**요 약** 본 연구에서 LED는 에너지 소비가 큰 기존의 조명 시스템인 형광등과 백열등을 대체할 수 있는 새로운 조명 시스템으로 주목받고 있으며, 파워 LED 구동기인 DC-DC 컨버터에 관한 연구이다. 다양한 직류전원을 활용 할 수 있는 승압형 DC-DC 컨버터로 설계사양을 통한 인덕터 L과 커패시터 C의 값을 산출하여 PSPICE를 통한 최적의 값을 추정하였다. 컨버터의 스위칭 주파수는 50[kHz]로 최초 듀티비는 10[%]에서 출력전압의 검출 값에 따라 점차적으로 증가시키도록 하였다. 그 결과로 승압형 파워 LED 구동기를 시뮬레이션한 특성은 설계사양과 비교하여 5[%]이하의 오차로 근사적으로 나타났다. 또한, 입력전압 15[V]를 인가하여 안정된 24[V]의 안정된 출력전압을 얻었으며, 디밍 제어를 통한 밝기 조절 및 소비전류의 조정이 가능한 결과를 얻을 수 있었다.

**Abstract** In this paper, Power LED(Light Emitting Diodes) is studied to driver as a new lighting system in the spotlight, replacing a large existing lighting system with fluorescent and incandescent lighting. To take advantage a variety of DC power as the boost DC-DC converter design specifications through the inductor L and capacitor C through PSPICE to calculate the best estimate of the value. Converter's switching frequency is 50[kHz], the first Duty Rate was made to increase gradually depending on the value of the detection were, 10[%] in the output voltage. As a result, the simulated Boost Power LED driver characteristics is in comparison with the design specifications, 5[%] or less as the error was approximated. So, when input 15[V] were offered, a stable output 24[V] were obtained, and Dimming Control through the adjustment of brightness and current consumption were obtained to possible result.

**Key Words** : LED(Light Emitting Diodes), Reverse Recovery Time, Constant Current Controller, Dimming Control PSPICE

### 1. 서론

기존의 조명 시스템인 형광등과 백열등은 에너지 소비가 높은 편으로 많은 전기 에너지를 필요로 한다. 현재의

에너지 공급의 대부분은 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석 연료와 원자력에 의해 이루어지고 있다. 최근 화석연료의 고갈과 지구 온난화 등의 환경문제는 어느 한 국가의 문제가 아닌 전 세계적 문제로 부각되면서 세계 선진국을

\*Corresponding Author : Lark-Hoon Hwang

Tel: +82- email: lhwang@semyung.ac.kr

접수일 11년 12월 06일 수정일 (1차 12년 03월 02일, 2차 12년 03월 29일, 3차 12년 04월 06일, 4차 12년 04월 11일)  
게재확정일 12년 04월 12일

중심으로 에너지 절감 및 환경 문제를 해결 할 수 있는 저탄소 녹색성장을 목표로 하고 있다. 국내의 에너지 수입 의존도는 낮아지고 있다고 하지만 90[%]이상을 해외 수입에 의존하고 있다. 수입 의존도를 낮추는 것도 중요하지만 기존의 에너지 소비를 감소시킬 대책이 절실하게 요구된다. 정부는 신 성장 동력 산업 계획을 발표하면서 녹색 기술 산업으로 신 재생에너지, LED 응용, 탄소 저감 에너지 등 6개 분야를 선정하여 이 분야를 급속하게 성장시키고 있다. 기존의 LED는 출력이 낮아 근접 신호 전달 또는 간단한 광센서 등에 주로 사용되었다. 그러나 최근 고효율, 고투출의 고투도 LED와 Power LED의 등장으로 LCD 백라이트, 자동차, 신호기기, 기존의 조명 시스템 등을 빠르게 대체 해 나가고 있다. LED는 기존 광원의 단점인 유독성 물질(수은 증기)로 인한 환경오염, 적은 전력소비를 통한 비용 절감, 100,000시간 이상의 반영구적인 수명으로 짧은 수명을 극복 할 수 있는 장점을 지니고 있다.[1-3]

LED가 조명시장에서 급속도의 성장과 주목을 받고 있는 이유는 적은 에너지 소비를 통해 에너지 사용 비용을 절감 할 수 있기 때문이다. 빛을 생산하는데 있어 백열등의 10배, 형광등의 2배 이상 효율적이며 빛을 출력으로 제공하는데 필요한 전력을 감소하고 있으며 향후 효율이 계속적으로 증가할 것으로 전망하고 있다.

LED를 조명으로 활용하기 위해 필요한 전기적인 특성으로 정전류 제어를 필요로 하는 경우가 있다. 일반적으로 DC-DC 컨버터인 벡(Buck), 부스트(Boost), 벡 부스트(Buck-Boost) 컨버터를 이용한 LED 구동기가 많이 사용되며, 최근 단상 전원에서 PFC를 이용한 플라이백 컨버터로 구성된 LED 구동기도 조명설계에 주목을 받고 있으며 다양하게 연구되고 있다.[4-8]

DC-DC 컨버터를 이용한 LED 구동은 PV 시스템, 리튬 이온 및 폴리머 전지 등 다양한 DC전원에 적용이 가능하게 된다. 그런데 비 절연형 DC-DC컨버터는 EMC, EMI와 안정성의 문제 등이 단점으로 지적되고 있지만 높은 효율과 저비용 구현이 가능하여 많이 사용되고 있다.

Power LED는 발열이 크며 발열에 의한 반도체 열화 현상으로 전류 변화와 밝기가 변화하여 조명으로 사용하기에 불안정한 단점이 있다. 정전압 구동시의 LED의 온도 상승에 의한 전류변화로 LED가 소손 될 수도 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 정전류 구동기가 필수 요소라 할 수 있다.[9,10,12]

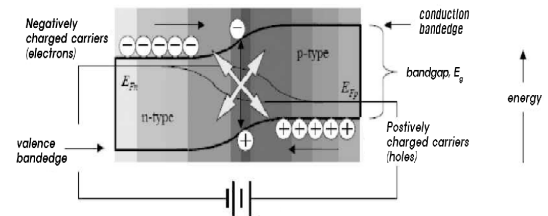
본 연구에서는 마이크로 컨트롤러 MSP430을 이용한 승압방식의 정전류형 DC-DC 컨버터를 제안 하였고, 제한된 DC 전원에서 전력의 소비량을 조절하기 위해 PWM의 듀티비를 이용하여 디밍 동작을 구현하였으며

Op-Amp로 구성된 전류센서를 이용하여 PWM제어를 통해 Power LED를 구동 에너지 절감 효과에 대한 고찰을 하고자 한다.[11]

## 2. Power LED와 DC-DC 컨버터의 특성

### 2.1 Power LED 전기적 특성

LED는 양극과 음극 두 단자를 가진 PN-접합 소자로 구성되며 PN-접합에서 전자가 가지는 에너지가 직접 빛 에너지로 변환되므로 열이나 운동 에너지를 필요로 하지 않는다. PN-접합 부근에서 전자와 정공의 결합 시에 광자가 발생되어 빛으로 방출된다. 그림 1은 LED의 발광 구조를 나타낸다.



[그림 1] LED의 발광 구조  
[Fig. 1] Luminescence structure of LED

LED의 양극이 음극에 비해 전위가 높은 경우 순방향 바이어스 되며 도통을 시작한다. 도통된 다이오드는 두 단자 사이에 상대적인 순방향 전압 강하가 나타나며 이 전압 강하의 크기는 제조 공정 및 온도에 따라 변하게 된다. 발광다이오드의 V-I 특성곡선은 일반 다이오드와 동일한 특성을 지니며 LED의 점등 전압은 발광색에 따라 차이가 있지만 1.5~3.8[V]이내이며, 고효율 LED의 경우 5[V]전후의 제품도 있다. 이 때, 소비전류는 1~50[mA]이내이며 고효율 LED는 1~3[A]이내의 크기를 갖는다. 따라서 다이오드에 흐르는 쇼클레이 다이오드 방정식을 이용하여 다이오드 전류를 구하는 것을 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$I_D = I_S (e^{VD/nV_T} - 1) \quad (1)$$

$I_D$  : 다이오드에 흐르는 전류,  $V_D$  : 다이오드 전압

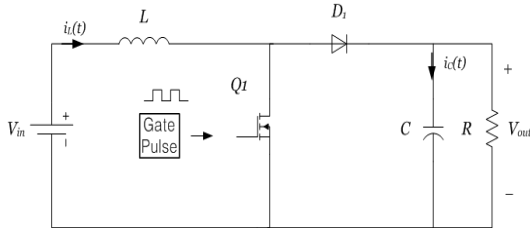
$I_S$  : 누설 전류 ( $10^{-15} \sim 10^{-16}$ 범위)

$n$  : 방사계수 혹은 이상계수의 경험적 정수

### 2.2 승압형 컨버터의 특성

승압형 컨버터는 입력전압보다 더 큰 출력전압을 제공하는 비 절연형 컨버터로 출력전류는 입력전류 보다 작은 특성을 지니고 있다.

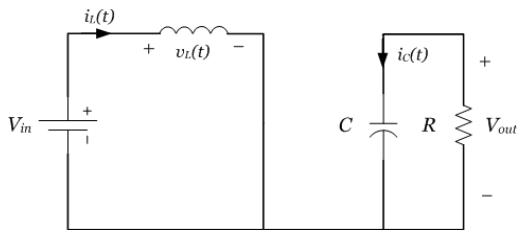
그림 2는 승압형 DC-DC 컨버터 회로를 나타내고 있다.



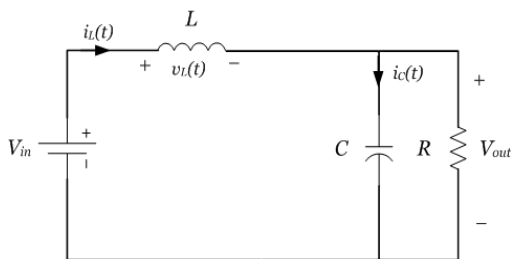
[그림 2] 승압형 DC-DC 컨버터 회로  
[Fig. 2] Boost DC-DC converter circuit

승압형 DC-DC 컨버터는 정상상태에서 턴 온과 턴 오프 두 가지 모드로 해석할 수 있다. 스위치의 턴 온 시는 인덕터 전류는 증가하며 인덕터 L에는 에너지가 축적되고 그림 3의 모드 1로 나타낼 수 있다. 턴 오프 시는 인덕터에 축적되었던 에너지는 다이오드를 통하여 출력 측으로 전달되며 인덕터 전류는 감소하게 되며 그림 3의 모드 2와 같이 나타낼 수 있다.[2,3]

(a) 모드 1



(b) 모드 2



[그림 3] 승압형 DC-DC 컨버터의 회로 동작  
[Fig. 3] Circuits operation of boost DC-DC converter

모드 1은 스위치가 턴 온 되면서 인덕터 에 에너지가 축적되는 과정으로 인덕터 전압과 커패시터의 전류는 식 (2)와 같이 된다.

$$v_L = V_{\in}, \quad i_C = -\frac{v_{out}}{R} \quad (2)$$

식 (2)를 근사화하면 식 (3)과 같이 된다.

$$v_L = V_E, \quad i_C = -\frac{V_{out}}{R} \quad (3)$$

모드 2는 스위치가 턴 오프 되면서 인덕터에 축적된 전류가 다이오드를 통해 출력측에 전달되는 과정으로 인덕터 전압과 커패시터의 전류는 식 (4)와 같이 된다.

$$v_L = V_{\in} - v, \quad i_C = i_L - \frac{v_{out}}{R} \quad (4)$$

식 (4)를 근사화하면 식 (5)와 같이 된다. 한 주기 동안 인덕터에 인가되는 전압은 식 (6)과 같이 된다.

$$v_L = V_{\in} - V_{out}, \quad i_C = I - \frac{v_{out}}{R} \quad (5)$$

$$\int_0^{T_s} v_L(t) dt = V_{\in}DT_s + (V_{\in} - V_{out})D'T_s \quad (6)$$

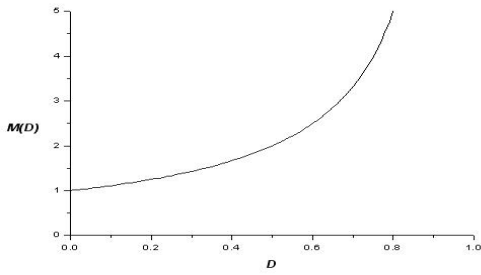
한 주기 동안 인덕터에 양단의 전압의 합은 0이므로 식 (7)과 같이 된다.

$$V_{\in}(D+D') - V_{out}D' = 0 \quad (7)$$

식 (7)을  $D+D'=1$ 의 관계에서 입력전압과 출력전압의 변환비인 식 (8)과 같고 승압형 DC-DC 컨버터는 듀티비가 1에 가까워지면 인덕터 전류가 매우 커져 큰 전력 손실이 발생하게 된다.

$$M(D) = \frac{V_{\in}}{V_{out}} = \frac{1}{D'} = \frac{1}{1-D} \quad (8)$$

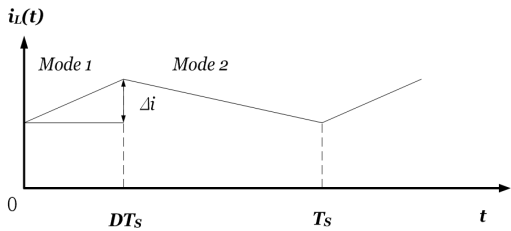
따라서 그림 4는 승압형 DC-DC 컨버터의 전압 변환 비를 나타내고 있다.



[그림 4] 승압형 DC-DC 컨버터의 전압 변환비  
 [Fig. 4] Voltage conversion rate of boost DC-DC converter

승압형 DC-DC 컨버터의 인덕터 전류는 입력전류와 같고 출력전류보다 크며 그림 5와 같다. 리플 전류  $\Delta i$ 는 식 (9)와 같다. 리플 전류  $\Delta i$ 의 값을 통해 인덕터  $L$ 의 값을 결정하는데 사용이 가능하게 된다.

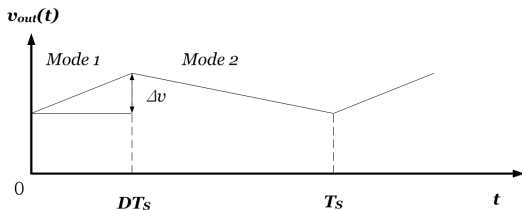
$$\Delta i_L = \frac{V_{in}}{2L}DT_s \quad (9)$$



[그림 5] 승압형 DC-DC 컨버터의 인덕터 전류파형  
 [Fig. 5] Inductor current waveform of boost DC-DC converter

승압형 DC-DC 컨버터의 출력 리플 전압  $\Delta v$ 는 식 (10)과 같으며, 식(10)을 이용하면 출력 리플 전압  $\Delta v$ 가 정해져 있을 때, 커패시터의 값을 선정할 수 있고 그림 6과 같은 상태로 나타 난다.

$$\Delta v = \frac{V_{out}}{2RC}DT_s \quad (10)$$



[그림 6] 승압형 DC-DC컨버터의 출력 전압 리플 파형  
 [Fig. 6] Output voltage ripple waveform of boost DC-DC converter

### 3. 실험장치 및 제작 특성

#### 3.1 승압형 DC-DC 컨버터 구성

승압형 DC-DC 컨버터는 동작원리를 근거로 인덕터, 커패시터, 저항의 값을 결정 하였으며, 각 반도체 소자들은 입력전압, 전류 와 출력전압, 전류의 특성을 반영하여 선택되었다. 승압형 DC-DC 컨버터의 설계사양 및 인덕터와 커패시터의 값은 표 1과 같다.

[표 1] 승압형 DC-DC 컨버터의 설계사양과 인덕터, 커패시터의 값

[Table 1] Specification of boost DC-DC converter and inductor, capacitor values

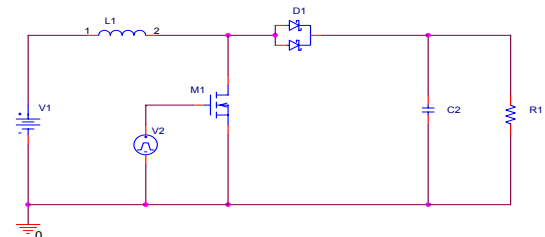
입력전압	15 [V]
출력전압	24 [V]
출력전류	0.3~1.2 [A]
출력 전압 리플	50 [mV]
스위칭주파수	50 [kHz]
인덕터	488 [uH]
커패시터	43 [uF]

승압형 DC-DC 컨버터의 인덕터 값은 출력 전류리플의 식 (11)을 이용하여 산출할 수 있다. 또한, 승압형 컨버터의 커패시터 값은 출력전압리플의 식 (12)를 이용하여 산출한다.

$$L = \frac{V_{in}}{2\Delta i}DT_s \quad (11)$$

$$C = \frac{V_{out}}{2R\Delta v}DT_s \quad (12)$$

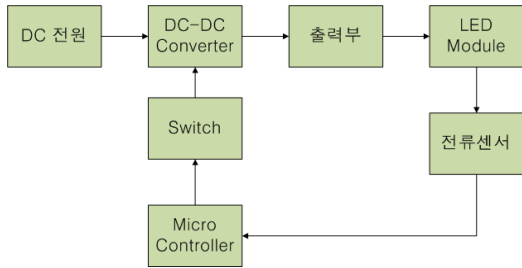
승압형 DC-DC 컨버터의 특성에서 주어진 설계사양과 수동소자의 값을 이용하여 그림 7과 같이 구성하였으며, PSPICE를 이용한 시뮬레이션을 통하여 출력전압 과 전류의 예상된 값들을 나타 낼 수 있었다.



[그림 7] 시뮬레이션을 위한 승압형 DC-DC 컨버터 회로  
 [Fig. 7] Boost DC-DC converter circuit for simulation

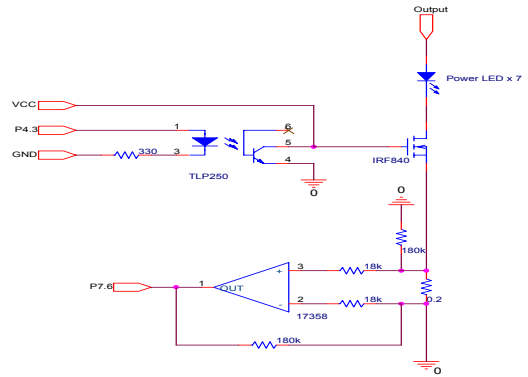
### 3.2 LED 구동회로의 구성

LED는 전압에 따라 전류가 흐르는 반도체 소자로 전압은 독립변수이고 전류는 종속변수로 전압구동 소자이다. LED는 전기적 특성과 같이 전류에 의해 광량의 조절이 가능하며 전압에 민감하게 반응하는 소자로 전류를 고정 시키는 것이 LED의 특성을 유지할 수 있다. LED 구동 시 열과 빛이 함께 발생하게 되며 열은 LED의 전류를 상승하게 하며 전기적 특성 및 광학적 특성의 저해요인이 됨과 동시에 고장의 원인이 되기도 한다. 일정한 출력전류를 얻기 위해서 피드백 회로를 통해 검출된 출력전류를 PWM 제어기로 보내어 PWM파형 듀티비를 조정함으로써 일정한 출력전류를 얻을 수 있다. 그림 8은 LED제어 정전류 구동회로의 블록다이어그램을 나타낸다.

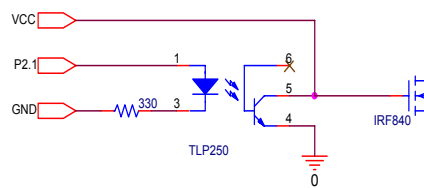


[그림 8] LED 제어 정전류 구동회로의 블록다이어그램  
[Fig. 8] LED control constant current driver circuit of block diagram

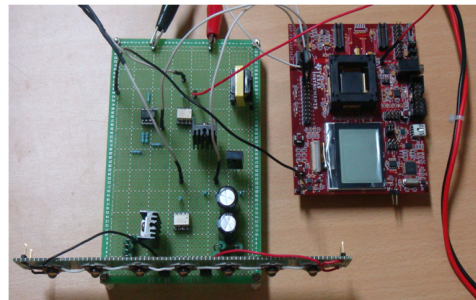
LED구동을 위한 승압형 DC-DC 컨버터는 다음과 같은 요건을 필요로 한다. LED의 손상 방지를 위한 과전압 보호, 열 상승에 따른 전류제한과 과전압 보호를 필요로 한다. 디밍(Dimming) 제어를 위한 디밍 제어부와 과전류 보호 및 전류제어를 위한 전류 센싱부와 과전압 검출을 위한 출력전압을 센싱부와 제어를 위한 MSP430F5438 실험키트를 이용하여 구성하였다. 그림 9와 같이 구성하여 디밍 제어를 위해 스위칭 소자인 MOSFET를 사용하고 전류상승을 억제하고 제어하기 위한 전류 센싱회로는 히다치 반도체의 듀얼 OP-AMP IC인 17358을 사용하였으며, 과전압 보호를 위해 ADC컨버터를 이용하여 출력전압을 센싱하도록 구성하였다. 또한 그림 10은 회로의 오동작 시 마이크로컨트롤러를 보호하기 위해 컨버터와 절연을 위한 TLP 250을 이용하여 회로를 구성하였다. 그림11은 Microcontroller를 이용한 승압형 DC-DC 컨버터 LED 구동기의 제작한 실제도를 나타내었다.



[그림 9] 디밍제어 회로와 전류 센싱 회로  
[Fig. 9] Dimming control circuit and current sensing circuit



[그림 10] 컨버터 스위치 절연 회로  
[Fig. 10] Converter switch isolated circuit



[그림 11] Microcontroller를 이용한 승압형DC-DC 컨버터 LED 구동기  
[Fig. 11] Boost DC-DC converter LED driver using microcontroller

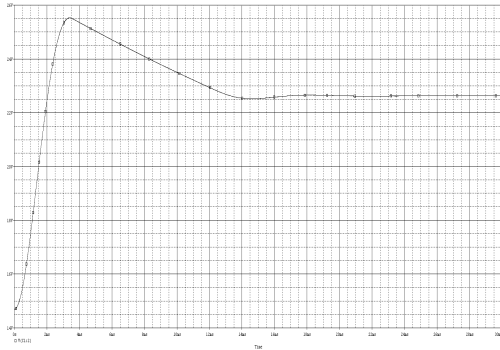
## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 승압형 DC-DC 컨버터의 시뮬레이션

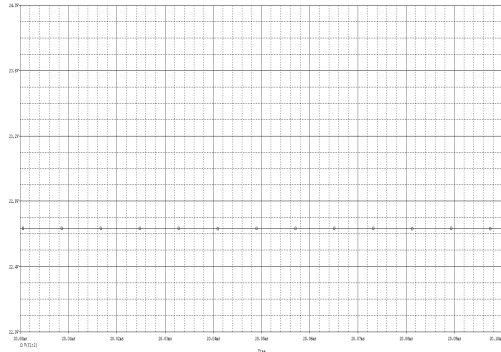
승압형DC-DC 컨버터의 구동 주파수는 50[kHz], 듀티비는 35[%],  $V_{DSS} = 500[V]$ ,  $I_D = 8.5[A]$ 인 전력용 MOSFET 스위치인 IRF840과 환류다이오드는  $V = 60[V]$ ,  $I_F = 10[A]$ 의 전기적 특성을 이용하여 구동하며, 인덕터

의 값을 380[uH], 480[uH], 1100[uH]과 저항의 값은 30 [Ω], 47[Ω], 68[Ω]로 변환하여 시뮬레이션 하였다.

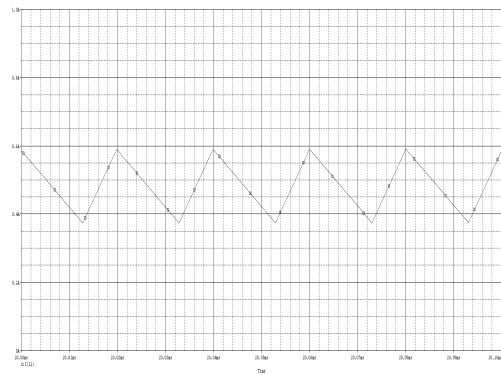
그림 12는 480[uH]일 때의 출력전압, 출력 리플전압과 인덕터 전류의 파형을 나타낸다.



(a) 출력전압 파형



(b) 출력 전압 리플 파형



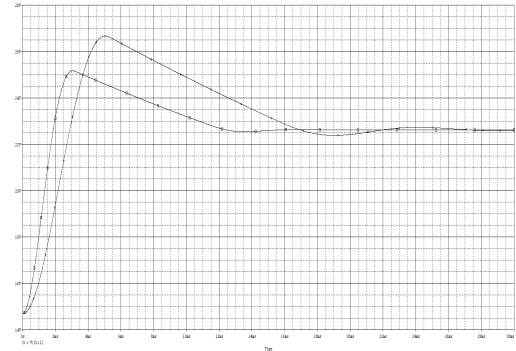
(c) 인덕터 전류 파형

[그림 12] 480[uH]의 시뮬레이션 출력 파형  
[Fig. 12] Simulation output waveform of 480[uH]

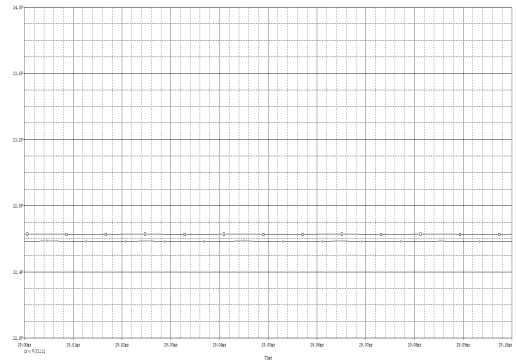
그림 13은 380[uH], 1100[uH]일 때의 출력전압, 출력 리플전압과 인덕터전류의 파형을 나타낸다. 인덕터  $L_1$ 의 값이 작아질수록 인덕터 리플전류  $\Delta i_L$ 의 값의 변화

가 커졌으며 출력전압의 침투값의 변화를 확인할 수 있었다.

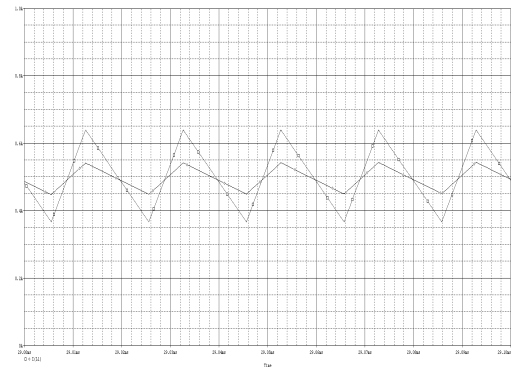
출력전압은 18[msec]에서 안정된 값을 보였으며 출력리플전압  $\Delta v_o$ 는 계산된 커패시터 값의 2배로 구성되어 변화가 매우 작은 것을 확인할 수 있었다. 침투값에 의한 컨버터 또는 기타 반도체의 고장을 방지하기 위해 소프트 스타트 방법을 적용할 수 있다.



(a) 출력전압 파형



(b) 출력 전압 리플 파형

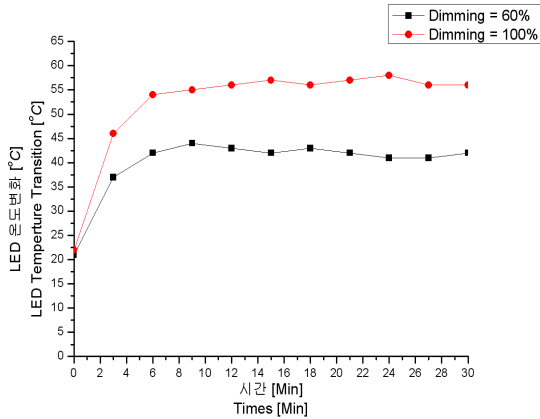


(c) 인덕터 전류 파형

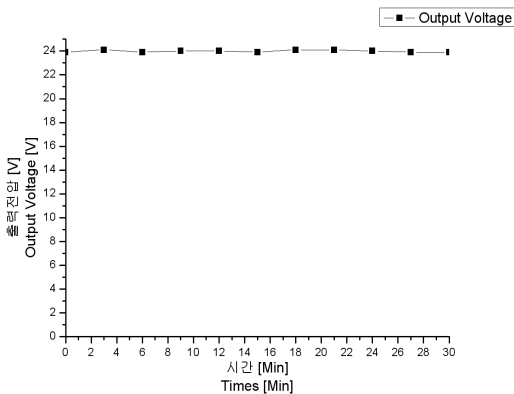
[그림 13] 380[uH], 1100[uH]의 시뮬레이션 출력 파형  
[Fig. 13] Simulation output waveform of 380[uH], 1100[uH]

### 4.2 승압형 컨버터의 구동 특성 및 LED 구동

제작된 승압형 DC-DC 컨버터를 이용하여 30분간 2회에 걸쳐 점등하였을 때 구동 특성을 조사하였다. 그림 14와 그림 15는 점등 후 구동시간에 대한 LED 온도변화와 출력전압의 변화를 나타내며 출력전압은 일정하게 유지되었다. LED 모듈의 온도변화는 구동 초기에 급격하게 증가하였으며 일정시간이 지난 후 안정화 되었다.



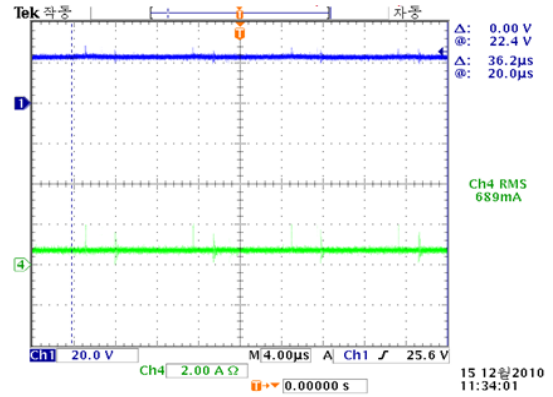
[그림 14] 구동시간에 대한 LED 온도변화  
[Fig. 14] LED temperture transition for driving times



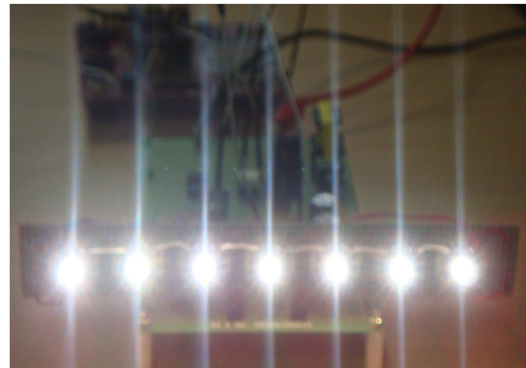
[그림 15] 구동시간에 대한 출력전압  
[Fig. 15] Output voltage for driving times

그림 16은 100[%] 디밍 제어 점등 시 출력전압과 출력 전류의 파형을 나타내었고 그 때에 LED 점등 상태를 그림 17에 나타내었다. 그림 18은 80[%]의 디밍 제어 시 출력전압과 출력전류의 파형을 나타내었다. 또한, 그림 19는 40[%]의 디밍 제어 시 출력전압과 출력전류의 파형을 나타내었고, 그림 20은 40[%]의 디밍 제어 시의 LED 점등 상태를 나타 내었다. 그림 21은 20[%]의 디밍 제어 시 출력 전류파형을 나타내었다. 이와 같은 실험 결과로

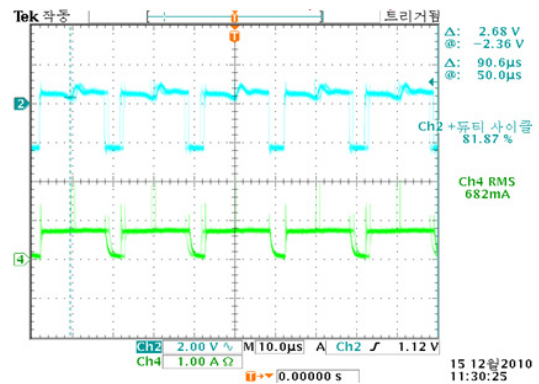
기존 상태의 점등보다는 본 연구 시스템의 사용은 디밍 제어에 따른 소비전류의 변화를 최대한 제어 할 수 있는 시스템으로 동작하고 있음을 확인할 수 있었다.



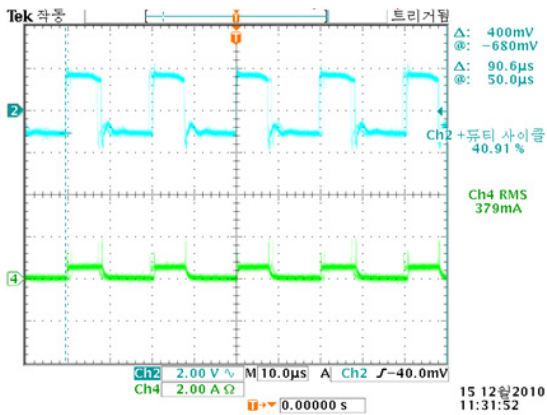
[그림 16] 출력전압 및 전류 파형  
[Fig. 16] Output voltage and current waveform



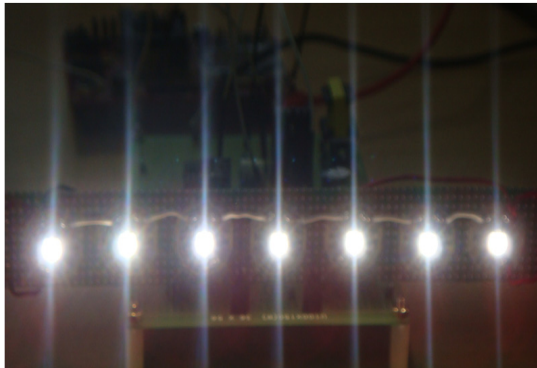
[그림 17] Power LED의 100[%] 디밍 점등  
[Fig. 17] 100[%] Dimming lighting of power LED



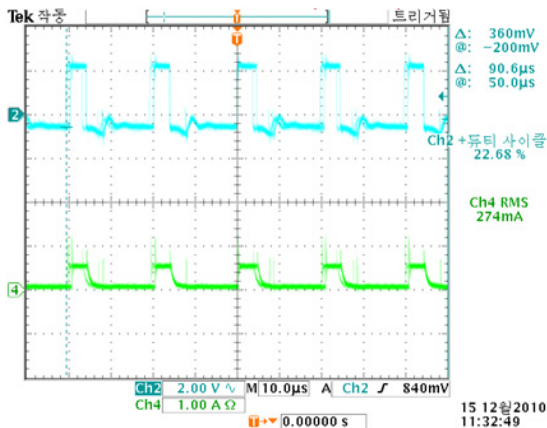
[그림 18] 듀티비 80[%]의 Power LED 전류파형  
[Fig. 18] Power LED current waveform of duty rate 80[%]



[그림 19] 듀티비 40[%]의 Power LED 전류파형  
 [Fig. 19] Power LED current waveform of duty rate 40[%]



[그림 20] Power LED의 40[%] 디밍 시 점등  
 [Fig. 20] 40[%] Dimming lighting of power LED



[그림 21] 듀티비 20[%]의 Power LED 전류파형  
 [Fig. 21] Power LED current waveform of duty rate 20[%]

## 5. 결론

본 연구에서는 승압형 Power LED 구동기를 제작하여 실험을 통해 구동효율을 높이고 간단한 조명 시스템을 구성 하였으며, PSPICE를 통한 시뮬레이션을 수행하여 나온 결과와 승압형 DC-DC 컨버터의 실험을 통해 시스템 특성과 전력변환 과정에 대하여 고찰해 볼 수 있었고, 실험을 수행한 결과 다음과 같은 특성의 결론을 얻을 수 있었다.

- [1] 제작된 승압형 DC-DC 컨버터와 시뮬레이션 결과가 5[%]이하의 오차로 거의 일치함을 알 수 있었으며 이를 이용하여 실제 승압형 DC-DC 컨버터의 일정한 출력전압과 전류를 얻을 수 있어서 효과적인 구성으로 동작 할 수 있었다.
- [2] 정전류 제어법을 사용하여 Power LED 구동을 하고, 승압형 DC-DC 컨버터를 소프트 스타트로 제어하여 점등 출력전압에 의한 손상을 방지할 수 있었다.
- [3] 승압형 DC-DC 컨버터의 전압, 전류 파형은 대체로 양호하였으나 드라이버회로에서의 손실과 전력 변환과정에서의 손실 등으로 인하여 높은 설계사양에 명시된 것과 같은 출력을 얻지 못하는 단점이 있었다.
- [4] 디밍 제어로 소비전류의 조절을 하므로서 제한된 DC전원의 전력소비를 조절할 수 있었다.

향후에는 다양한 전원에서 사용 가능한 고효율의 플라이백 혹은 포워드 컨버터 형태의 구동기적용에 대한 연구가 진행 되어야 하며, 마이크로컨트롤러를 이용한 통신 시스템 및 LCD를 이용하는 사용자의 전력소비량을 표시하여 전력공급자에 정보를 제공하는 스마트그리드 시스템 구성이 향후과제로 사료된다.

## References

- [1] Young-su Seo, Lark-Hoon Hwang, Moon-taek Cho, Gwang-yeol Sim, Dong-geol Gwak, Su-hyeong Chae, Seung-kwon Na, "PSIM PSPICE simulation and power electronics-oriented" PP.230~241, Dong-il Publisher, 2007.
- [2] Hwi-beom Shin, Se-gyo Jeong, "The basis of power electronics I" PP.44~51, GS Inteobjizeon, 2009.
- [3] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics Circuits, Devices and Applications" PP.190~194, Prentice Hall, 1988



[4] Seong-woo Yun, "Yeol-hyeol-gang-eou C Programming" FREELEC. 2005

[5] Monthly e-technology, "Learn from basic skills to LEDI", PP.21~52, Monthly e-technology, 2006.

[6] Jeong-guk Park, Eun-ah-Mun, Il-ju Kim, Geum-bae Jo, Hyun-chul Kim, " LED driver circuit using a boost converter on the way research", Chosun University, Engineering and Technology Journal PP.165~170, 2009.

[7] Young-gi Jeong, Nam-gun Kim, Jong-gyeong Yang, Dae-hui Park, "For driving high-power LED constant current boost converter circuit design "KIEE, Summer Conference PP.1593~1594, 2010.

[8] Xuecheng Zou, Kai Yu, Zhaoxia Zheng, Xiaofei Chen, Zhige Zou, Dingbin Liao, " Dynamic Current Limitation Circuit for White LED Driver" IEEE, PP.898~901, 2008.

[9] van der Broeck, Heinz; Sauerlander, Georg; Wendt, Matthias;, "Power Driver Topologies and control schemes for leds" IEEE, PP.1319~1325. 2007

[10] Wing Yan Leung, Tsz Yin Man; Mansun Chan, "A high-power-LED driver with power-efficient LED-current sensing circuit" IEEE, PP.354~357, 2008

[11] Huang-Jen Chiu, Yu-Kang Lo, Jun-Ting Chen, Shih-Jen Cheng, Chung-Yi Lin, Shann-Chyi Mou, "A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications" IEEE, PP.735~743, 2010.

[12] Tzuen-Lih Chern, Li-Hsiang Liu, Ping-Lung Pan, Yi-Jie Lee, "Single-stage Flyback converter for constant current output LED driver with power factor correction" IEEE, PP.2891~2896. 2009

**나 승 권(Seung-Kwon Na)**

[정회원]



- 1999년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)
- 1981년 7월 ~ 1988년 4월 : 부산위생(한방)병원
- 1988년 5월 ~ 1994년 8월 : 한국수자원공사
- 1994년 8월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 원주캠퍼스 의용공학과 교수

<관심분야>

의공학 및 에너지 변환, 자동제어, 전기기기, 전력전자 응용분야 등

**최 기 호(Gi-Ho Choi)**

[정회원]



- 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 1981년 10월 : 한국 폴리텍대학 남인천 캠퍼스 전기제어과 조교수
- 2008년 2월 ~ 현재 : 한국 폴리텍대학 원주캠퍼스 전기제어과 부교수

<관심분야>

소방설비, 승강기, 전기기기, 전력전자 응용 분야 등

**황 락 훈(Lark-Hoon Hwang)**

[정회원]



- 1981년 2월 : 명지대학교 전기공학과(공학사)
- 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1991년 2월 : 충남 전문대학 (현 대덕대학) 전기과 조교수
- 1991년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

에너지 변환, 전동기 제어, 전력전자 응용분야, 반도체 시뮬레이션 등