

## 기생인덕턴스 성분을 이용한 분산형 전력변환 LED 구동회로

김상언<sup>\*</sup>, 노정욱<sup>†</sup>

## Distributed Power Conversion LED Driver Circuit using Parasitic Inductance

Sang-Eon Kim<sup>1</sup>, and Chung-Wook Roh<sup>†</sup>

**Abstract** - The distributed power conversion LED driver circuit using parasitic inductance is proposed in this paper. while the conventional LED driver circuit is composed of the large size devices and heatsinks, the proposed circuit can be realized with the small sized no heatsink based. since the processing power can be effectively distributed. Also by using the wire parasitic inductance of the LED string, the proposed circuit can be implemented without external magnetic device. As a result, the proposed circuit which features the small size and volume can be realized even without LED driver module(LDM) board. since, all the device can be attached to the existing LED array Module(LAM) board. Therefore, it features that cost savings and volume reduction of circuit. To confirm the validity of the proposed circuit, theoretical analysis and experimental results from a distributed power conversion LED driver circuit prototype are presented.

**Keywords:** LED driver, distributed power conversion, parasitic inductance

## 1. 서 론

최근 LED(Light Emitting Diode)를 광원으로 이용하는 조명이 주목을 받고 있다.<sup>[1]</sup> 국내외의 기술 동향으로는 주요 LED Chip 제작기업과 전조등 모듈 제조기업에서 자동차 완성업체와 기술협력을 통해 LED전조등에 대한 핵심 기술 개발을 완료하고 많은 차종에 적용하여 소비자들에게 선보이고 있으며 이후 2015년까지 전체 자동차의 15%까지 보급화 될 것으로 예측하고 있다.<sup>[2][3]</sup>

본 논문에서는 차량용 전조등 시스템을 구동하기 위한 전력변환 회로를 설계함에 있어서 기존의 방식보다 적은 소자수를 사용하여 부피를 저감하고 가격을 저감할 수 있는 분산형 전력변환회로를 제안한다. 기존의 차량용 LED전조등을 구동하기 위한 전원 시스템은 벡컨버터나 부스트 컨버터등의 전력변환회로를 사용하였다. 다수의 LED를 구동하기 위하여 하나의 컨버터를 사용하는데 이러한 경우 다수의 LED의 전력이 하나의 컨버터로 집중되어 컨버터를 구성하기 위한 소자의 크기가

커지고 또한 소자수도 많아져서 부피를 증가시키고 제작 원가를 상승하는 단점이 있다. 본 논문에서 제안하는 LED 구동시스템은 기존회로의 전력변환회로를 분산시켜 전력을 분산시키고 자기소자를 제거할 수 있는 DC/DC 컨버터를 제안한다.<sup>[4]</sup>

그림 1은 기존의 많이 사용되고 있는 전장용 LED 구동회로이다. 그림에서 보인 바와 같이 전체시스템은 EMI필터, 제어 IC, 파워디바이스 등으로 이루어진 LDM(LED Driver Module)단과 여러개의 LED로 이루어진 LAM(LED Array Module)의 2단으로 구성된다. 기존회로는 LAM의 다수의 LED의 전력이 LDM내의 하나의 DC/DC 컨버터에 집중된다. 이 경우 DC/DC 컨버터를 구성하는 스위치와, 인덕터 다이오드, 캐패시터는 큰 전력을 감당하여야 되어 소자의 부피가 커지게 되며 단가 상승을 야기한다. 또한 소자의 부피가 커짐에 따라

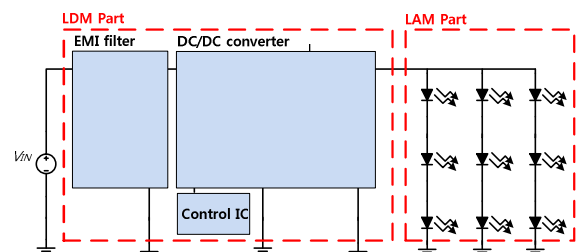


Fig. 1 Conventional LED Driver

Paper number: TKPE-2013-18-2-1 ISSN: 1229-2214

<sup>†</sup> Corresponding author: drno@kookmin.ac.kr, department of electrical engineering, Kookmin University  
Tel: +82-2-910-4947 Fax: +82-2-910-4449

<sup>1</sup> Department of electrical engineering, Kookmin University  
Manuscript received Oct. 29, 2012; accepted Dec. 13, 2012

DC/DC 컨버터의 크기가 커져 별도의 LDM을 사용하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 앞에서 설명한 LDM단의 DC/DC 컨버터의 전력을 분산시켜 작은 소자로 전력변환회로를 구성하며, 기생인덕턴스를 이용하여 별도의 인덕터를 사용하지 않는 작은 크기의 DC/DC 컨버터를 사용하여 기존 회로에서 LDM을 제거 할 수 있는 새로운 방식의 전력 분산형 LED 구동회로를 제안한다.

### 2. 제안 전력 분산형 LED 구동시스템

그림 2는 본 논문에서 제안한 전력 분산형 LED 구동회로를 나타낸다. 전력 분산형 LED 구동회로는 기존의 LED 구동회로에서 하나의 DC/DC컨버터가 부담하는 전력을 여러개의 DC/DC 컨버터로 전력을 분산시킨다. 이 경우에는 다수의 LED를 제어하는 DC/DC 컨버터 보다 부담 하여야하는 전력이 낮아져 작은 내압, 작은 크기의 소자로 회로 구현이 가능하다. 또한 하나의 DC/DC 컨버터에 직렬로 연결된 LED간에는 회로 구성 시 발생하는 기생인덕턴스 성분이 존재하게 된다. 제안회로는 전력을 분산시켜 주어 하나의 DC/DC 컨버터에서 부담하는 전력이 크지 않아 기생인덕턴스 성분만 이용하여도 동작이 가능하다. 이로 인하여 별도의 인덕터를 추가 하지 않아도 회로를 동작시킬 수 있다. 이 경우 기존회로에서 LDM단에 위치하던 여러 소자들 중 EMI 필터만 남게 된다. LDM에서 많은 부피를 차지하던 큰 크기의 소자들을 제거하고 작은 크기의 소자 사용하여 전체 구동회로의 부피를 감소시켜 별도의 LDM을 사용하지 않아도 회로를 구현할 수 있다.

그림 3은 제안된 LED 구동회로의 스위치에 따른 전류 도통경로를 보이고 있다. 스위치가 온 되면 그림 3(a) 와 같은 도통경로가 형성된다. 이 경우에는 병렬로 연결된 각 컨버터들의 다이오드는 차단되어 있다. 따라서 온 시간동안의 전류는 스위치를 지난 뒤 직렬로 연결된 LED들을 지나게 된다.

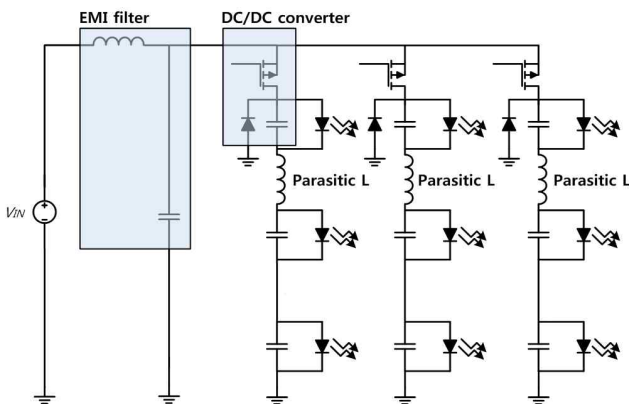
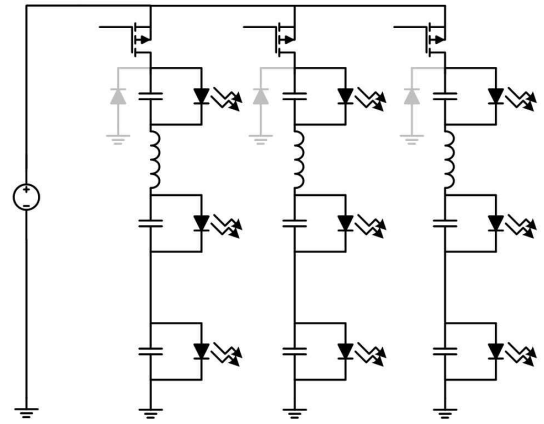
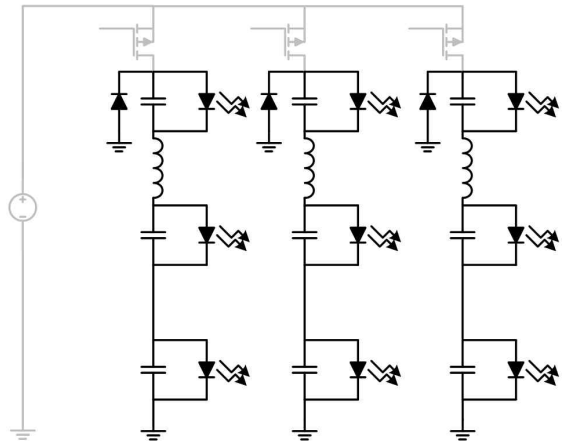


Fig. 2 Proposed Distributed Power Conversion LED Driver Circuit using Parasitic Inductance Converter

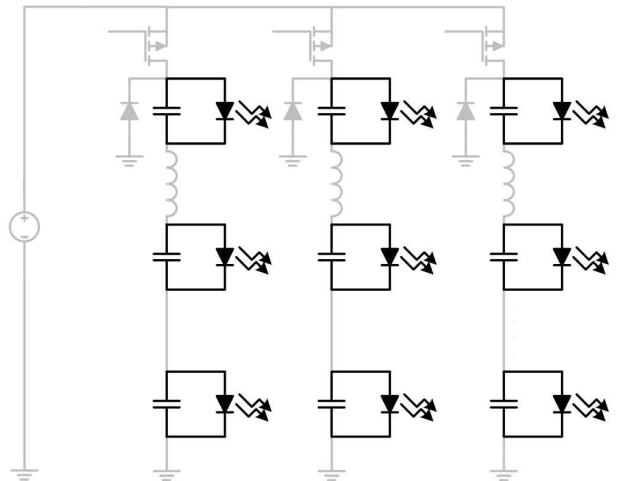
반면 스위치가 오프 되면 그림 3(b)와 같은 도통경로가 형성된다. 이 구간에서는 병렬로 연결된 각 컨버터들의 다이오드들이 도통하여 기생인덕턴스의 전류가 환류하게 된다. 기생인덕턴스의 전류가 모두 환류하고 나면 회로는 그림3(c)와 같은 도통경로를 가지게 된다.



(a) mode 1: M1 switch Turn-on, powering



(b) mode 2: M1 switch Turn-off, freewheeling



(c) mode 3: M1 switch Turn-off, discharging

Fig. 3 Conductive path according to switch status

그림 3(c)는 기생인덕턴스의 전류의 환류가 끝나게 되면서 다이오드와 스위치는 모두 꺼지게 되고 캐패시터는 방전을 하게 된다.

**2.1 제안된 LED 구동회로의 상세 모드해석**

제안된 DC/DC 컨버터의 모드별 동작 해석을 위해 다음을 가정한다.

- i. 모든 소자는 이상적이다.
- ii. 회로도에서 L은 기생인덕턴스를 나타낸다.
- iii. 제안된 컨버터는 정상상태에서 동작한다.
- iv. 출력 캐패시턴스 C<sub>o</sub>는 충분히 크므로 한 주기 동안 출력 전압 V<sub>o</sub>는 일정하다고 가정한다.

제안된 회로는 스위치 스위칭 상태에 따라 3개의 mode로 나눌 수 있다. 그림 3에 제안된 기생인덕턴스를 이용한 전력 분산형 LED구동회로의 주요 파형을 나타내었다. 제안회로는 작은 인덕턴스로 동작하므로 전류불연속 모드(DCM)에서 동작한다. 회로의 기본적인 모드별 동작은 일반적인 DC/DC 벅컨버터의 DCM 동작과 동일하다. 제안된 회로의 t<sub>0</sub>이전 구간은 M<sub>1</sub>은 OFF 있는 구간으로서, 출력캐패시터의 충전된 전압이 방전하는 구간이다.<sup>[5]</sup>

① Mode 1 (t<sub>0</sub> - t<sub>1</sub>)

Mode 1은 스위치가 Trun-on 하는 구간이며, 그림 3(a)와 같은 도통경로를 형성한다. 전류에 흐름에 따라 다이오드에는 역전압이 걸리게 되며 차단되며 기생인덕턴스에는 에너지가 저장된다. 이때 기생인덕턴스의 흐르는 전류는 V<sub>in</sub>-3V<sub>f</sub>/L의 기울기로 증가한다. Mode 1은 스위치가 Trun-off 되면서 종료된다.

② Mode 2 (t<sub>1</sub> - t<sub>2</sub>)

M<sub>1</sub> 스위치가 Turn-off 되면서 Mode 2가 시작되며, 그림 3(b)와 같은 도통경로를 형성한다. 이 구간에서는 다이오드가 도통되며 기생인덕턴스의 전류가 환류한다. 이때의 기생인덕턴스의 전류는 -(V<sub>f</sub>-V<sub>d</sub>)/L의 기울기로 감소하게 된다. Mode 2은 기생인덕턴스의 전류가 모두 환류하여 0이 되었을 때 종료된다.

③ Mode 3 (t<sub>2</sub> - t<sub>0</sub>)

기생인덕턴스의 전류가 모두 환류되어 0이되면 Mode 3이 시작되며, 그림 3(c)와 같은 도통경로를 형성한다. 이 구간에서는 다이오드와 스위치는 모두 Off 되어있는 상태이며 출력 캐패시터가 방전을 시작한다. Mode 3은 스위치가 다시 Turn-on 되면서 종료한다.

**2.2 제안된 회로의 입출력전압 변환비**

본 논문에서 제안하는 분산형 DC/DC컨버터의 입/출력 전압 변환비는 기생인덕턴스를 인덕터로 가정하며 Voltage-second balance에 의해 다음 식 (1)을 통해 나타낼 수 있다.

$$(V_{IN} - V_O)DT - V_O D_1 = 0 \tag{1}$$

또한, 캐패시터의 Current-second balance에 의해 인덕터의 평균 전류는 출력전류 평균값과 같다.

$$I_L = I_O = \frac{V_O}{R} \tag{2}$$

위 식 (2)는 인덕터의 전류 넓이와 같으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{2} I_{max} (D + D_1) = \frac{V_O}{R} \tag{3}$$

식 (3)를 통하여 인덕터 전류의 평균을 구하면 다음과 같다.

$$\langle i_L \rangle = (V_{IN} - V_O) \left( \frac{D_1 T_S}{2L} \right) (D_1 + D_2) \tag{4}$$

또한 식(2)에 직류 부하전류와 결합하면 다음과 같다.

$$I_O = \frac{D_1 T_S}{2L} (D_1 + D_2) (V_{IN} - V) \tag{5}$$

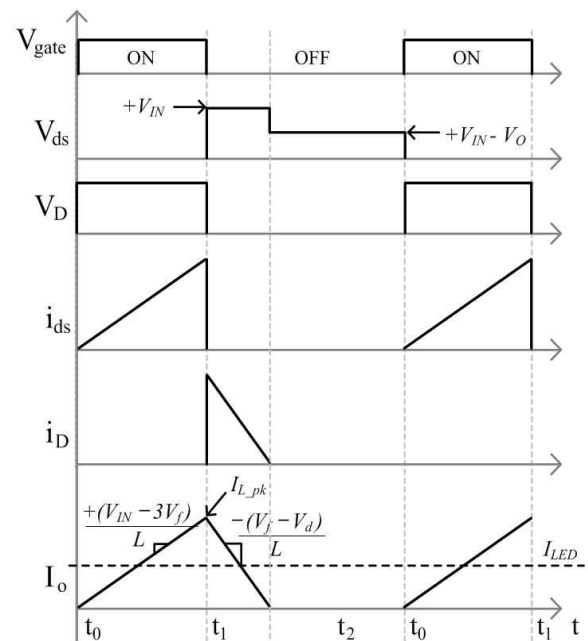


Fig. 4 Key waveform of proposed converter

식 (4)와 식 (5)의 두 개의 방적식에는 두 개의 미지수가 있다. 두 식을 연립하여  $D_2$ 를 소거하고 전압 변환비를 구하면 다음과 같다.

$$M = \frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{4K}{D_1^2}}} \quad (6)$$

여기서 K는  $\frac{2L}{RT_S}$ 이다.

### 2.3 제안된 LED 구동회로의 회로 설계

제안된 기생인덕턴스를 이용한 분산형 전력변환시스템을 이용한 LED구동회로의 입출력 사양과 설계과정은 다음과 같다.

- 입력 조건 : 9V - 16V
- 출력 조건 : 6.72V / 300mA ( $V_F - 2.24V \text{ LED} \times 3$ )
- Wire길이 : String당 140Cm (LED 간 20Cm)
- 스위칭 주파수 : 1000KHz

i. 제안된 회로는 기생인덕턴스를 이용하기 때문에 회로의 기생인덕턴스 성분을 추정하여야 한다. 회로구성시 발생하는 기생인덕턴스 성분은 플랫 와이어의 인덕턴스는 다음 식을 통하여 추정할 수 있다.<sup>[6]</sup>

$$L = 2.0 \times 10^{-3} \times I \left[ \ln \left( \frac{2.01}{w+t} \right) + 0.5 + 0.2235 \left( \frac{w+t}{I} \right) \right] \quad (7)$$

위식에서 I는 길이를 나타내며 w는 넓이 그리고 t는 두께를 의미하며 본 논문에서 설계할 회로는 길이 140cm, 넓이 0.1cm 두께는 0.01의 플랫와이어를 이용한다. 따라서 식(7)를 이용하여 구한 기생인덕턴스의 추정값은 2.359uH이다.

ii. 입출력 사양에서 최소 입력전압일 경우 CCM동작을 위해서는 8.4uH이상의 인덕터가 필요로 하다. 따라서 본 논문에서 제안한 회로는 DCM동작을 한다. 앞서 구한 입출력 전환비식을 통하여 구한 식(6)를 이용하여 제안회로의 시비율을 구할 수 있다.

$$D = \sqrt{\frac{4K}{\left( \frac{2V_{IN}}{V_o} - 1 \right)^2} - 1} \quad (8)$$

위식을 이용하여 최소입력전압에서의 시비율은 0.319임을 알 수 있다.

iii. 스위치는 OFF상태일 때의 양단에 걸리는 최대 전압, ON상태일 때의 흐르는 최대 전류를 고려하여 설계하였다. 최대전압  $V_{DS Max}$ 와 최대전류  $I_{D Max}$ 는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$V_{DS Max} = V_{i Max} \quad (9)$$

$$I_{D max} = I_{max} + \frac{\Delta i}{2} \quad (10)$$

위 식을 이용하여 구한  $V_{DS Max}$ 는 16[V]이며  $I_{D Max}$ 는 0.315(A)이다. 따라서 본 논문에서는 ROHM사의 RRR040P03 (30[V]/4[A])를 선정하였다.

다이오드 역시 스위치와 같은 전압전류스트레스를 가지며 또한 높은 주파수에서 동작하므로 우수한 역회복 특성을 가지는 쇼트키 다이오드를 사용하였다. 본 논문에서는 LRC사의 LRB520S (30[V]/1[A])를 선정하였다.

iv. 제안회로는 그림 2와 같이 하나의 DC/DC 컨버터에 여러개의 LED를 연결한 구조이다. 여기서 하나의 DC/DC 컨버터를 구성하는 한 String의 LED 간에는 기생인덕턴스 성분이 존재한다. 하지만 이 기생인덕턴스는 편차가 존재한다. 이 편차는 회로의 출력전류에 영향을 미치게 되며 출력전류의 편차가 존재할 경우 LED의 밝기가 달라지는 문제가 발생한다. 그래서 본 논문에서는 추가적으로 각 열마다 작은 인덕터를 추가하여 기생인덕턴스의 편차를 줄여 열 간의 LED 출력 전류편차를 줄여주었다. 편차를 줄이기 위해 필요한 외부 인덕턴스 값은 LED의 전류편차정도에 따라 달라지며 편차를 줄이기 위하여 필요한 외부 인덕턴스 값을 계산하였다.

인덕턴스 값은 Psim 모의실험을 통하여 필요한 외부 인덕턴스 값을 추정하였다. 모의실험은 String의 기생인덕턴스 값을 임의로 변화시키며 인덕턴스편차에 따른 출력 전류 편차의 관계를 확인하는 방식으로 진행하였다. 모의실험 결과 각 String의 전류 편차는 인덕턴스의 절대적인 크기가 아닌 String간의 인덕턴스 값의 비율로 전류편차가 생기는 것을 확인하였다. 모의 실험을 통하여 string간의 기생인덕턴스 값의 편차에 따른 출력 전류 편차를 이용하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\text{편차 } 5\% : \text{미만 External } L > 8X - 9Y \quad (11)$$

$$\text{편차 } : 10\% \text{ 미만 External } L > 2.5X - 3.5Y \quad (12)$$

(X:가장 큰 기생 L값, Y:가장 작은 기생L값)

식(11)을 바탕으로 string들의 전류과형을 계산해보면 표 (1)과 같은 결과를 볼 수 있다.

편차를 계산하기 위해 사용한 파라미터 값은 다음과 같다. 입력전압 12V, 출력전류는 300mA로 하였으며 기생인덕턴스 값은 0.5uH, 0.8uH, 1uH로 하였으며 편차는

Table 1 LED Output Current of External Inductor

(a)No use External Inductor

	Parasitic Inductance	External Inductor	$I_{LED}$	Deviation
String1	0.5uH	x	272.91mA	23%
String2	0.8uH	x	294.13mA	
String3	1.0uH	x	340.02mA	

(b)Add External Inductor

	Parasitic Inductance	External Inductor	$I_{LED}$	Deviation
String1	0.5uH	3.9uH	295.88mA	3.6%
String2	0.8uH	3.9uH	302.01mA	
String3	1.0uH	3.9uH	306.32mA	

Table 2 Design specification for proposed LED Driver

Input Voltage	9-16Vdc
Output Voltage ( $V_{LED}$ )	6.72Vdc
Output Current ( $I_{LED}$ )	300mA
Switching Frequency	1000KHz
Output Inductor	10uH
Control IC	LM3409

5%미만을 목표로 식(2)을 사용하였다. 식(2)을 통하여 구해진 필요한 인덕터 값은 3.5uH이며 이에 해당하는 표준 인덕터 용량인 3.9uH를 사용하였다. 계산결과인 표 1에서 볼 수 있듯이 외부에 인덕터를 사용하지 않았을 경우인 표 1-(a)는 전류편차가 23%가 발생하였다. 하지만 외부에 작은 칩인덕터 하나를 추가하였을 경우엔 표 1-(b)의 결과처럼 전류 편차가 3.6%로 아주 작게 나타났다.

### 3. 제안된 LED 구동회로의 실험 결과

제안 시스템의 타당성 및 우수성 검증을 위해 이론적 해석을 바탕으로 전장용 LED 구동회로를 위한 시작품을 설계하고 실험 결과를 제시하여 타당성을 검증한다. 설계를 위한 입출력 사양과 실험에 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

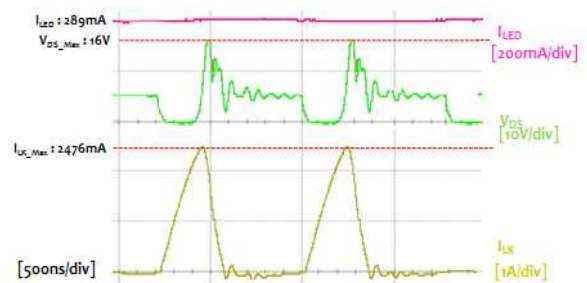
회로 구성은 그림7의 회로와 동일하게 구성하였다. 그림 5(a)는 제안회로의 실험파형이다. 실험 파형은 입력 전압이 12V에서의 LED의 출력전류와 Vds양단 전압과 External L의 전류파형의 결과를 나타내었다. External L의 파형으로 제안회로는 불연속모드로 동작하며 앞서 제안회로를 설명하였듯이 전력분산으로 인하여 스위치 하나의 걸리는 전압 및 전류의 크기는 낮아진 것을 볼 수 있다. 따라서 낮은 내압을 가지는 작은 소자로 회로를 구현할 수 있었다. 회로에 사용된 소자는 모두 SMD

타입이며 스위치는 SOT-23 type, 다이오드는 SC-79 type, 캐패시터는 2012 Size, External L은 2020 size를 사용하였다. 따라서 기존회로에서 큰 소자 사용으로 별도로 사용했던 LDM board를 사용하지 않고 LAM에 DC/DC 컨버터를 위치할 수 있으며 또한 발열이 작아 LED의 방열판을 공유하여도 동작이 가능하였다.[7] 그림 5(b)는 제안회로의 입력전압에 따른 효율을 측정한 표이다. 제안회로의 효율은 13V를 기준으로 낮은 전압에서는 기존회로보다 높은 효율을 보여주었고 13V 이상에서는 기존회로보다 조금 낮은 효율이 측정되었다. 하지만 전체적인 효율로 볼 때는 기존회로와 거의 동일한 성능을 보여주었다.

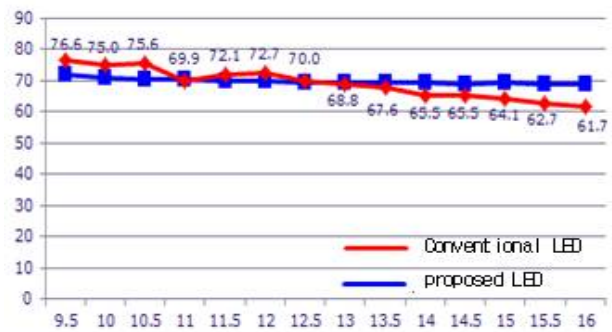
### 4. 결론

본 논문에서는 최근 각종 환경규제와 소비전력 문제 등으로 인해 전력소모 및 수명, 친환경성 등에서 큰 장점을 가진 LED를 이용한 새로운 구조의 전장용 LED 구동시스템을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 방식은 기존에 전장용 LED의 LDM에서 Power Device를 분리시킴으로써 작은 사이즈의 소자들로 회로를 구현하고 또한 전력분산으로 인하여 인덕터를 제거 할 수 있는 장점이 있다. 이는 발열이 크고 부피가 큰 부품들을 사용하지 않아도 되며 별도의 보드를 사용하지 않아도 회로를 구현할 수 있다는 점을 주목한다.

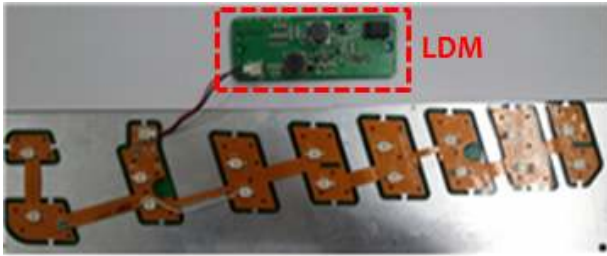


(a) Experimental waveforms of proposed Circuit



(b) efficiency of proposed Circuit

Fig. 5 Experimental waveforms & efficiency of proposed Circuit



(a) Conventional LED Driver Circuit



(b) proposed LED Driver Circuit

Fig. 6 Conventional &amp; Proposed LED Driver Circuit

이를 고려하면 LDM에서는 EMI filter와 부피가 작은 Control IC만 존재하므로 기존에 사용하던 LDM 보드를 제거하고 LAM 하나의 보드로 구현이 가능하다.

제안회로의 타당성 검증을 위하여 이론적 분석 및 전장용 LED 구동회로를 위한 시작품을 제작하여 실험을 수행하였으며, 제안회로의 실험결과 분산형 전력변환 시스템의 동작을 확인 하였으며 기존 회로보다 작아진 소자 및 별도의 LDM을 사용하지 않음으로써 부피감소 및 제작단가 저감의 효과를 확인하였다. 따라서 제안된 회로는 유사한 입/출력 사양을 갖는 다양한 응용분야에 부피 감소 및 제작단가 저감을 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 삼성전자(주)의 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음  
(NIPA-2012-H0301-12-2007)

## 참 고 문 헌

- [1] H. van der Broeck, G. Sauerlander and M. Wendt, "Power drivers and control schemes for LEDs," in Proceedings of IEEE-APEC'07, pp. 1319-1325, 2007.
- [2] Michael Hamm and Wolfgang Huhn, "Design Claims and Technical Solution Steps Generating the World First Full LED Headlamp," SAE 2008-01-0337.
- [3] Detlef Decker and Cornelius Neumann, "Styling and Design - The Real Driving Forces for LED Technology," SAE 2008-01-0490.

- [4] S. E. Kim and C. W. Roh, "LED Driver Circuit using Distributed Power Conversion", *2012 KIPE Power Electronics Annual conference*, pp. 333-334, July 2012.
- [5] Y. J. Lee, J. B. Kim, C. S. Kim, S. K. Lim, S. J. Park, Y. C. Lim, "LED Current controller development Using Buck Converter", *2012 KIPE Power Electronics Annual conference*, pp. 427-428, July 2011.
- [6] Terman, *Radio Engineers Handbook*, McGraw-Hill, 1945.
- [7] H. H. Jung, C. O. Kim and N. K. Chung, "A Study on the Numerical Analysis of Heat sink for Radiant Heat of Automotive LED Head Lamp", *2011 KSME Conference*, pp. 383-389, May 2011.

## 저 자 소 개



### 김상언(金相彦)

1986년 4월 6일생. 2012년 국민대 전자정보통신대학 전자공학부 졸업. 2012년~현재 동대학원 전자공학과 석사과정.



### 노정욱(盧政煜)

1971년 9월 10일생. 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 2000년~2004년 삼성전자(주) 영상 디스플레이 사업부 책임연구원. 2004년~현재 국민대 전자정보통신공학부 부교수. 당 학회 편집위원.