

# 전압 변동분 보상회로를 이용한 새로운 LED 구동드라이브 설계

(Design of New LED Operation Drive Using Compensating Circuit for Transformed Voltage)

한만승\* · 이용재 · 박성준 · 이상훈\*\*

(Man-Seung Han · Yong-Jae Lee · Sung-Jun Park · Sang-Hun Lee)

## Abstract

Currently high power Light Emitting Diode (LED) is in the limelight due to its characteristics of long durability, low maintenance costs, and high efficiency. Furthermore, it does not emit pollutants or poisonous gases and is a light source not using mercury, so it holds a high status in eco-friendly terms as well. In this paper, we studied a two-stage LED power drive circuit that can compensate only voltage regulation through LED output current, in order to improve efficiency of LED drive with constant current control in accordance with changes in temperature. The proposed LED drive has an advantage of reducing LED drive's voltage losses by controlling only voltage change of input power, compared with an existing circuit which controls input voltage. The suggested non-insulation compensating circuit for voltage change was verified to have improved efficiency relative to a LED drive using existing DC/DC converter.

Key Words : LED(Light Emitting Diode), Single-Stage, Two-Stage, Non-Insulation Compensating Circuit

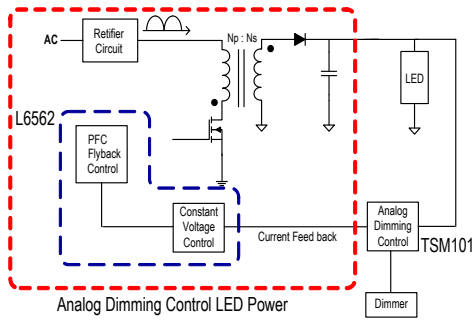
## 1. 서 론

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 때문이다. 이 같은 LED 산업의 확산은 일반 소비자와 밀접한 조명시장에서의 성장이 가장 두드러진다. LED

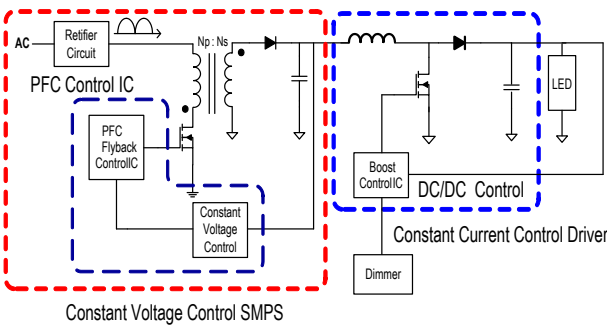
는 기존 광원에 비하여 낮은 전력 소모량과 긴 수명, 작은 크기 등의 장점으로 예상보다 더 큰 성장을 가져올 것이라는 전망도 있다. 여기에 LED 조명 확대의 가장 큰 걸림돌이었던 초기 구매비용이 기술 개발로 점차 낮아지면서 백열등이나 할로젠 등을 전면 대체할 날도 머지않았다. EU와 미국 등을 중심으로 백열등을 LED로 대체하려는 정책 수립도 잇따르고 있다. 호주와 뉴질랜드는 2010년부터 에너지 효율이 낮은 백열등 사용을 전면 금지한다. 미국과 캐나다도 2012년부터 100[W] 이상, 2014년부터 40[W]급 이상의 백열등 사용을 금지하기로 했다. EU 소속 27개 회원국은 2012년까지 백열등 사용금지 법안에 합의했다. 국제환경보호단체인 그린피스도 6억5,000만개의 조명기

\* 주저자 : 전남대학교 전기공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 한국승강기대학 승강기 전기설계과  
Tel : 055-949-2289, Fax : 055-949-2254  
E-mail : purme@klc.ac.kr  
접수일자 : 2011년 1월 10일  
1차심사 : 2011년 1월 11일  
심사완료 : 2011년 4월 8일

기 중 98[%] 이상이 백열등인 인도에 대해 에너지 효율이 높은 조명으로 전환할 것을 권고하기도 했다. 한국은 2015년까지 조명광원의 30[%]를 LED로 전환한다는 'LED조명 15/30 프로젝트'를 수립해 추진 중이다[1-2].



(a) Single-stage 회로



(b) Two-stage 회로

그림 1. 조명용 LED Power system  
Fig. 1. Power LED characteristics

조명용 LED System은 LED를 이용한 광원과 LED 광원을 동작시키기 위해 Power와 Drive로 구성된 LED 구동회로로 구성되어 있다. 그림 1은 LED 구동회로로 현재 주로 사용 중인 Single-stage LED 구동회로와 Two-stage LED 구동회로를 나타내고 있다. Single-stage LED 구동회로와 같은 경우는 간단한 회로구조를 갖고 있기 때문에 저 가격화에 유리한 장점을 갖는다. 하지만 디밍 시 역률 보정을 하지 못하여 25[W] 이상의 조명기구에 요구되는 IEC 61000-3-2 class C 고조파 규제를 만족하지 못한다[3]. 반면 Two-stage LED 구동회로는 Single-stage에 비해 회

로가 복잡하여 가격 상승의 요인이 있지만, IEC 61000-3-2 class C 고조파 규제와 절연문제 및 안전규제를 모두 만족한다. 현재 25[W] 이상의 LED 조명기구는 Two-stage LED 구동회로를 사용한다. 그러나 Two-stage LED 구동회로의 경우 전력변환기가 2단 이상으로 구성되어 있어 Single-stage에 비해 각 단의 전력 변환기의 고효율 설계를 요구받게 된다[4].

본 논문에서는 25[W] 이상의 LED 조명기구에서 사용하는 Two-stage LED 구동회로의 단점인 효율저하의 단점을 보완하기 위해 정전류 제어에 필요한 Driver 회로에 대해 기존에 사용하고 있는 회로와는 다른 새로운 형태의 회로를 제안하고자 한다. 기존의 Driver의 경우 LED 조명기구에 필요한 전력 전체를 전력변환 함으로서 전력 손실이 크다. 이에 반해 제안된 Driver의 경우 1차측 전력의 대부분을 제어 없이 2차 측으로 변성하고 온도 및 기타 주변영향에 의해 발생하는 전압 변동분만을 제어함으로서 전력변환 손실을 줄일 수 있다.

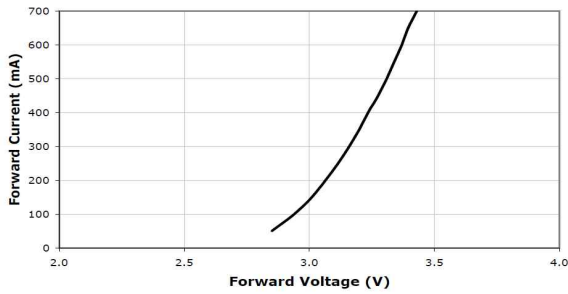
## 2. 본 론

### 2.1 조명용 LED 특성

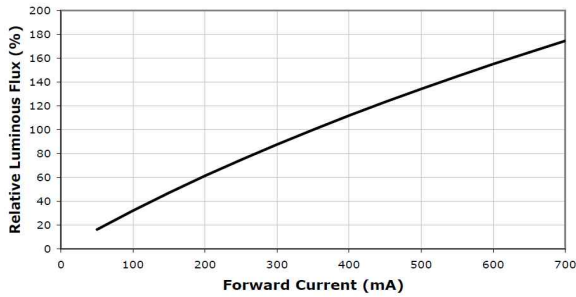
그림 2는 현재 시판 중인 Cree사의 XLamp Power LED의 전원에 따른 광 특성 곡선을 나타내고 있다.

그림 2의 (a)는 Forward voltage에 따른 구동 전류 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 LED 특성은 다이오드 특성과 동일하며 Threshold 전압 이상의 전압에서는 일반 다이오드 보다는 변화폭이 적으나 변화의 폭이 급속히 증가함을 알 수 있다. 그림 2의 (b)는 구동 전류에 따른 상대 광속 곡선을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 구동전류에 대한 광속특성 곡선은 선형에 가깝다. 이와 같은 LED 특성에 기인하여 현재 LED 구동을 위한 직류전원 장치들은 기존의 SMPS에 사용하는 전압 제어형 정전압 방식보다는 전류를 제어하는 정전류형 방식을 선호하게 된다. 그림 2의 (c)는 접합부 온도에 따른 광 특성을 나타내고 있다. LED의 경우는 접합부의 온도가 증가하면 역으로 광속이 떨어지는 특성을 가진다. Cree사의 XLamp의

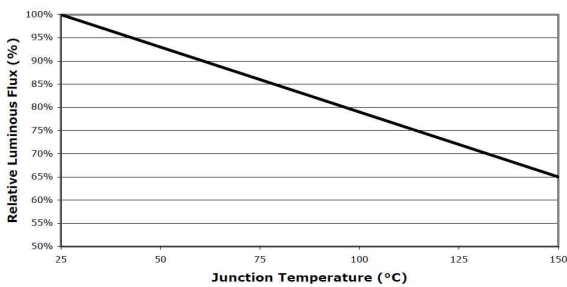
경우 접합부의 온도가 150[°C]가 될 경우 광속이 40[%] 정도 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 조명용 LED 시스템의 경우 광원에 온도 특성에 따른 직류전원 공급 장치의 출력 제어가 필요하다[5].



(a) Forward 전압에 대한 전류 특성



(b) 전류에 대한 광량 특성 곡선



(c) 접합부 온도에 따른 광량 특성

그림 2. Power LED 특성

Fig. 2. Power LED characteristics

## 2.2 기존의 LED 구동을 위한 직렬저항 삽입

그림 3은 조명용 LED 광원에서 온도에 따른 병렬회로의 전류편차를 줄이기 위해 병렬회로에 직렬저항을 삽입한 회로이다. LED에 정전압을 인가할 경우 온도가 증가할 때 전류가 증가하게 된다.

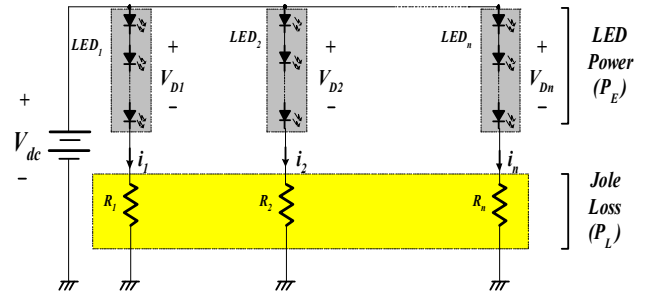


그림 3. 직렬저항 삽입에 의한 LED 구동

Fig. 3. LED drive using series register

그림 4는 LED의 온도에 따른 전압-전류특성을 나타낸다. 온도에 따른 전류 변화를 보상하기 위해서 그림 3과 같이 LED에 직렬저항을 삽입하여 온도에 따른 전류변동을 저감하게 하는 구조가 일반적 이다. 이때 정격전류는 식 (1)과 같이 정의된다.

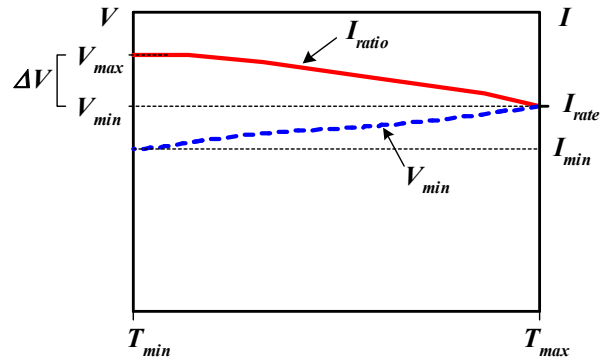


그림 4. 온도에 따른 전압-전류 특성 곡선

Fig. 4. Voltage-Current characteristic curve according to Temp.

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

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.

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

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 LED전력이다. 직렬저항을 크게 할 경우 온도에 따른 전류변동은 적으나 LED전력 이용율이 낮아지는 단점이 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 이용률)

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)

### 2.3 전력 변환기를 이용한 LED 구동 드라이브

그림 5는 온도에 따른 LED에 전압 변동률을 보상하기 위해 가변저항을 이용한 LED 구동 드라이브를 나타낸다. 온도에 따라 LED에 전압변동률이 있는 경우 정전류를 형성하기 위해서는 직렬저항 값이 식 (7)과 같아야 한다. 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 증가저항을 바꿀 수 있다. 따라서 DC/DC컨버터를 사용하여 증가직렬저항을 가변하고, 기존의 저항손실 분을 전원측으로 돌려줌으로 저항손실을 제거할 수 있다.

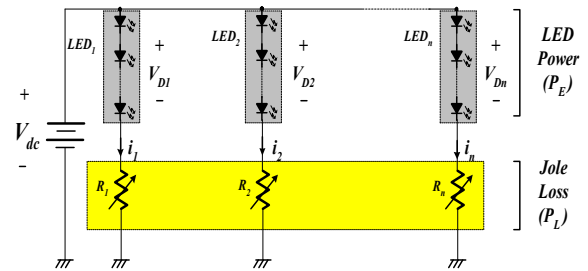


그림 5. 가변저항을 이용한 LED 구동 드라이브  
Fig. 5. LED drive using Variable register

### 2.4 제안된 전압 변동분 보상회로를 이용한 LED 구동 드라이브

본 논문에서는 온도에 따른 전압 변동률을 보상하기 위해 전압 변동분만을 제어하여 전력 변환 효율을 높일 수 있는 DC/DC 컨버터를 제안하고 한다. 그림 6은 기존의 정전류 제어기와 본 논문에서 제안한 전압 변동분 보상회로의 개념도를 나타낸다.

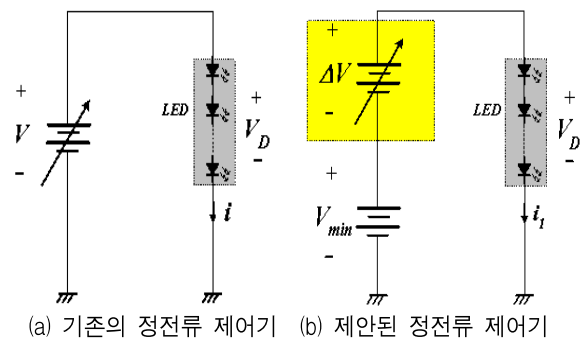


그림 6. 제안된 전압 변동분 보상회로의 개념도  
Fig. 6. Proposed concept of voltage change compensation circuit

LED 병렬회로에 온도변화와 관계없이 LED에 정전류를 흘리기 위해서는 최소전압과 최대전압 사이의 전압을 가변해야 하며, 가변전압의 범위가 매우 적을 값이 되어야 한다. 기존의 제어기는 높은 전압을 가변하여 LED에 정전류를 제어하게 된다. 이런 경우 변환되는 전압의 폭이 크게 되므로 전력변환기의 효율이 저하된다. 제안된 회로는 LED의 최소전압은 정전압 회로로 구성하고, LED변동분만을 제어하는 DC/DC컨버터를 사용함으로써 LED의 최소전압 구동 드라이브의 효율을 극대화할 수 있다.

그림 7은 온도에 따른 전압 변동률 보상을 위한 비절연 전압 변동 보상회로를 나타낸다. 제안된 비절연 전압변동 회로는 기존의 Flyback 컨버터의 회로에서 2차측 회로의 접지부분을 1차측 입력단과 단락 시키고 LED 출력전류를 피드백하여 정전류 제어를 해 줌으로서 입력 전압을 기본 전압으로 온도변화에 따른 LED 병렬회로의 전압 변동분에 대한 2차 권선의 유기 전압을 더해짐으로서 보상이 가능하다.

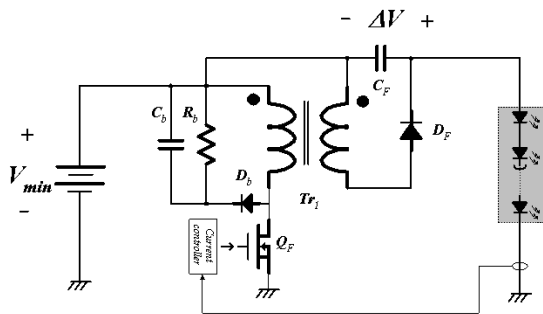


그림 7. 제안된 비절연 전압 보상회로  
Fig. 7. Proposed non-isolation voltage compensation circuit

### 3. 실험

제안된 비절연 전압 보상회로에 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 8은 적용된 가로등용 LED 광원을 나타

낸다. 그림 9는 가로등용 LED 광원을 구동시키기 위한 제안된 LED Power System을 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

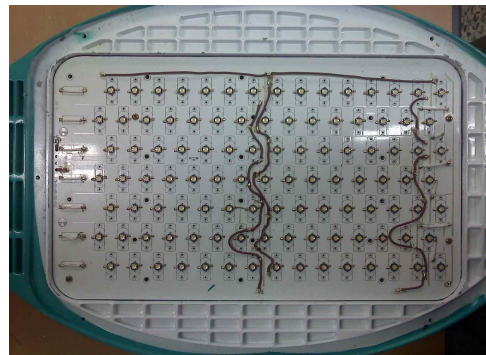


그림 8. 가로등용 LED 광원  
Fig. 8. Street Light LED source

LED Power System은 크게 AC/DC 컨버터 부와 제안된 비절연 전압 보상 회로로 구성되어 있다. AC/DC 컨버터는 전력 변환 효율이 우수한 LLC 토폴로지 방식의 DC/DC 컨버터와 단위역률을 0.9 이상 유지하기 위해 부스트 방식의 단위역률 제어 회로로 구성되어 있다.

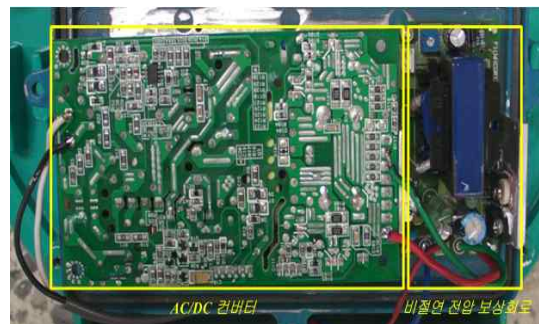


그림 9. 제안된 LED Power System  
Fig. 9. Proposed LED Power System

표 2는 AC/DC 컨버터 부의 사양을 나타낸다. 비절연 전압 보상 회로는 기존의 Flyback 컨버터를 기본으로 1차측 입력단자와 2차측 접지측을 단락시켜 구성하였다.

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)

게이트 구동부는 UC3842 PWM 전용 Chip을 사용하여 27[kHz] 스위칭 주파수에서 동작하도록 구성하고 출력전류 검출부는 전력 손실을 최소화할 수 있도록 검출저항의 크기를 낮추었다. 그림 10은 비절연 전압 보상 회로의 Control-chip 전압과 게이트 신호를 나타낸다. 회로 동작의 속응성을 위해 Chip 전원 전압이 30[mS]에 동작할 수 있도록 콘덴서 용량을 산정하여 적용하였다. 그림 11은 출력 LED 전류와 그에 따른 기준전압 및 보상전압 그리고 게이트 신호를 나타낸다. 그림 11에서 알 수 있듯이 초기 전원 투입되고 400[mS] 후 출력이 정상상태에 도달한다. 기준전압은 22[V]를 나타내고 있으며 전압 변동률에 의한 전압 보상은 2~3[V] 정도에서 제어되고 있음을 알 수 있다. 그림 12는 그림 11의 파형을 시간영역을 확대하여 측정한 파형이다. 확대된 LED 출력 전류에서 알 수 있듯이 광원의 플리커 동작에 영향을 주는 120[Hz] 대의 입력 전원 리플은 없으며 스위칭에 의한 27[kHz] 대의 고주파 리플만이 존재함을 알 수 있다.

그림 13은 입력전압 및 입력전류와 LED 출력전류를 나타낸다. 파형에서 알 수 있듯이 AC/DC 컨버터는 단위역률 제어가 되고 있으며 220[V] 기준으로 역률이 0.94로 유지됨을 알 수 있다. 그림 14는 초기 전원 투입 시 입력전압, 입력전류 그리고 LED 출력전

류를 나타내며, 그림 15는 전원 제거 시 입력전압, 입력전류 그리고 LED 출력전류를 나타낸다.

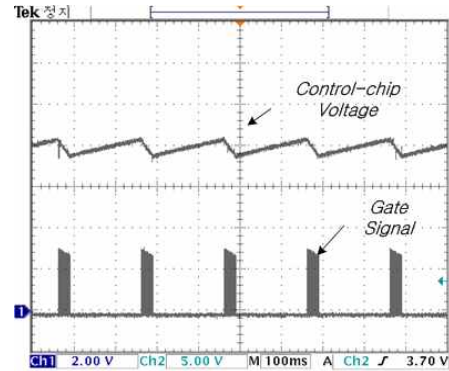


그림 10. Chip 전압 및 게이트 신호  
Fig. 10. Chip voltage & Gate signal

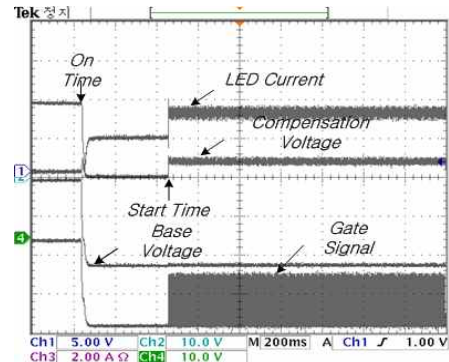


그림 11. 기준전압, 보상전압, 출력전류  
Fig. 11. Base voltage, Compensation voltage, Gate signal

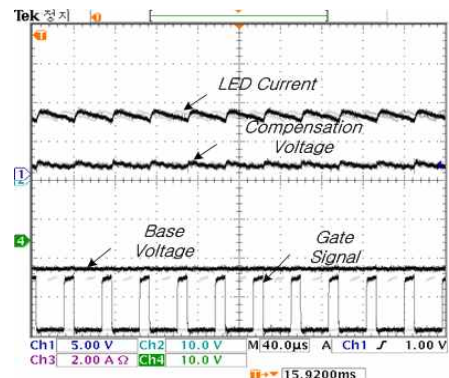


그림 12. 기준전압, 보상전압, 출력 전류(확대)  
Fig. 12. Base voltage, Compensation voltage, Gate signal(Expansion)

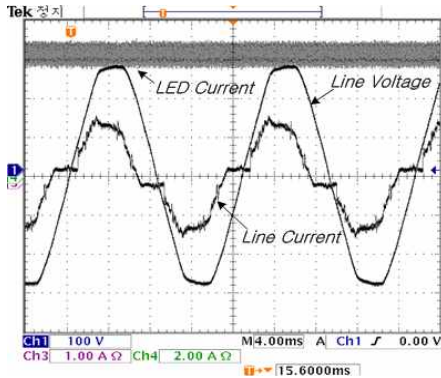


그림 13. 입력전압, 입력전류, 출력 LED 전류  
Fig. 13. Line voltage, Line current, LED current

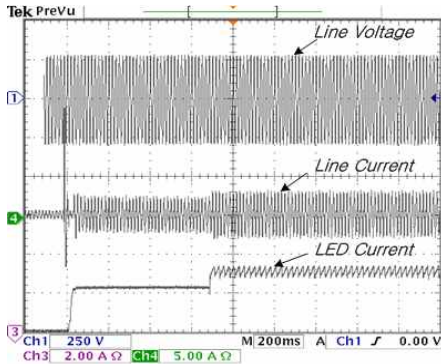


그림 14. 기동 특성(전원 On시)  
Fig. 14. Start characteristic(turn on)

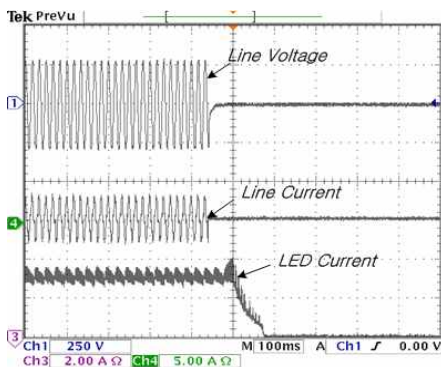


그림 15. 기동 특성(전원 Off시)  
Fig. 15. Start characteristic(turn off)

그림 16은 기존의 Boost 컨버터를 사용한 LED 구동 드라이브회로와 제안된 비절연 전압 보상회로를 이용한 LED 구동 드라이브 회로의 효율을 비교하여 나타

내었다. 기존의 Boost 컨버터를 이용한 LED 구동 드라이브의 경우 입력 전력 전체를 전력 변환하는데 반해 제안된 비절연 전압 보상회로의 경우 전체 전력 10[%] 정도만을 전력 변환 하므로 전체 효율의 4~5[%] 정도를 개선할 수 있음을 알 수 있다.

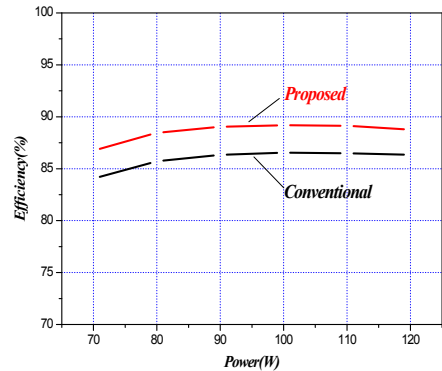


그림 16. 효율 비교  
Fig. 16. Compare of efficiency



그림 17. 가로등용 LED 광원 동작  
Fig. 17. Operation of Street light LED source

그림 17은 제안된 비절연 전압 변동분 보상회로를 적용하여 실제 120[W] LED 가로등 동작을 나타내고 있다.

#### 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 컨버터

를 이용한 정전류 제어를 주로 사용하였다. 이는 입력전력 전체를 전력변환하므로 입력 SMPS의 효율을 고려할 때 LED Power System의 전체 효율은 떨어지는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 Two-stage LED Power System의 단점을 개선할 수 있도록 온도 변화에 따른 정전류 보상을 하는 LED 구동 드라이브를 온도 변화에 대한 전압 변동분만을 전력변환할 수 있는 회로로 구성하였다. 제안된 비절연 전압 변동분 보상회로는 입력 전압을 기본 전압으로 하고 LED 출력전류를 통한 전압 변동분 만을 전력변환하여 보상해 줌으로서 기존의 Boost 방식에 비해 전력 변환 손실을 최소화할 수 있다. 제한된 비절연 전압 변동분 보상회로에 대한 타당성을 위해 120[W] 가로등용 LED 광원과 고효율 LLC 공진형 AC/DC 컨버터를 설계하고 제안된 보상회로를 제작하여 실험하였으며, 실험결과 입력 전력의 10[%]의 전력 변환으로도 온도 변화에 따른 전압 변동분 보상이 가능해짐을 알 수 있었다. 또한 기존 LED 구동 드라이브에 비해 전체 효율이 5[%] 정도 개선됨을 알 수 있었다.

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성 사업의 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] 정영진의 4명, “BCM PFC 플라이백 컨버터 회로의 모델링 및 설계”, 2008 전력전자기술대회 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 모터기술연구소 수석(연). 2010년~현재 전남대학교 전기공학과 박사과정.



**이용재** (李龍宰)

1984년 12월 19일생. 2010년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업. 2010년 3월 전남대학교 대학원 전기공학과 재학(석사).



**박성준** (朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 지능 기계공학과 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.