

# LED TV를 위한 단일전력단 전류평형 다채널 LED 구동회로

류동균<sup>1</sup>, 원충연<sup>2</sup>, 한상규<sup>†</sup>

## Single Stage Current-Balancing Multi-Channel LED Driver for LED TV

Dong-Kyun Ryu<sup>1</sup>, Chung-Yuen Won<sup>2</sup>, and Sang-Kyoo Han<sup>†</sup>

### Abstract

A single-stage current-balancing multi-channel light-emitting diode (LED) driver is proposed in this study. The conventional LED driver system consists of two cascaded power conversion stages, i.e., an isolation DC/DC converter and LED driver. LED driver is usually implemented with the same number of expensive boost converters as those of LED channels to tightly control the current through each LED channel. Therefore, its overall system size is not only bulky, but the cost is rather high. By contrast, the proposed LED driver system is composed of a single power stage with the DC/DC converter and LED driver merged. Although the current balancing circuit of the proposed LED driver requires only passive devices instead of expensive boost converters, all currents through multi-channel LEDs can be well balanced. Therefore, the proposed LED driver features a small system size, improved efficiency, and low cost. To confirm the validity of the proposed driver, its operation and performance are verified on a prototype for a 46'' LED TV.

**Key words:** Light emitting diode (LED) TV, LED driver, Multi-channel LED, Current-balancing, Single-stage

### 1. 서 론

최근 디지털 멀티미디어 시대를 맞이하여 평판 디스플레이 (Flat Panel Display: FPD) 시장은 급진적인 성장을 이루었다. 그 중에서도 편의성과 가격 대비 효율이 가장 우수한 액정 디스플레이 (Liquid Crystal Display: LCD)는 휴대폰, 전자수첩 (Personal digital assistant: PDA), TV 등과 같이 다양한 분야에 활용되며 응용 시장을 넓혀가고 있다. LCD는 비(非)자발광 디스플레이로서, LCD 전 영역에 걸쳐 균일한 밝기의 빛을 공급하는 백라이트 유닛 (Backlight Unit : BLU)사용이 필수적이다. BLU는 패널의 가격에 있어서 가장 큰 부분을 차지하고, LCD 패널에서 사용되는 소비전력의 약 90%를 소

모한다. 이에 따라 LCD TV의 고화질화, BLU의 효율 향상 및 가격 경쟁력 확보 등에 관하여 다양한 연구가 이루어지고 있다. LCD TV용 백라이트 광원으로 현재 냉음극형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp: CCFL)이 많이 사용되고 있다. 그러나 최근 낮은 소비전력, 긴 수명시간, 높은 명암비와 풍부한 색 재현성 그리고 무 수은으로 친환경적이라는 장점을 내세운 발광다이오드 (Light Emitting Diode: LED)가 빠르게 CCFL을 대체해가고 있다.<sup>[1]~[5]</sup>

일반적인 LED 구동회로의 경우 부스트 컨버터와 같은 비 절연형 DC/DC 컨버터를 채용하여 정밀한 LED 전류제어를 하고 있다. 그러나 상기 방식은 각 LED 채널의 정밀한 전류 제어를 위하여 LED 채널별로 LED 구동회로를 요구할 뿐만 아니라 전체적으로 절연형 DC/DC 컨버터 단과 LED 구동용 비절연형 LED 구동회로 단이 직렬 접속된 2단 구성으로 인해 제작단가가 높고 회로가 복잡하며 높은 전력변환 효율을 획득하기 어려운 단점을 가진다.

따라서 본 논문에서는 상기한 기존 LED 구동 회로의 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위한 새로운 구조의 고효율 및 저 가격형 다채널 LED 구동 회로를 제안한다.

Paper number: TKPE-2014-19-6-11

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

<sup>†</sup> Corresponding author: djhan@kookmin.ac.kr, School of Electrical Engineering, College of Electrical Engineering and Computer Science, Kookmin University  
Tel: +82-2-910-5467 Fax: +82-2-910-4449

<sup>1</sup> School of Info. and Comm. Eng., Sungkyunkwan Univ.

<sup>2</sup> School of Info. and Comm. Eng., Sungkyunkwan Univ.

Manuscript received Sep. 3, 2014; accepted Oct. 17, 2014

— 본 논문은 편집위원회에서 우수기술논문으로 추천됨

## 2. 기존 LED 구동 회로

최근 대형 디스플레이 화면에 대한 소비자의 요구가 급증함에 따라 LED BLU도 점차 대형화 되어 가고 있다. LED BLU는 충분한 휘도를 표현하기 위하여 다수 개의 LED가 사용되고 있으며, 이러한 LED는 직렬구조, 병렬구조 및 직병렬 혼합구조로 구성되어지는데 다수의 LED를 모두 직렬로 구성할 경우 정전류 제어에는 유리하나 높은 구동전압으로 인한 절연 문제가 요구되기 때문에 병렬 또는 직병렬 구조를 주로 사용하고 있는 추세이다. 그러나 병렬 또는 직병렬 구조의 다채널 LED를 하나의 전압원으로 병렬 구동하여 각 LED 채널에 동일한 전압을 인가할 경우 각 LED 채널의 특성편차 및 온도 차이에 따라 심각한 전류 불평형이 발생할 수 있다.<sup>[6]-[7]</sup> 특히, LED 백라이트의 휘도는 LED 전류의 평균값에 의해 주로 결정되기 때문에 이러한 전류 불평형은 백라이트의 휘도 편차를 발생시켜 제품의 품질저하로 이어진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 각 LED 채널에 대해 정전압이 아닌 정전류 제어가 이루어져야 하며, 이를 위해 정밀한 정전류 제어가 가능한 LED 백라이트 구동회로가 필수적이다.

LED를 정전류로 제어할 수 있는 회로들은 이미 오래 전부터 연구, 개발되어 왔으나, LED 구동회로의 전력변환 효율개선, 신뢰성 향상 및 전체 시스템 단가 절감 등에 관해서는 더욱 많은 연구가 필요한 실정이다. 그림 1은 현재까지 가장 많이 사용되고 있는 부스트 컨버터를 이용한 다채널 LED 구동회로를 보이고 있으며 절연형 DC/DC 컨버터 단과 비 절연형 LED 구동회로 단인 2개의 전력단으로 구성되어 있다. 즉 절연형 DC/DC 컨버터 단은 약 385V의 DC 입력 전압으로부터 LED 구동을 위한  $V_{link}$ 로 강압하고, 이후 LED 구동회로 단은 강압된  $V_{link}$ 로부터 각각의 LED 채널을 정전류 구동하고 있다. 이러한 방식은 절연형 DC/DC 컨버터단에 높은 출력 전압을 요구하지 않고 특성이 다른 각각의 LED 채널의 전류를 정밀하게 제어할 수 있는 장점이 있어 현재까지 가장 많이 사용되고 있다.<sup>[8]</sup> 그러나, 기존 LED 구동회로는 LED 채널의 정밀한 정전류 제어가 가능한 반면 LED 채널 수에 비례한 많은 수의 LED 구동회로가 요구되므로 시스템 부피와 제작단가 측면에서 불리한 단점을 가진다. 즉  $n$ 개의 LED 채널을 구동시키기 위하여  $n$ 개의 LED 구동회로가 필요하기 때문에 사용 소자의 증가로 인해 제작단가가 상승하게 되고 시스템이 복잡할 뿐만 아니라 절연형 DC/DC 컨버터 단을 포함한 총 2개의 전력단으로 구성되어 있어 전력변환 효율이 낮은 단점이 있다. 뿐만 아니라  $n$ 개의 LED 구동회로를 위한 다수의 전력용 반도체소자와 IC의 사용이 필수적이므로 신뢰성 측면에서 취약한 단점 또한 존재한다.

이를 해결하기 위해 그림 2와 같이  $n$ 개의 LED 채널

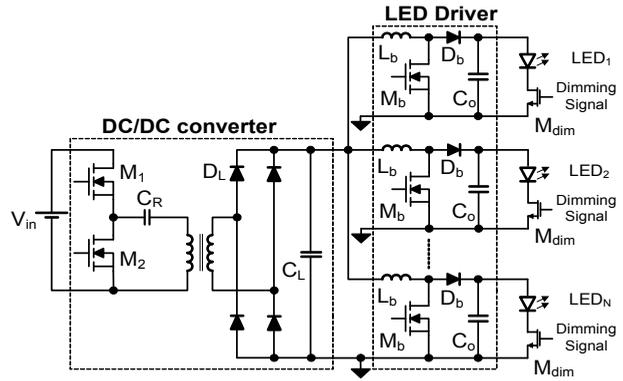


Fig 1. Conventional 2-stage LED driver adopting boost converter.

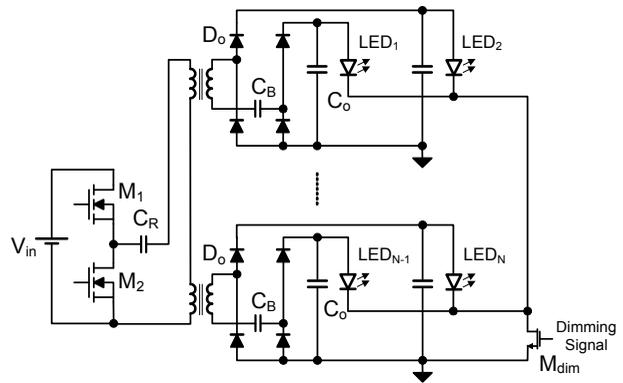


Fig 2. Conventional TCB multi-channel LED driver.

을 구동하기 위한 별도의 LED 구동 회로 없이 직렬 연결된  $n/2$ 개의 트랜스포머와  $n/2$ 개의 DC blocking 캐패시터로 이루어진 단일전력단 트랜스포머 캐패시터 평형 (Transformer Capacitor Balancing: TCB) 다채널 LED 구동회로가 제안된 바 있다.<sup>[9]-[11]</sup> TCB 다채널 LED 구동회로의 경우 별도의 LED 구동회로 없이 우수한 전류평형 특성을 가지며 단일 전력단 구조를 가지므로 전력변환 효율이 우수하고 소자개수 및 시스템 제작단가를 저감할 수 있는 장점이 있다. 그러나 본회로의 경우 다수의 트랜스포머가 요구되어 시스템이 다소 복잡해질 뿐만 아니라 특히 트랜스포머의 자화인덕턴스 편차에 따른 LED전류편차가 불가피한 단점을 가진다.

따라서 본 논문에서는 그림 3과 같이 기존 LED 구동회로의 단점을 극복할 수 있는 새로운 단일전력단 전류평형 다채널 LED 구동회로를 제안한다. 제안된 LED 구동회로는 기존 2-전력단 LED 구동회로와 달리 다수의 부스트 컨버터가 필요 없는 단일전력단 구조를 가지므로 회로가 간단하고 제작단가가 낮으며 전력변환 효율이 우수한 장점을 가진다. 뿐만 아니라 기존 단일전력단 TCB 다채널 LED 구동회로와 달리 1개의 트랜스포머만을 사용하므로 회로가 간단할 뿐만 아니라 특히 기존 트랜스포머의 자화인덕턴스 편차에 의한 LED 전류편차 문제가 전혀 없으므로 우수한 화질 구현이 용이한 장점

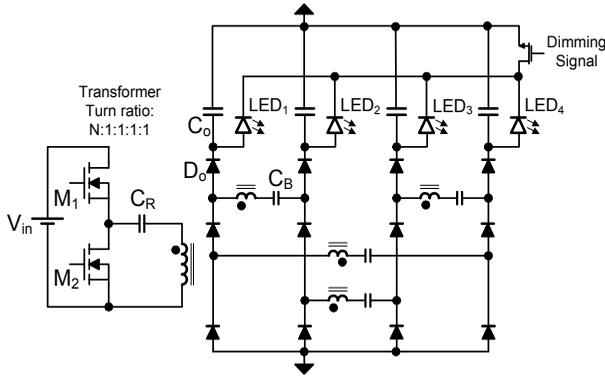


Fig 3. Proposed single-stage current-balancing 4-channel LED driver.

을 가진다.

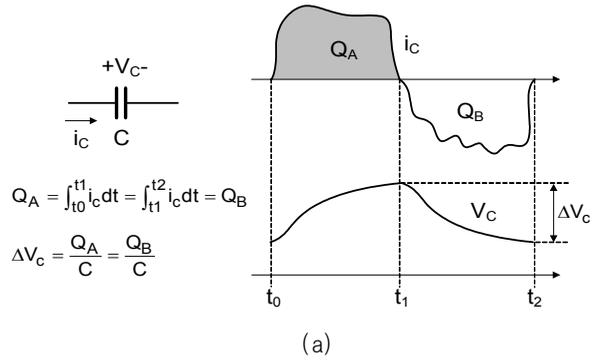
최종적으로 본 논문에서는 제안회로의 타당성 검증을 위해 이론적 분석결과와 46" LED TV용 시작품 제작을 통한 실험 결과를 제시한다.

### 3. 제안된 다채널 LED 구동 회로

그림 3은 본 논문에서 제안된 단일전력단 전류평형 다채널 LED 구동 회로를 보이고 있으며 그림에서 보인 바와 같이 트랜스포머는 1개이며 다수 개의 2차측 다중 권선을 가진다. 또한 1차측은 하프브리지 LLC 공진형 컨버터로 구성되어 있으며 2차측은 캐패시터와 트랜스포머 2차측 권선이 서로 직렬 접속되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이 제안된 다채널 LED 구동회로는 기존 2-전력단 LED 구동회로에 비해 전력 변환단이 하나 줄어든 1단 구성이며 기존 TCB 다채널 LED 구동회로와 달리 트랜스포머가 1개만으로 구성되어 있다.

#### 3.1 제안된 LED 구동회로의 전류평형원리

그림 4 (a)는 캐패시터의 전하평형 원리를 보이고 있으며 그림으로부터 캐패시터는 정상상태에서 전류의 시간적 평균은 항상 0이 되어 DC 전류가 차단(blocking)됨을 알 수 있다. 이러한 캐패시터 하나의 전하평형원리를 여러 개의 캐패시터로 확장하면 그림 4 (b)와 같이 구성할 수 있다. 즉,  $T_P$  시간동안 양의 전류  $i_{P1}$ 과  $i_{P2}$ 가 그림과 같이 흐를 때  $C_1$ 과  $C_2$ 에는  $i_{P1}$  전류가,  $C_3$ 와  $C_4$ 에는  $i_{P2}$  전류가 흐르며 이후  $T_N$  시간동안 음의 전류  $i_{N1}$ 과  $i_{N2}$ 가 그림과 같이 흐를 때  $C_2$ 과  $C_3$ 에는  $i_{N1}$  전류가,  $C_4$ 과  $C_5$ 에는  $i_{N2}$  전류가 흐르게 된다. 따라서 양의 전류  $i_{P1}$ 은 음의 전류  $i_{N1}$ 과 캐패시터  $C_2$ 에 의해 서로 공유되므로 그림 4 (a)의 전하평형 원리에 의해 정상상태 시  $i_{P1}$ 과  $i_{N1}$ 은 서로 정확히 동일해진다. 마찬가지로 음의 전류  $i_{N1}$ 은 양의 전류  $i_{P2}$ 와 캐패시터  $C_3$ 에 의해 서로 공유되므로 정상상태 시  $i_{P2}$ 와  $i_{N1}$ 은 마찬가지로 전하평형 원리에 의해 서로 정확히 동일해진다.



$$Q_A = \int_{t_0}^{t_1} i_c dt = \int_{t_1}^{t_2} i_c dt = Q_B$$

$$\Delta V_c = \frac{Q_A}{C} = \frac{Q_B}{C}$$

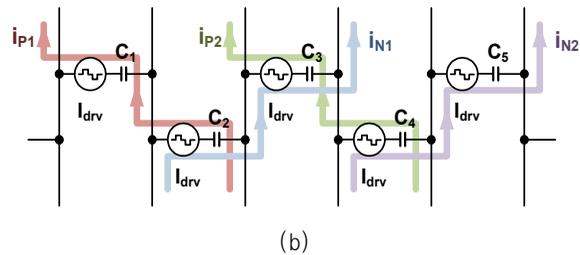


Fig 4. Current balancing principles of proposed LED driver.

(a) Charge balancing principles of a capacitor

(b) Extensions of charge balancing principles

따라서 상기 동작을 확장해 보면 다음 식(1)과 같이  $i_{P(k)}$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ ) 전류는 하부 캐패시터  $C_{(2k)}$ 에 의해  $i_{N(k)}$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ ) 전류와 항상 동일해지고  $i_{N(k)}$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ ) 전류는 상부 캐패시터  $C_{(2k+1)}$ 에 의해  $i_{P(k+1)}$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ ) 전류와 항상 동일해지므로 결국 모든 전류의 평형이 가능해진다.

$$i_{P(k)} = i_{N(k)}, i_{N(k)} = i_{P(k+1)}$$

$$\therefore i_{P(k)} = i_{N(k)} = i_{P(k+1)}$$

wher  $k=1, 2, 3, \dots$

따라서 상기한 전류평형 원리를 회로적으로 구현하면 그림 3과 같다. 즉  $T_P$  시간 동안 양의 전류  $i_{P(k)}$ 를 그리고  $T_N$  시간 동안 음의 전류  $i_{N(k)}$ 를 흘리기 위해 트랜스포머 2차측 다중 권선을 그림 3과 같이 전류평형 캐패시터와 각각 직렬로 구성하며 트랜스포머 1차측 하프브리지 인버터의 스위칭 동작에 따라 양의 전류와 음의 전류가 한 스위칭 주기 내에 각각 교번으로 2차측으로 흐르게 된다. 제안된 LED 구동회로의 상세한 동작원리는 다음 3.2절에서 고찰하도록 한다.

#### 3.2 제안된 LED 구동회로의 동작원리

3.1절에서 고찰된 전류평형원리를 바탕으로 제안된 회로의 모드별 동작은 그림 5 및 그림 6과 같다.

동작 해석의 편의를 위하여 다음과 같이 가정한다.

- 그림3에 나타난 기생성분 외에 모든 소자는 이상적이다.
- 디밍(dimming) 비율을 100%로 가정하여 그림3의 dimming switch는 단락(short)되어 있다.
- 모든 동작은 정상 상태(Steady State)이다.
- 출력 캐패시터는 충분히 커서 모든 LED 채널의 양단 전압  $V_{LED1} \sim V_{LED4}$ 는 각각 일정하다.
- 하프브리지 인버터 단은 일반적인 LLC컨버터의 동작과 동일하므로 상세한 동작은 생략한다.
- < · >는 ‘·’의 평균값을 의미한다.

스위치 M1이 도통하여 트랜스포머 1차측 dot에 양의 전압이 인가되면 트랜스포머 2차측 다중권선의 극성 또한 dot이 양의 극성이 되므로 그림 5와 같은 도통 경로가 형성되어 C1 및 C2 그리고 C3 및 C4가 각각 직렬 연결되며 다음과 같이 식(2)와 (3)이 성립한다.

$$\langle i_{P1} \rangle = \langle i_{P2} \rangle = I_{LED1} \quad (2)$$

$$\langle i_{P3} \rangle = \langle i_{P4} \rangle = I_{LED3} \quad (3)$$

이후 스위치 M1이 차단되고 스위치 M2가 도통하여 트랜스포머 1차측 dot에 음의 전압이 인가되면 트랜스포머 2차측 다중권선의 극성 또한 dot이 음의 극성이 되므로 그림 6과 같은 도통 경로가 형성되어 C2 및 C3 그리고 C4 및 C1이 각각 직렬 연결되며 다음과 같이 식(4)와 (5)가 성립한다.

$$\langle i_{N2} \rangle = \langle i_{N3} \rangle = I_{LED4} \quad (4)$$

$$\langle i_{N4} \rangle = \langle i_{N1} \rangle = I_{LED2} \quad (5)$$

한편 한 스위칭 주기 동안 각 전류평형 캐패시터에 흐르는 전류는 3.1절에서 고찰된 바와 같이 캐패시터 전하 평형원리에 의해 그 평균이 항상 0이 되어야 하므로 다음과 같이 식(6)이 성립한다.

$$\langle i_{P1} \rangle = \langle i_{N1} \rangle, \langle i_{P2} \rangle = \langle i_{N2} \rangle, \langle i_{P3} \rangle = \langle i_{N3} \rangle, \langle i_{P4} \rangle = \langle i_{N4} \rangle \quad (6)$$

따라서 식 (2)~(6)으로부터 식 (7)과 같이 모든 LED 채널의 전류는 별도의 제어 없이도 평형이 유지될 수 있다.

$$\langle i_{P1} \rangle = \langle i_{N1} \rangle = \dots = \langle i_{P4} \rangle = \langle i_{N4} \rangle = I_{LED1} = \dots = I_{LED4} \quad (7)$$

### 3.3 제안된 회로의 특징

#### A. 회로 구성 측면

표 1은 부스트 컨버터를 이용한 기존 2단 전력단 LED 구동회로, 기존 TCB 구동회로, 그리고 본 논문에서 제안된 구동회로를 4채널 LED 구동회로에 적용할 경우 소자 수 측면에서 비교하고 있다.

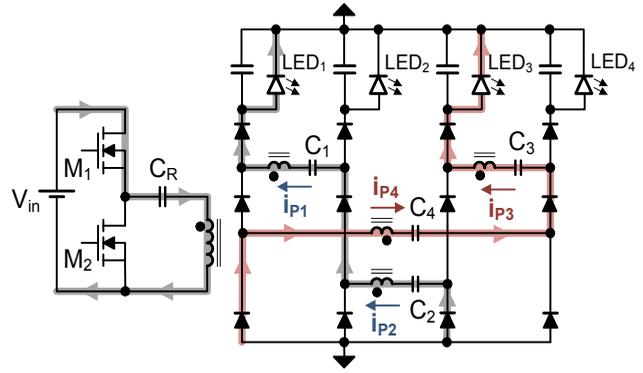


Fig 5. Operation mode diagram during positive switching period.

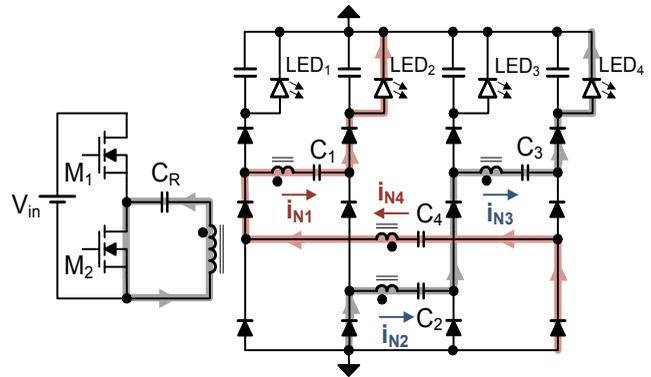


Fig 6. Operation mode diagram during negative switching period.

표 1에서 보인 바와 같이 제안된 방식은 기존 부스트 컨버터를 이용한 2단 전력단 구동회로에 비해 다이오드(UF4007)와 DC 차단(blocking) 캐패시터의 수가 다소 증가하나 다이오드와 캐패시터는 각각 1A 전류용량과 100n/100V의 매우 작은 소자를 사용하므로 원가 상승이 크게 우려되지 않는 대신 기존 방식에 사용된 다수의 제어 IC, 전력스위치, 전력다이오드, 큰 링크 캐패시터 등 고가의 소자를 획기적으로 제거할 수 있으므로 재료비 측면에서 매우 큰 장점을 갖는다. 뿐만 아니라 기존 TCB 구동회로에 비해 제안된 구동회로는 소자 수 측면에서 거의 대동소이 하나 채널수의 절반에 해당하는 트랜스포머를 요구하는 기존 TCB 구동회로에 비해 하나의 트랜스포머만을 요구하므로 시스템 사이즈와 재료비 측면에서 다소 유리하다고 할 수 있다.

#### B. 전류평형 성능 측면

기존 부스트 컨버터를 이용한 2단 전력단 LED 구동회로의 경우 상기한 바와 같이 재료비 측면에서 불리한 단점을 가지나 각 LED의 전류를 개별적으로 제어하므로 매우 우수한 전류평형 성능을 가지며 다만 각 LED 전류를 제어하기 위한 각 구동 IC의 전류 레퍼런스(reference)의 편차에 의한 불평형만이 존재할 뿐이다.

TABLE I  
COMPARISONS OF CONVENTIONAL AND PROPOSED  
4-CHANNEL LED DRIVERS IN THE ASPECT OF THE  
NUMBER OF DEVICES

Items		Conventional boost driver	Conventional TCB driver	Proposed driver
Transformer		EE2525: 1EA	EE2222: 2EA	EE2525: 1EA
Power switch	$M_1, M_2$	2SK3561: 2EA	2SK3561: 2EA	2SK3561: 2EA
	$M_{dim}$	FDU3N40: 4EA	FDU3N40: 1EA	FDU3N40: 1EA
	$M_b$	FDU3N40: 4EA	0EA	0EA
Diode	$D_L$	1N5408: 4EA	0EA	0EA
	$D_b$	UF4007: 4EA	0EA	0EA
	$D_o$	0EA	UF4007: 8EA	UF4007: 12EA
Inductor		500uH: 4EA	0EA	0EA
Film cap.	$C_R$	22n/1kV: 1EA	22n/1kV: 1EA	22n/1kV: 1EA
	$C_B$	0EA	100n/100V: 2EA	100n/100 V:4EA
Al. cap.	$C_L$	68uF/200V: 1EA	0EA	0EA
	$C_o$	10uF/350V: 4EA	10uF/350V: 4EA	10uF/350 V:4EA
Contro l IC	LLC	MC33067: 1EA	MC33067: 1EA	MC33067 : 1EA
	Boost	HV9911: 4EA	0EA	0EA

한편 기존 TCB 다채널 LED 구동회로의 경우 그림 7에 보인 같이 m개의 트랜스포머 1차측이 모두 직렬 연결되어 있으므로 각 전류는 다음 식과 같이 정확히 동일하다.

$$i_{pri(1)}=i_{pri(2)}= \dots =i_{pri(m-1)}=i_{pri(m)} \quad (8)$$

이때 각 트랜스포머 2차측 권선에는 다음 식과 같이 1차측 전류와 자화인덕턴스 전류의 차이에 턴비를 고려한 전류가 흐르게 된다.

$$i_{sec(k)}=N(i_{pri(k)}-i_{Lm(k)}), k=1, 2, \dots, m \quad (9)$$

따라서 트랜스포머 1차측 전류는 식(8)과 같이 항상 동일하게 보장되나 각 트랜스포머의 자화 인덕턴스에 편차가 존재할 경우 2차측으로 전달되는 전류 간의 불평형은 불가피 하게 된다. 반면 제안된 회로의 경우 식(2)~(7)과 같은 원리에 의해 트랜스포머의 2차측 권선간 누설 인덕턴스나 극단적인 경우 턴수에 편차가 존재하더라도 캐패시터의 전하평형원리에 의해 각 LED간의 전류 평형은 항상 보장될 수 있는 장점을 갖는다.

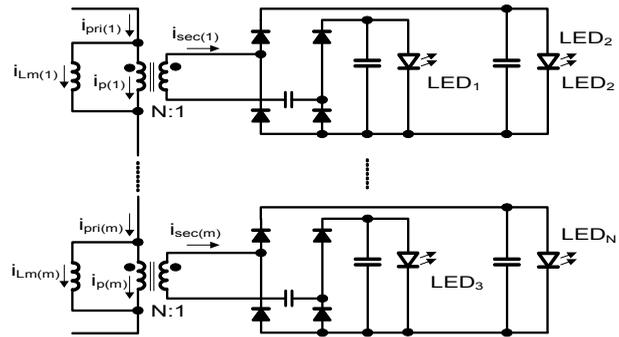


Fig 7. Current deviations among transformer secondary wires of TCB multi-channel LED driver.

TABLE II  
CIRCUIT PARAMETERS FOR PSIM SIMULATION

Items		Values
Input voltage $V_{in}$		390[V <sub>Dc</sub> ]
Resonant capacitor $C_R$		11[nF]
Trans.	# of Turns: $N_p:N_{s1}:N_{s2}:N_{s3}$	32:15:14:13:12
	Magnetizing inductance	650[uH]
	Leakage inductance	50[uH]
Output capacitor $C_o$		10[uF]
DC Blocking Cap $C_B$		1[uF]
LED Current		100[mA]
LED Voltage ( $V_{LED1}, V_{LED2}, V_{LED3}, V_{LED4}$ )		160, 170, 180, 190 [V]

## 4. 모의실험 및 실험 결과

### 4.1 모의실험결과

4채널 LED 구동을 위한 제안된 회로의 동작을 검증하기 위해 표 2와 같은 파라미터를 바탕으로 PSIM 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 모의실험을 진행하였으며 이때 제안회로의 전류평형 성능을 고찰하기 위해 4채널 LED의 전압을 160V, 170V, 180V, 200V로서 각각 다르게 설정하였고 변압기의 2차측 턴수 또한 각각 12, 13, 14, 15턴으로 다르게 설정하였다.

그림 8은 각 LED 전류 및 LED 구동 전압을 보이고 있다. 그림에서 제시된 바와 같이 LED 전압이 각각 10V씩 차이가 존재하고 이와 더불어 트랜스포머의 2차측 턴수도 각각 다르게 설정했음에도 불구하고 출력 LED 전류는 정확히 평형이 이루어짐을 알 수 있다.

### 4.2 실험 결과

제안된 LED 구동회로의 성능을 검증하기 위하여 46인치 LED TV를 위한 4채널 LED 구동회로의 시작품을 제작하여 고찰된 실험결과를 제시한다. 실험에 사용된 회로 파라미터는 트랜스포머를 제외한 나머지는 표 2와 동일하며 트랜스포머는 EE2525(PL-7) 코어에  $N_p:N_{s1}:N_{s2}:N_{s3}:N_{s4}=32:14:14:14:14$  턴수를 갖도록 제작하였다.

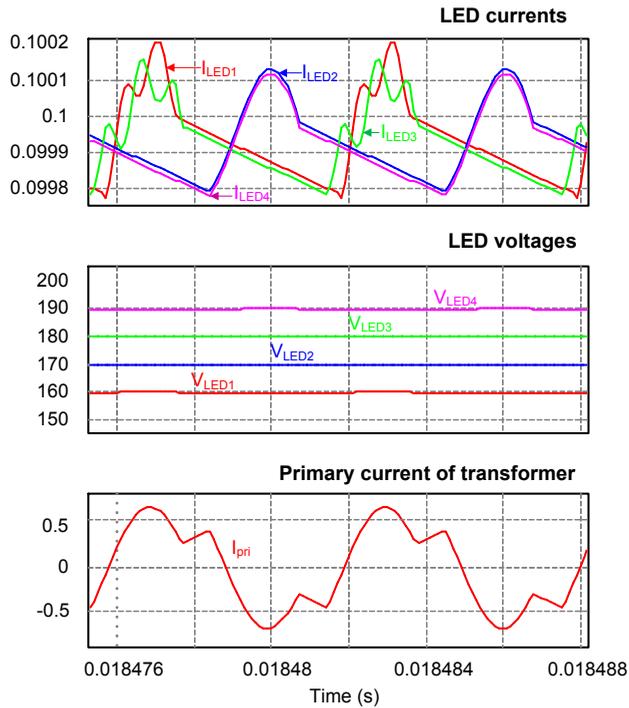


Fig. 8. Simulated key waveforms.

그림 9는 제안된 LED 구동회로의 주요 실험파형으로서 LED 전류와 트랜스포머 1차측 전류를 보이고 있으며 그림으로부터 LED 전류가 100mA로 정확히 제어되고 있음을 알 수 있다.

그림 10은 디밍(dimming)에 따른 LED 전류와 트랜스포머 1차측 전류를 보이고 있으며 디밍 턴은 과도구간에서 LED 전류의 오버슈트 없이 깨끗한 파형을 보이고 있고 LED 전류 또한 100mA로 잘 제어됨을 알 수 있다.

그림 11은 제안된 LED 구동회로의 전류평형 성능을 검증하기 위해 디밍(dimming) 비율에 따른 LED 채널별 전류의 크기와 전류의 선형성을 표 3과 그림 11에 각각 나타내고 있다. 표3에서 확인할 수 있듯이 디밍(dimming) 비율에 따라 각 LED 채널의 전류는 모두 동일한 수준으로 전류평형이 이루어짐을 알 수 있고 디밍(dimming) 비율이 증가함에 따라 LED 채널의 전류 또한 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

한편 약 170V 동작전압을 갖는 4채널 LED를 이용하여 입력전압 직류 390V에서 LED 전류 100mA 구동 시 디밍(dimming) 비율 100%에서의 효율을 측정한 결과 boost 컨버터를 이용한 기존 2-stage LED 구동회로의 경우 90.0%이고 기존 TCB 다채널 LED 구동회로의 경우 91.9%인 반면 제안된 LED 구동회로의 경우 92.1%로 기존 2-stage LED 구동회로 대비 약 2%이상 높은 결과를 보였으며 기존 TCB 다채널 LED 구동회로와는 거의 대동소이한 결과를 보였다. 이는 기존 2단 전력단에 비해 전력단이 하나 줄어든 것에 기인된 결과로 추정된다.

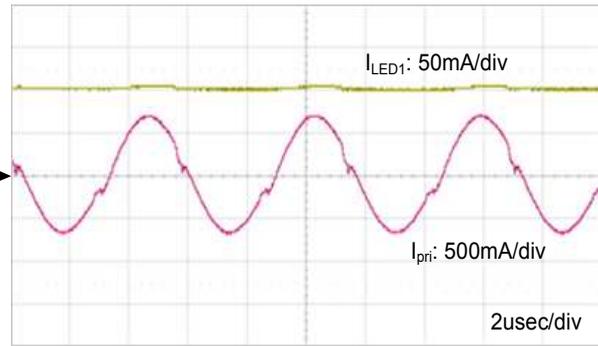
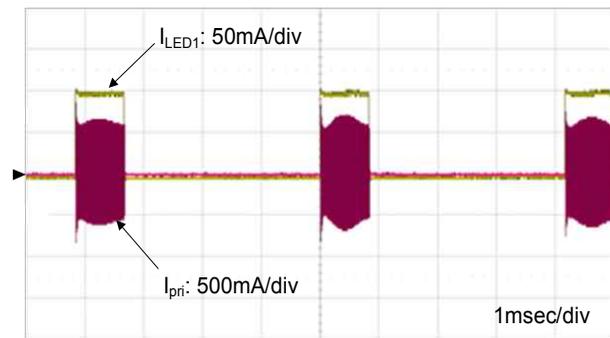
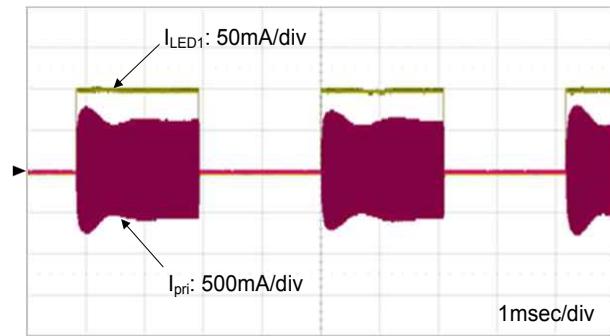


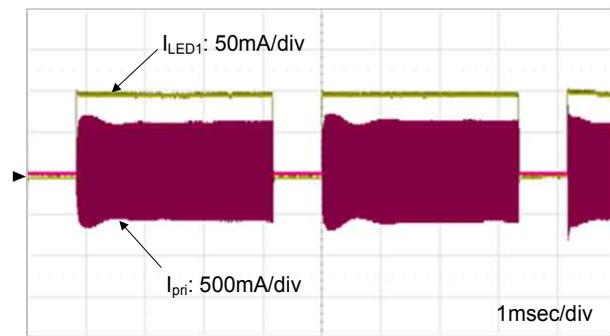
Fig. 9. Experimental Key waveforms of the proposed LED Driver.



(a)



(b)



(c)

Fig. 10. Experimental Key waveforms according to dimming ratios.

(a) 20% dimming ratio

(b) 50% dimming ratio

(c) 80% dimming ratio

TABLE III  
LED CURRENT ACCORDING TO DIMMING RATIOS

Dimming	$I_{LED1}$ [mA]	$I_{LED2}$ [mA]	$I_{LED3}$ [mA]	$I_{LED4}$ [mA]
100%	100.81	101.10	100.91	101.09
80%	80.86	80.89	80.47	80.86
50%	49.94	50.06	49.96	50.06
20%	19.46	19.50	19.40	19.56
5%	4.62	4.65	4.56	4.72
3%	2.70	2.73	2.68	2.78
1%	0.80	0.81	0.80	0.83

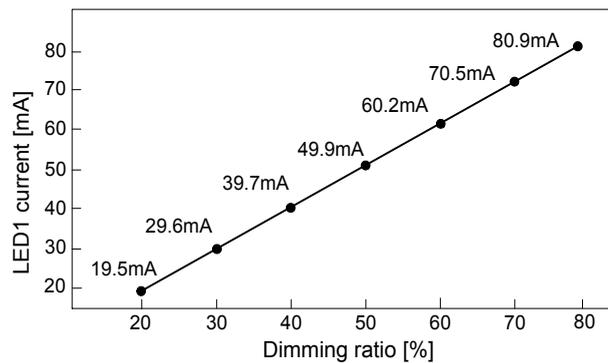


Fig. 11. Linearity of LED current according to dimming ratios.

## 6. 결 론

본 논문에서는 LED TV를 위한 단일전력단 다채널 LED 전류평형 구동회로를 제안하였다. 제안된 구동회로는 특성이 다른 다수의 LED 채널을 정전류 제어하기 위해 필수적이었던 기존 2-전력단 LED 구동회로와 달리 다수의 부스트 컨버터가 필요 없는 단일전력단 구조를 가지므로 회로가 간단하고 제작단가가 낮으며 전력 변환 효율이 우수한 장점을 가진다. 뿐만 아니라 상기한 기존 2-전력단 LED 구동회로의 단점을 극복하기 위해 기존에 제안된 바 있는 단일전력단 트랜스포머 캐패시터 전류평형 다채널 LED 구동회로에 비해 1개의 트랜스포머만을 사용하므로 회로가 간단할 뿐만 아니라 트랜스포머 편차에 의한 LED 전류편차 문제가 전혀 없으므로 우수한 전류평형 성능을 가짐을 검증하였다. 최종적으로 제안된 회로의 타당성 검증을 위해 46" LED TV의 구동회로에 제안 회로를 적용한 시제품 제작을 통해 다채널 LED의 우수한 전류평형 성능과 디밍 시 LED 전류의 뛰어난 선형성을 가짐을 실험을 통해 고찰하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 단일전력단 전류평형 다채널 LED 구동회로는 LED TV 또는 평판 LED 조명 등에 매우 적합하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0301-14-1005)

## References

- [1] S. H. Cho, S. K. Han, C. W. Roh, S. S. Hong, S. C. Sakong, G. H. Kwon, and H. B. Lee, "Design and application of CCFL drive inverter transformer for LCD backlight," *The Transactions of The Korean Institute of Power Electronics*, pp. 96-102, Apr. 2008.
- [2] I. H. Oh, "A single-stage power converter for a large screen LCD back-lighting," in *Proc. IEEE APEC*, pp. 1058-1063, 2006.
- [3] C. C. Chen, C. Y. Wu, and T. F. Wu, "LED back-light driving system for LCD panels," in *Proc. IEEE APEC*, pp. 381-385, 2006.
- [4] H. J. Chiu and S. J. Cheng, "LED backlight driving system for large-scale LCD panels," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 54, pp. 2751-2760.
- [5] S. Muthu, F. J. Schuumans and M. D. Pashley, "Red, green, and blue LEDs for white light illumination," *IEEE Trans. on Quantum Electronics*, Vol 8, pp. 333-338, 2002.
- [6] Heinz van der Broect, Georg Sauerlander and Matthias Went, "Power driver topologies and control schemes for LEDs," *IEEE APEC*, pp. 1319-1325, 2007.
- [7] S. M. Baddela and D. S. Zinger, "Parallel connected LEDs operated at high frequency to improve current sharing," *IEEE IAS*, Vol. 3, pp. 1677-1681, 2004.
- [8] C. C. Chen, C. Y. Wu, and T. F. Wu, "Fast transition current-type burst-mode dimming control for LED back-light driving system of LCD TV," *IEEE PESC*, pp. 1-7, 2006.
- [9] S. Choi, and T. Kim, "Symmetric current-balancing circuit for LED backlight with dimming," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 59, No. 4. pp. 1698-1707, Apr. 2012.
- [10] S. H. Lee, S. H. Cho, S. S. Hong, C. W. Roh, H. B. Lee, D. S. Oh, and S. K. Han, "A new current-balancing multi-channel LED driver for a large screen LCD backlight unit," *The Transactions of The Korean Institute of Power Electronics*, pp. 111-118, Apr. 2010.
- [11] X. Wu, J. Zjang, and Z. Qian, "A simple two-channel LED driver with automatic precise current sharing," *IEEE Trans, Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 10, pp. 4792-4787, Oct. 2011.
- [12] R. W. Erickson and D. Maksimovic, "Fundamentals of power electronics, 2nd edtion," KAP, pp. 15-22, 2001.



### **류동균(柳東均)**

1972년 11월 28일생. 2002년 성균관대 대학원 전기전자컴퓨터공학부 졸업(석사). 2010년~현재 동 대학원 전기전자컴퓨터공학부 박사과정. 2003년~현재 삼성전기 CDS(事) POWER 개발 1G 수석연구원.



### **원충연(元忠淵)**

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립 대학 전기공학과 방문 교수. 2007년~현재 삼성전기 에너지파워 연구 센터장. 2007년~2008년 당 학회 부회장. 2010년 당 학회 회장. 현재 성균관대 정보통신공학부 교수.



### **한상규(韓翔圭)**

1973년 12월 13일생. 1999년 2월 부산대 전기공학과 졸업. 2001년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(석사). 2005년 2월 동 대학원 전자전산학과 졸업(공박). 2005년 3월~2005년 8월 한국과학기술원 정보전자연구소 박사후연구원. 2005년 9월~현재 국민대 전자정보통신공학부 부교수. 당 학회 편집위원.