

# 에너지 회수 회로를 이용한 새로운 LED 구동드라이브 설계

(Design of New LED Drive using Energy Recovery Circuit)

한만승\* · 임상길 · 박성준 · 이상훈\*\*

(Man-Seung Han · Sang-Kil Lim · Sung-Jun Park · Sang-Hun Lee)

## Abstract

The high-power LED (Light Emitting Diode) which is recently gaining popularity as a digital light source has such advantages as low power consumption, long life, fast switching speed, and high efficiency. Thus, many efforts are being made to use the high-power LEDs for general lighting. This paper proposes LED driving circuit uses a DC/DC converter that can recover energy to compensate for the current variations caused by changes in LED equivalent resistance following a temperature change instead of serial resistance. The maximum input voltage of this DC/DC converter has low voltage variations by temperature change when the rated current is formed. In order to return current to the input side, we need a high boosting at low power. Thus, to improve the low efficiency of power converter, the power converter can be configured in such a way to gather the powers of low-capacity DC/DC converters and return the total power. Experiments showed that the proposed system improved efficiency compared to the conventional LED drive using the existing DC/DC converter.

Key Words : LED(Light Emitting Diode), Recover Energy, Efficiency, LED Driving Circuit

## 1. 서 론

발광다이오드(LED)가 IT(정보기술)와 GT(녹색기술) 산업으로 각광받으면서 세계시장이 급속히 확산되고 있다. LED가 에너지를 절감하고 탄소 배출을 획기적으로 줄이는 친환경 소재로 알려지고 있기 때문

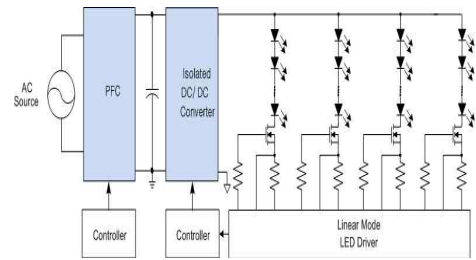
이다. 이 같은 LED산업의 확산은 일반 소비자와 밀접한 조명시장에서 성장이 가장 두드러진다. LED는 기존 광원에 비하여 낮은 전력 소모량과 긴 수명, 작은 크기 등의 장점으로 예상보다 더 큰 성장을 가져올 것이라는 전망도 있다[1].

LED를 이용한 조명용 광원을 구성할 경우 LED 자체가 점광원이므로 면광원 구성을 위해서는 많은 수의 LED Array 구성이 필요하다. LED Array 구성에 있어 직 병렬 구성 및 조합은 직류 공급 장치의 출력 사양을 결정하는 중요한 요인이 된다. LED 직 병렬 구조에 영향을 미치는 요인은 광원의 광출력 특성 및 배광특성이외에도 규격의 제한 사항이 존재 한다. 현

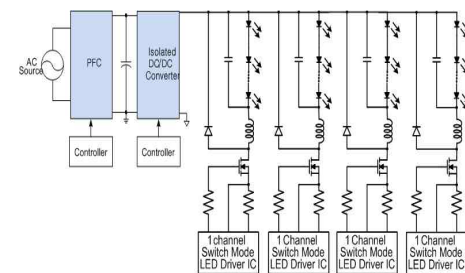
\* 주저자 : 고아전공  
\*\* 교신저자 : 한국승강기대학 승강기 전기설계과 전임강사  
Tel : 055-949-2289, Fax : 055-949-2254  
E-mail : purme@klc.ac.kr  
접수일자 : 2011년 1월 27일  
1차심사 : 2011년 2월 1일, 2차심사 : 2011년 3월 16일  
심사완료 : 2011년 4월 7일

새 LED 조명 시스템을 위해 UL에서는 기존의 조명 규격 정리한 UL 8750을 제정하고 시행하고 있다. UL8750에서 LED 구동을 위한 전원장치에 적용되는 규격은 UL1310이며, UL1310의 경우 Class 2의 전원 등급을 요구하고 있다. Class 2는 100[VA] 미만의 전원 등급에 대한 규격으로 사람이 접촉할 수 있는 환경의 전원에 대해 미국의 경우 출력 전압 60이하를 요구하고 있으며, 캐나다의 경우 출력 전압 42.6[V] 이하를 요구하고 있다. 또한 유럽에서 사용하고 있는 SLEV의 경우 출력 전압 120[V] 미만을 요구하고 있어 LED 조명 시스템 구동을 위한 직류전원장치의 경우 출력 전압이 제한적이다[2-3]. 따라서 규격적 요구사항을 만족하는 LED 조명용 직류공급 장치 설계를 위해서는 저 전압 대 전류 형태의 직류공급 장치 설계가 필요하며 이에 따라 광원의 형태도 규격이 허용하는 출력전압 범위의 직렬연결 군(이것을 1채널이라 정의함)을 다시 병렬 군으로 조합하고 효과적인 시스템 제어를 위해 각 채널의 전류를 제어할 수 있는 형태의 다 채널 LED 구동 Driver를 설계해야 한다. 그림 1은 다 채널 제어 방식의 직류 공급 장치를 나타내고 있다. 그림 1의 (a)는 기존의 Linear Regulation 방식을 이용한 다 채널 제어 방식을 나타내며 그림 2의 (b)는 앞서 살펴본 정전압 AC/DC 컨버터에 DC/DC 컨버터 단을 추가하여 채널을 제어하는 방식이다. 그림 1의 (a)의 경우 각 채널에 제어 IC를 추가하는 PWM 방식에 비해 제품의 단가를 낮출 수 있는 장점을 가지는 반면에 임피던스 편차가 클수록 스위치에서 소모되는 전력 손실이 크게 되어 고효율 구동 Driver를 만들 수 없는 단점을 가진다. 그림 1의 (b)의 경우 AC/DC 컨버터와 LED 구동 Driver가 서로 독립적으로 동작하므로 안정적인 제어가 가능하며 제어기 구성이 용이한 장점을 가진다. 그러나 채널수가 증가할 때마다 DC/DC 제어 IC를 추가하기 때문에 채널수가 증가 하면 할수록 단가 높아지는 단점을 가진다. 본 논문에서는 독립된 DC/DC 컨버터를 가지는 다채널 LED 구동드라이브에서 고효율 LED 구동을 위해 각 채널에 적용되는 DC/DC 컨버터에 대해 에너지 회수가 가능한 형태의 DC/DC 컨버터를 제안하고 각 채널에서 회수된 소량의 에너지 전체를 모아 한번에 전원측으로 환

원할 수 있는 구조의 LED 구동 드라이브를 제안하고자 한다.



(a) Single-stage 회로



(b) Two-stage 회로

그림 1. 다채널 조명용 LED Power system  
Fig. 1. Multi-channel Power LED characteristics

## 2. 본 론

### 2.1 기존의 LED 구동을 위한 직렬저항 삽입

그림 1은 조명용 LED 광원에서 온도에 따른 병렬회로의 전류편차를 줄이기 위해 병렬회로에 직렬저항을 삽입한 회로이다.

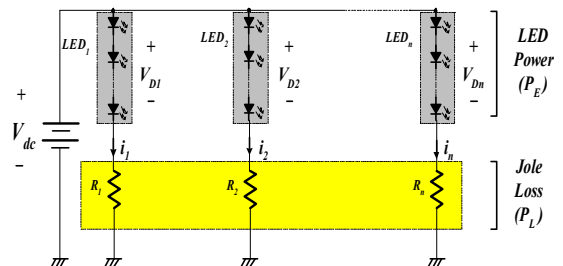


그림 2. 직렬저항 삽입에 의한 LED 구동  
Fig. 2. LED drive using series register

LED에 정전압을 인가할 경우 온도가 증가할 때 전류가 증가하게 된다. 그림 3은 LED의 온도에 따른 전압-전류특성을 나타낸다. 온도에 따른 전류 변화를 보상하기 위해서 그림 2와 같이 LED에 직렬저항을 삽입하여 온도에 따른 전류변동을 저감하게 하는 구조가 일반적이다. 이때 정격전류는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$I_{rate} = \frac{V_{dc} - V_{max}}{R} \quad (1)$$

온도 변화에 따른 정격전류를 형성하기 위한 전압변동은 LED 특성에 의해 결정된다. 전류변동은 식 (2)와 같다. 전류변동을 작게 하기 위해서는 저항을 키워야 하나 이로 인한 저항손실이 증가하는 단점을 가진다.

$$\Delta I = \frac{\Delta V}{R} \quad (2)$$

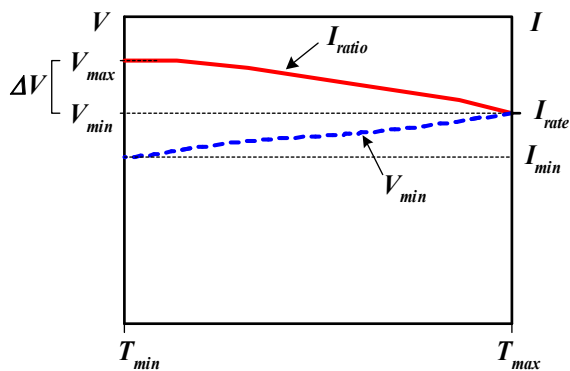


그림 3. 온도에 따른 전압-전류 특성 곡선  
Fig. 3. Voltage-Current characteristic curve according to Temp

LED에 전력을 공급할 경우 공급된 전력은 크게 발광을 위한 전력과 정전류 유지를 위한 전력손실로 구별할 수 있다. 식 (3), (4)는 발광을 위한 전력과 전류안정화를 위한 전력손실을 나타내며 식 (5)는 LED전력 이용율을 나타내며 식 (6)은 LED전압 변동에 따른 전류를 나타내며 식 (7)은 LED전력 이용율을 나타내며 식 (7)과 같다. 이 때 병렬회로는 온도에 관계없이 정전류를 형성할 수 있다.

$$P_E = \sum_{k=1}^n V_{Dk} i_k \quad (3)$$

(발광을 위한 전력)

$$P_L = \sum_{k=1}^n R_k i_k^2 \quad (4)$$

(전류안정화를 위한 전력손실)

$$U_L = \frac{P_E}{P_E + P_L} = \frac{\sum_{k=1}^n V_{Dk} i_k}{\sum_{k=1}^n V_{Dk} i_k + \sum_{k=1}^n R_k i_k^2} \quad (5)$$

(LED전력 이용율)

온도에 따라 LED에 전압 변동율이 있는 경우 전류는 식 (6)과 같다.

$$I = \frac{V_{dc} - (V_{max} + \Delta V)}{R} \quad (6)$$

(LED 전압 변동에 따른 전류)

## 2.2 전력 변환기를 이용한 LED 구동 드라이버

온도에 따라 LED에 전압변동율이 있는 경우 정전류를 형성하기 위한 전압 변동율을 보상하기 위해서는 전력 변환기를 이용한 가변저항 특성의 LED 구동 드라이버가 필요하다. 이 때 필요한 직렬저항 값이 식 (7)과 같다. 이 때 병렬회로는 온도에 관계없이 정전류를 형성할 수 있다.

$$I = \frac{V_{dc} - (V_{max} + \Delta V)}{R - \Delta R} = Const \quad (7)$$

직렬저항 값을 전자적으로 변화하기 위해서는 스위칭 함수에 따라 등가저항을 바꿀 수 있다. 따라서 DC/DC컨버터를 사용하여 등가직렬저항을 가변하고,

기존의 저항손실 분을 전원측으로 돌려줌으로 저항손실을 제거할 수 있다. 그림 4는 등가 가변 저항을 구성을 위한 DC/DC 컨버터를 이용한 LED 구동드라이브를 나타낸다.

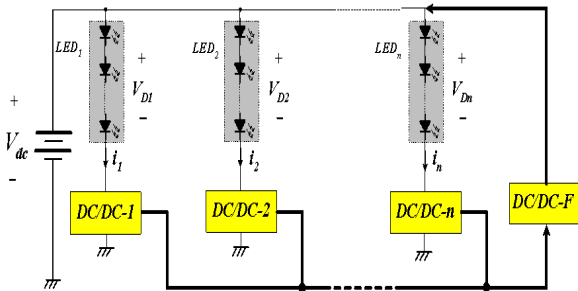


그림 4. DC/DC 컨버터를 이용한 LED 구동 드라이브  
Fig. 4. LED Drive using the DC/DC converter

스위칭 함수에 의해 직렬저항 값을 전자적으로 변화하기 위해 DC/DC 컨버터를 사용할 경우 DC/DC 컨버터의 입력전압 최대치는 정격전류 형성시 온도변화에 따른 전압변동이 적은 값이 되고 입력측으로 환원하기 위해서는 적은 전력에 높은 승압이 필요하므로 전력변환기의 효율이 떨어지는 단점을 보상하기 위해 적은 용량의 DC/DC 컨버터의 출력을 모아 전체를 환원하는 전력변환기를 구성함으로써 전력변환기의 효율을 증대할 수 있다.

### 2.3 제안된 에너지 회수 회로를 이용한 LED 구동 드라이브

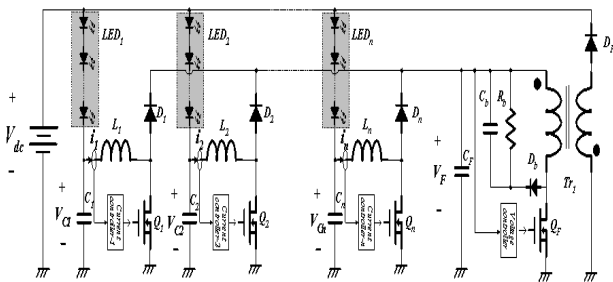


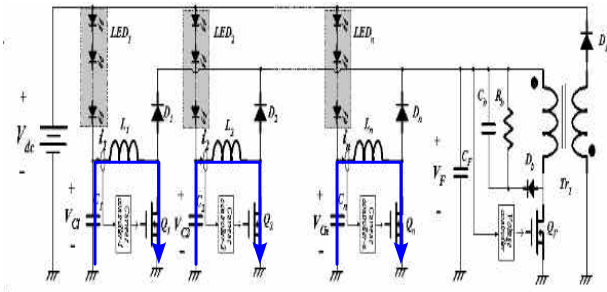
그림 5. 제안된 에너지 회수회로를 이용한 LED 구동 드라이브  
Fig. 5. Proposed concept of LED drive using Energy recovery circuit

본 논문에서는 온도에 따른 전압 변동률을 보상하기 위해 에너지 회수 회로를 이용하여 적은 용량의 에너지를 모아 전체를 환원함으로써 전력 변환효율을 높일 수 있는 DC/DC 컨버터를 제안한다. 그림 5는 등가 가변 저항 구성을 위한 DC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터에서 회수된 에너지를 모아 전체 출력으로 환원하는 에너지 회수회로를 나타낸다.

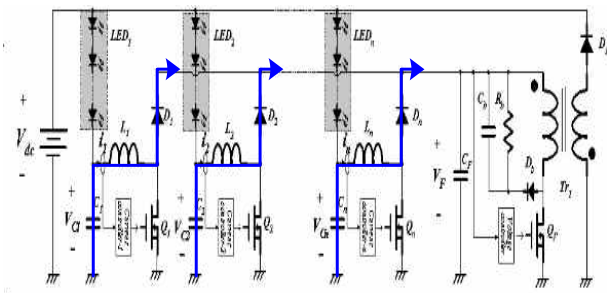
위 회로는 직렬저항 값을 전자적으로 변화하기 위해 비절연 타입의 승압용 DC/DC 컨버터를 사용하였으며, LED의 정전류를 형성하기 위해 인덕터의 전류를 검출하여 전류제어기를 구성하였으며, 전체 LED에서 회수한 전력을 전원측으로 환수하기 위해 입력측 전압제어용 플라이백 컨버터를 사용하였다.

온도 변화에 따른 전압 변동률을 보상하기 위한 DC/DC 컨버터의 동작은 그림 6과 같다. 본 DC/DC 컨버터는 LED와 직렬로 연결된 콘덴서의 전압  $V_c$ 을 스위치 Q의 듀티비에 의해 제어하여 LED의 전류를 제어하게 된다. 그림 6의 (a)는 컨버터의 스위치 Q가 턴 온 되었을 때의 전력의 흐름을 나타낸다. 컨버터의 스위치 Q가 턴 온 될 때 콘덴서의 전압이 리액터 L1에 인가되고 이 때 리액터에 콘덴서의 에너지가 저장되게 된다. 그림 6의 (b)는 스위치 Q가 턴 오프 되었을 때의 전력의 흐름을 나타낸다. 스위치가 턴 오프 되었을 때 리액터에 저장된 에너지는 에너지 회수 회로의 콘덴서 CF로 저장되게 된다. 그림 6의 (c), (d)는 회수된 에너지를 전원 측으로 환원하는 에너지 회수회로의 동작 모드를 나타낸다. 에너지 회수회로는 플라이백 컨버터를 사용하였으므로 플라이백 컨버터의 동작모드와 동일하다.

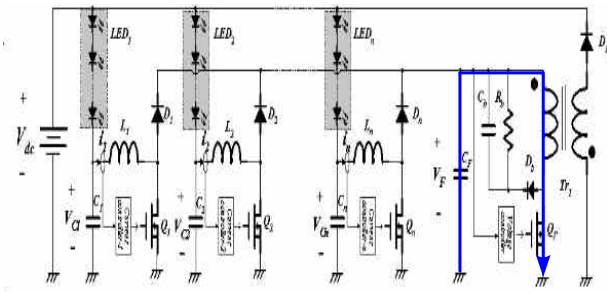
그림 6 (c)는 스위치  $Q_f$ 가 턴 온 되었을 때의 전력의 흐름을 나타낸다. 스위치  $Q_f$ 가 턴 온 될 때 각 DC/DC 컨버터에서 회수된 콘덴서  $C_f$ 에 저장된 에너지는 다시 변압기 1차측 코일에 저장되게 된다. 그림 6 (d)는 스위치  $Q_f$ 가 턴 오프 되었을 때의 전력의 흐름을 나타낸다. 스위치  $Q_f$ 가 턴 오프 될 때 변압기 1차측에 저장된 에너지는 변압기를 통해 2차측에 연결된 입력전원으로 에너지가 회수 되게 된다.



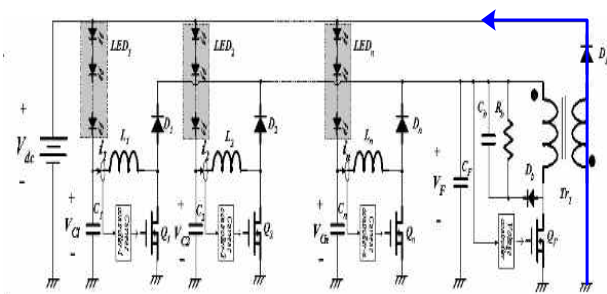
(a) 스위치 Qn 턴 온 시



(b) 스위치 Qn 턴 오프 시



(c) 스위치 Qi 턴 온 시



(d) 스위치 Qi 턴 오프 시

그림 6. 제안된 에너지 회수회로를 이용한 LED 구동 드라이브 동작모드

Fig. 6. Operation mode of LED drive using Energy recovery circuit

### 3. 실험

제안된 에너지 회수 회로에 대한 타당성을 검증하기 위하여 실험을 실시하였다. 표 1은 실험에 적용된 가로등용 LED 광원의 사양을 나타낸다. 본 실험을 위해 LED 광원은 Cree 사의 XLamp(1.3[W]) Power LED를 사용하였으며 7직렬 14병렬로 총 98개로 구성하였다. 그림 7은 적용된 가로등용 LED 광원을 나타낸다.

표 1. LED 광원 사양  
Table 1. LED lamp spec

광원 공급전력	120[W]
적용 LED 품명	Cree사 XLamp
LED 정격	1.1[W](350[mA])
LED 직렬 개수	7[Ea]
LED 병렬 회로 수	14 병렬

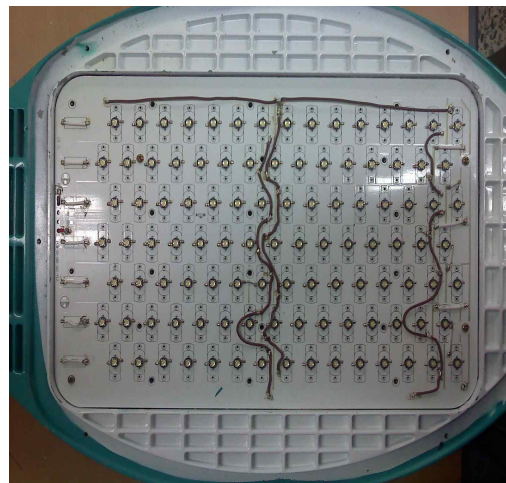


그림 7. 가로등용 LED 광원  
Fig. 7. Street Light LED source

그림 8은 가로등용 LED 광원을 구동시키기 위한 제안된 LED Power System을 나타낸다. LED Power System은 AC 전원을 DC 전원으로 바꾸어 주는 AC/DC 컨버터와 온도에 따른 LED 광원의 각 채널의 전압 변동분을 보상해 주는 DC/DC 컨버터

에너지 회수 회로를 이용한 새로운 LED 구동드라이브 설계

회로로 구성되어 있다. 본 논문에서 AC/DC 컨버터는 전력 변환 효율이 우수한 공진형 컨버터 중 LLC 토폴로지 방식의 DC/DC 컨버터와 단위역률을 0.9 이상 유지하기 위해 부스트 방식의 단위역률 제어 회로로 구성되어 있다. 표 2는 AC/DC 컨버터 부의 사양을 나타낸다.

LED 구동 드라이브 회로는 LED 광원의 각 채널에 대해 Boost 컨버터를 기본으로 DC/DC 컨버터를 구성하였다. 그림 9는 제안된 DC/DC 컨버터의 블록도를 나타낸다. 게이트 구동부는 UC3845 PWM 전용 Chip을 사용하였다. UC 3845 PWM 전용 Chip은 크게 R과 C를 이용한 비안정 멀티바이브레이터 회로와 Peak Current 제어를 위한 Error Amp로 구성되어 있다. 비안정 멀티바이브레이터의 경우 27[kHz] 스위칭 주파수에서 동작하도록 R과 C 값을 구성하였으며 출력전류 검출부는 INA 193 Current shunt monitor를 사용하여 검출저항에 발생하는 전력 손실을 최소화할 수 있도록 검출저항의 크기를 낮추어 전류를 검출하였다.



그림 8. 제안된 LED Power System  
Fig. 8. Proposed LED Power System

표 2. AC/DC 컨버터 사양  
Table 2. AC/DC converter spec.

Topology	LLC 공진형
입력사양	85~264[V]
출력사양	24[V], 5.2[A]
PF	0.94(@220VAC)
효율	92[%](@220VAC)

에너지 회수 회로의 경우 기존의 Flyback 컨버터를 이용하였다. Flyback 컨버터의 게이트 구동부의 경우 전체 LED에서 회수된 전력을 전원 측으로 환원하기 위해 DC/DC 컨버터와 동일한 UC 3845 PWM 전용 Chip을 사용하여 입력측 전압제어기를 구성하였다.

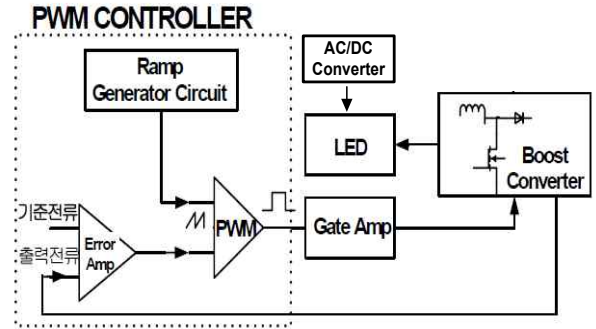


그림 9. 제안된 DC/DC 컨버터의 블록도  
Fig. 9. Block diagram of proposed DC/DC Converter

그림 10은 에너지 회수를 위한 Flyback 컨버터의 Control-chip 전압과 게이트 신호를 나타낸다. Flyback 컨버터의 Control-chip 전원의 경우 초기 기동시는 전원 측에서 공급 받게 되고 이후 Control-chip 전원용 전용 전원에 의해 구동되는 방식을 일반적으로 사용하고 있다. 이때 초기 기동시 전원 측 전원을 저장하는 콘덴서의 용량에 의해 회로 동작의 속응성이 결정된다.

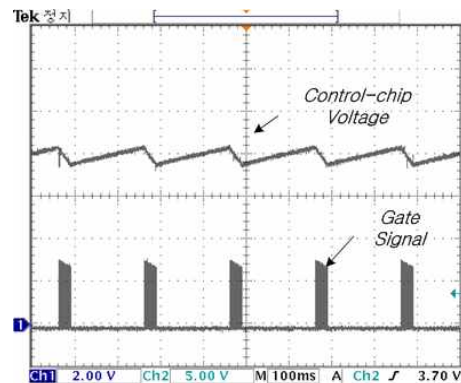


그림 10. Chip 전압 및 게이트 신호  
Fig. 10. Chip voltage & Gate signal

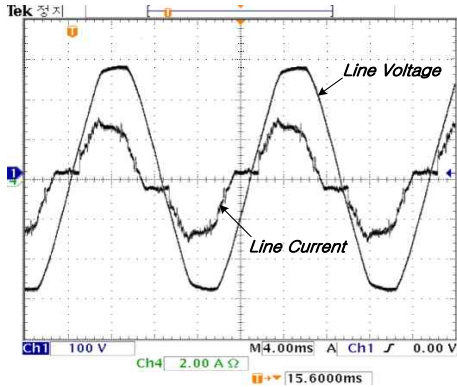


그림 11. AC/DC 컨버터의 입력전압, 입력전류,  
Fig. 11. Line voltage, Line current of AC/DC converter

본 논문에서는 회로동작의 속응성을 위해 Chip 전 원 전압이 30[mS]에 동작할 수 있도록 콘덴서 용량을 산정하여 적용하였다. 그림 11은 입력전압 및 입력전류를 나타낸다. 파형에서 알 수 있듯이 AC/DC 컨버터는 단위역률 제어가 되고 있으며 220[V] 기준으로 역률이 0.94로 유지됨을 알 수 있다.

그림 12는 초기 전원 투입 시 입력전압, 입력전류를 나타내며, 그림 13은 전원 제거 시 AC/DC 컨버터의 입력전압, 입력전류를 나타낸다. 그림 14는 제안된 에너지 회수회로의 입력단 콘덴서 전압  $C_f$ , 입력전압 그리고 에너지 회수회로에 사용된 Flyback 컨버터의 변압기 1차측과 2차측 전류를 나타내고 있다.

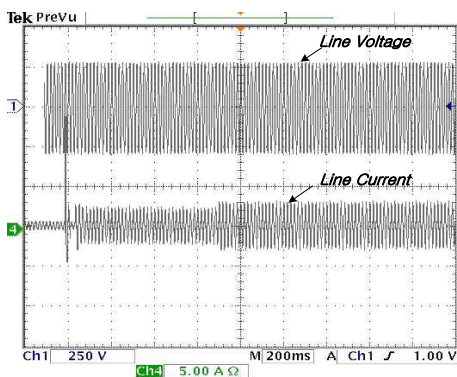


그림 12. AC/DC 컨버터의 기동 특성 (전원 On시)  
Fig. 12. Start characteristic of AC/DC Converter(turn on)

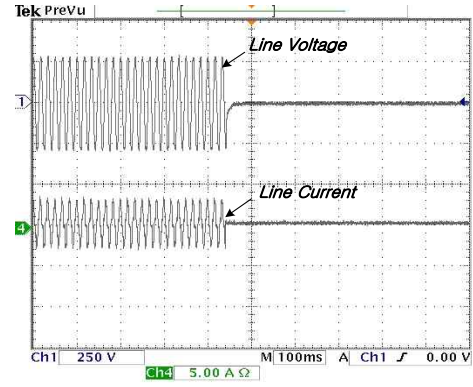


그림 13. AC/DC 컨버터의 기동 특성 (전원 On시)  
Fig. 13. Start characteristic of AC/DC Converter(turn on)

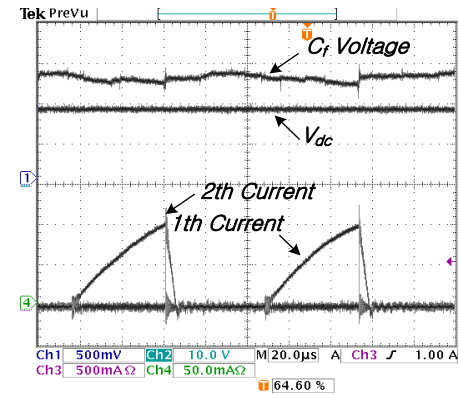


그림 14. 입력전압,  $C_f$  전압, 변압기 1, 2차 전류  
Fig. 14. Input voltage,  $C_f$  voltage, Tr 1th, 2th current

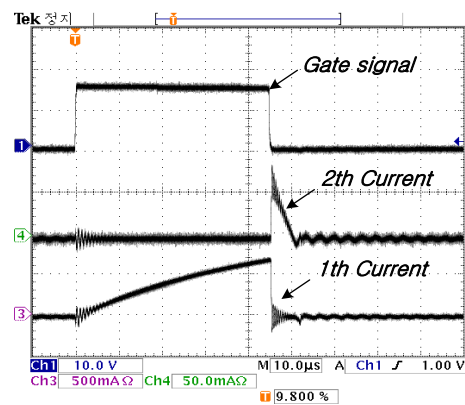


그림 15. 게이트 신호, 변압기 1, 2차 전류  
Fig. 15. Gate signal,  $C_f$  voltage, Tr 1th, 2th current

그림에서 알 수 있듯이 Boost 컨버터에서 회수된 에너지가 에너지 회수회로의 입력 콘덴서  $C_1$ 에 저장되고 있으며 에너지 회수회로를 통해 입력 측으로 환원되고 있음을 알 수 있다. 그림 15는 에너지 회수회로의 게이트 신호와 변압기 1차, 2차 전류를 확대해서 나타내고 있다. 그림 16은 각 채널 별 LED 출력 전류를 나타내고 있다. Ch 1 전류는 461[mA], Ch 2 전류는 462[mA] Ch 3 전류는 465[mA]로 측정되고 있어 등가 가변저항으로 동작하는 Boost 컨버터에 의해 채널 당 전류오차 없이 채널 전류가 균등하게 흐르고 있음을 알 수 있다.

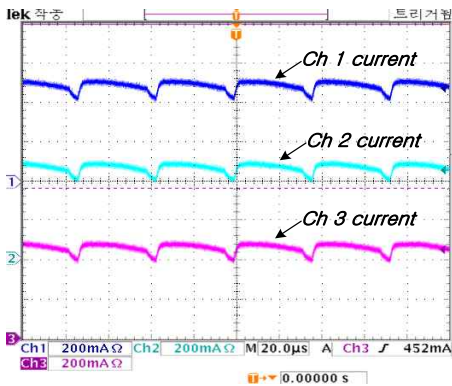


그림 16. 각 채널 출력 전류  
Fig. 16. Each channel output current

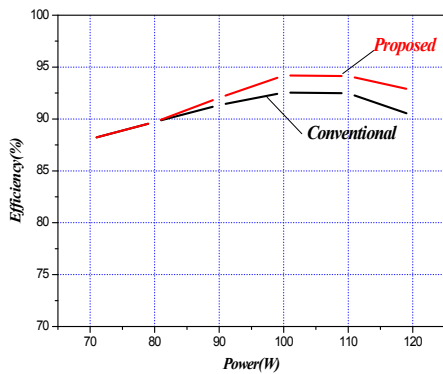


그림 17. 효율 비교  
Fig. 17. Compare of efficiency

그림 17은 기존의 Boost 컨버터를 사용한 LED 구동드라이브회로와 제안된 에너지 회수회로를 이용한 LED 구동 드라이브 회로의 효율을 비교하여 나타내

었다. 기존의 Boost 컨버터를 이용한 LED 구동 드라이브의 경우 각 채널의 LED 전류를 검출하기 위해 사용되는 검출 저항에서 발생하는 전력 손실로 인해 드라이브 자체 효율을 최고 95[%] 이상 개선하기가 힘들다. 제안된 에너지 회수회로를 이용한 LED 구동 드라이브의 경우 검출 저항을 사용하지 않고 Boost 컨버터를 통해 채널에 공급된 에너지의 무효분을 다시 전원 측으로 회수시킴으로써 기존 LED 구동 드라이브에 비해 효율 개선이 가능하다. 그림 16에서 알 수 있듯이 출력이 낮은 곳에서는 효율 개선이 없으나 정격 출력에서 기존 LED 구동 드라이브에 비해 2[%] 정도 효율이 개선됨을 알 수 있다. 그림 18은 제안된 에너지 회수회로를 포함한 LED Power system을 적용하여 실제 120W LED 가로등 동작을 나타내고 있다.



그림 18. 가로등용 LED 광원 동작  
Fig. 18. Operation of Street light LED source

#### 4. 결 론

본 논문에서는 병렬회로수가 많은 대용량 조명용 LED 광원을 구동하기 위해 사용되는 LED 구동드라이브에서 온도 변화에 따른 정전류 보상을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 기존의 온도 변화에 따른 정전류 보상을 위한 전력 변환기의 경우에는 Boost 컨버터를 이용한 정전류 제어를 주로 사용하였다. Boost 컨버터를 이용한 LED 구동 드라이브 설계 시 전류 검출을 위한 검출 저항을 채널에 직렬 연결하게 됨으로서 전력 손실이 발생한다. 이 전력 손실로 인해 Boost 컨버터의 효율을 95[%] 이상으로 설계하기는 어려우며



이는 입력전력 전체를 전력변환 효율을 고려할 때 LED Power System의 전체 효율은 저하되는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 Boost 컨버터 설계 시 검출저항에서 발생하는 전력 손실의 단점을 개선할 수 있도록 Boost 컨버터 전류를 직접 검출하여 전류제어가 가능하고 각 채널에 작은양과 낮은 전압의 에너지를 회수하여 변압기를 이용해 높은 전압으로 변성하여 각 채널에서 회수된 에너지를 한 번에 전원 측으로 회수시킴으로써 LED 구동 드라이브의 전체 효율을 개선하였다. 제한된 에너지 회수회로의 타당성을 위해 120[W] 가로등용 LED 광원과 고효율 LLC 공진형 AC/DC 컨버터를 설계하고 제안된 회수회로를 제작하여 실험하였으며, 기존 LED 구동 드라이브에 비해 전체 효율이 2[%] 정도 개선됨을 알 수 있었다.

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

### References

- [1] 굿모닝신한증권(주) “LED 조명 시장동향서”, 2009.
- [2] “LED 조명기술의 최신동향[하]”, 월간 전기기술, 2006.
- [3] IEC 61000-3-2.
- [4] 박규민외 3명, “전압 스트레스 저감을 위한 새로운 조명용 LED 조명회로”, 전력전자학회, 전력전자학회논문지, 제14권 제3호 pp.243-250, 2009, 6.
- [5] 정영진외 4명, “BCM PFC 플라이백 컨버터 회로의 모델링 및 설계”, 2008 전력전자학술대회 논문집, pp. 231-233, 2008. 6.
- [6] Cree XLamp MC-E LED Datasheet.

### ◇ 저자소개 ◇



**한만승** (韓萬勝)

1969년 10월 5일생. 1992년 원광대학교 전기공학과 졸업. 2009년 전남대학교 전기공학과 졸업(석사). 1996년~2009년 6월 대우일렉트로닉스 연구소 책임연구원. 2009년~현재 (주)고아정공 모티기술연구소 수석(연). 2010년~현재 전남대학 전기공학과 박사과정.



**임상길** (林相吉)

1985년 8월 9일생. 2008년 전북대 기계공학과 졸업. 2010년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2010년 8월~현재 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



**박성준** (朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년 동 대학원 지능 기계공학과 졸업(박사). 1996년 3월~2000년 2월 거제대학 전기과 조교수. 2000년 3월~2003년 8월 동명대학 전기공학과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대학교 전기공학과 부교수.



**이상훈** (李相勳)

1974년 8월 11일생. 2000년 경성대학교 전기공학과 졸업. 2006년 부산대학교 메카트로닉스협동과정 졸업(박사). 2002년~2004년 9월 KT전기 기술연구소 주임연구원. 2007~2009년 삼성전기 Power 사업팀 책임연구원. 2010년~현재 한국승강기 대학 승강기 전기설계과 전임강사.