

## Y형 밸런싱 트랜스포머를 적용한 AC초퍼 LED 구동 시스템

(The AC Chopper LED Driving System Using The Y Type Balancing Transformer)

김진구\* · 유진완 · 김용하 · 박종연\*\*

(Jin-Gu Kim · Jin-Wan Yoo · Yong-Ha Kim · Chong-Yeon Park)

### Abstract

The AC-LED driving system which is connected directly to alternative current source is suitable for commercialization because of its simple structure and low cost. However, it requires additional circuits compensating for current differences between the parallel connected LED strings. In this paper, we proposed the circuit compensating for current error of the three LED strings using the Y type balancing transformer. The proposed Half-bridge AC Chopper LED driving system used the ferrite material's balancing transformer. at the same time, it is able to dimming control. The proposed system is applied to 80W AC-LED module consist of three parallel strings. Experiment results present that Power factor and THD measured with power analyzer are 0.958 and 26.473% respectively satisfied with IEC61000-3-2 harmonics standard.

Key Words : AC-LED Driving System, Y Type Balancing Transformer, AC Chopper Circuit

### 1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 최근 에너지 절감과 친환경적인 특징을 바탕으로 높은 광 효율과 장 수명, 우수한 전기적인 특성으로 인해 여러 분야의 조명기 구들의 대체 광원으로 각광받고 있다[1-2].

기존 LED 구동시스템은 입력전압을 정류기를 이용

하여 직류로 만들고 DC/DC 컨버터를 통하여 원하는 직류전압으로 변환한 후 LED 구동회로를 통하여 LED에 정 전류를 공급하는 구조인 DC-LED(Direct Current-LED) 구동시스템과 DC/DC 컨버터를 제거 하고 교류전압에 직접 LED를 연결하는 구조인 AC-LED(Alternative Current-LED) 구동시스템으로 나뉜다. AC-LED 구동시스템은 회로의 구성이 작고 단순하며 가격이 저렴하므로 시장성이 높다[3].

현재 AC-LED 구동시스템의 연구 방향은 교류 220V와 110V를 공용으로 사용하기 위한 방법 및 역률, THD(Total Harmonic Distortion)를 개선하기 위한 방법에 관한 연구가 이루어졌다[4].

그림 1은 최근 연구된 AC-LED 구동시스템의 대표적인 블록도를 나타낸다[4-6]. 그림 1의 교류전원은

\* Main author : Dept. of Electrical & Electronics Eng. Kangwon National Univ., Korea  
\*\* Corresponding author : Professor, Dept. of Electrical & Electronics Eng. Kangwon National Univ., Korea  
Tel : 033-250-6292, Fax : 033-259-5674  
E-mail : cypark@kangwon.ac.kr  
Received : 2014. 10. 28  
Accepted : 2015. 1. 21

정류되어 직류전압으로 LED에 인가되며, 이 때 각각의 LED에 연결된 스위치(SW<sub>1</sub>, SW<sub>2</sub>, SW<sub>3</sub>, SW<sub>4</sub>)에 의해 역률 및 THD가 개선된다. LED에 연결된 스위치(SW)는 입력 교류전압의 순시적인 크기를 검출하여 검출전압의 크기에 따라 순차적으로 도통된다. 입력전압이 가장 큰 순간에는 모든 스위치를 도통하고 입력전압의 크기가 가장 작은 순간에는 모든 스위치를 차단하여 발광하는 LED의 수를 순시적인 입력의 전압크기에 따라 조절한다. 이러한 구조는 병렬로 연결되는 LED 열을 늘리게 되면 스위치와 정 전류 회로의 수가 증가하여 회로의 구조가 복잡해지고 단가가 상승한다. 따라서 AC LED는 일반적으로 단일 열(String)로 구성한다. 단일 열로 구현된 LED 모듈은 하나의 LED가 파손될 경우 모든 LED의 동작이 불가하다는 문제가 있으며, 특히 입력전압의 크기에 따라 직렬로 연결되는 LED 수의 제한이 있기 때문에 보통 저 전력으로 상용화한다.

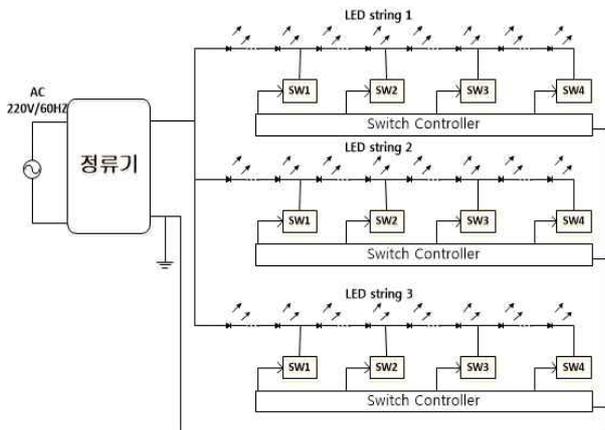


그림 1. 기존의 AC-LED 구동시스템의 블록도[5]  
Fig. 1. Block diagram of Commercialized AC-LED driving system[5]

이에 따라 간단한 구조로 LED를 병렬로 연결하여 수십W 이상 출력하기 위한 구동회로를 구현하기 위하여 Y형 밸런싱 트랜스포머가 제안되었다. 한 개의 Y형 밸런싱 트랜스포머는 병렬로 연결된 3개의 LED열의 전류오차를 보상할 수 있으므로 LED 구동회로를 간소화할 수 있다[7-8]. 하지만 트랜스포머를 50/60Hz의 낮은 주파수의 상용전원에 연결할 경우 기존 사용되는

재질인 페라이트를 사용할 수 없으며, 철심 자성체를 사용할 경우 회로의 부피가 상승하게 된다.

본 논문에서는 간단한 하프브리지 구조의 AC 초퍼 회로를 이용하여 낮은 주파수의 입력 교류전압을 높은 주파수의 교류전압으로 변환하여 Y형 밸런싱 트랜스포머의 자성체를 페라이트 재질로 대체할 수 있는 회로를 제안하였다.

## 2. 제안된 LED 구동시스템

제안된 LED 구동시스템은 Y형 밸런싱 트랜스포머에 사용되는 자성체를 페라이트로 적용하기 위하여 낮은 주파수를 갖는 입력 교류전압을 높은 주파수의 교류전압으로 변환할 수 있는 하프브리지 구조의 AC 초퍼를 적용하였다. Y형 밸런싱 트랜스포머는 병렬로 연결된 3개의 LED 열의 열간 전류오차를 보상하는 역할을 한다. 스위치(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>)를 제어하기 위하여 MCU (Micro-Controller Unit)의 일종인 ATmega128과 하프브리지 게이트 드라이버 IC(Integrated Circuit) IR2184를 이용하였으며, 회로 각 부에 전원을 공급하기 위한 보조전원회로를 구현하였다.

### 2.1 제안된 하프 브리지구조의 AC 초퍼회로

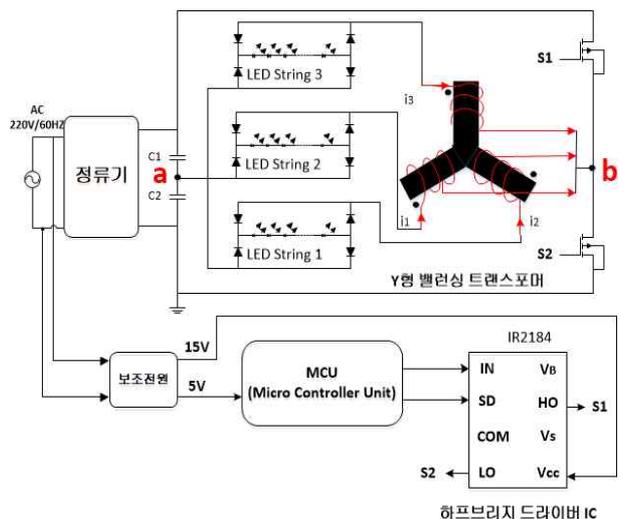


그림 2. 제안된 하프브리지구조의 AC 초퍼회로  
Fig. 2. The Proposed Half-Bridge AC Chopper

그림 2는 제안된 하프브리지 구조의 AC 초퍼회로의 블록도를 나타 낸 것이다. 그림 2는 입력 교류전압이 정류기를 통과하여 직류전압으로 변환된 후 커패시터  $C_1$ ,  $C_2$ 에 각각 입력전압의 절반이 되는 전압으로 충전이 된다. 하프브리지 드라이버를 이용하여 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 를 고정주파수의 0.5의 시비율(duty-ratio)로 상보적으로 스위칭 동작을 하여 그림 2의 a, b 지점 간에는 양의 전압, 0, 음의 전압이 번갈아가며 걸리게 된다. 크기는  $C_1$ ,  $C_2$ 에 각각 걸리는 입력전압의 절반의 크기를 갖는다. 50kHz 이상의 높은 주파수로 스위치  $S_1$ ,  $S_2$ 를 구동하여 Y형 밸런싱 트랜스포머에는 높은 주파수 성분을 갖기 때문에 자성체의 부피를 저감시킬 수 있다. 또한 하프브리지 드라이버 IC IR2184의 SD(Shut Down)단자에 MCU를 이용하여 PWM(Pulse Width Modulation)파형을 인가하여 시비율을 조절함으로써 LED의 조도제어가 가능하다[9-11].

그림 3은 하프브리지 구조의 AC 초퍼회로의 동작원리를 나타낸 것으로 LED와 Y형 밸런싱 트랜스포머를 등가저항( $R_{out}$ )으로 놓고 회로를 간략화한 것이다. 입력 교류전압이 0보다 큰 반주기 구간에서 그림 3 (a)는 스위치  $S_1$ 이 도통되고  $S_2$ 는 차단된 것으로  $V_{out}$ 에는 음의 전압이 걸리고 이 때의 전압의 크기는 입력 교류전압이 정류기를 통과하여 변환된 직류전압의 1/2이다. 그림 3 (b)는 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 가 모두 차단된 Dead-time 구간이다. 이 때  $V_{out}$ 의 전압이 0이 된다. 그림 3 (c)는 일정 시간의 Dead-time이 지난 후 스위치  $S_2$ 가 도통된 것을 나타내며  $V_{out}$ 은 양의 전압이 걸리고 이 때 전압의 크기는 그림 3 (a)의  $S_1$ 만 도통되었을 때와 같다. 입력 교류전압이 0보다 작은 반주기 구간일 때에도 위와 같은 동일한 원리로 반복된다. 제안된 AC 초퍼회로의 저항 양단의 전압  $V_{out}$ 은 -, 0, +의 전압이 반복적으로 나타나게 되며, 결과적으로 입력의 낮은 주파수를 가진 전압이 AC 초퍼회로의 스위치  $S_1$ ,  $S_2$ 를 구동하는 높은 주파수를 갖는 교류전압으로 변환됨으로써 병렬로 연결된 LED 열의 전류평형을 위한 Y형 밸런싱 트랜스포머의 자성체를 페라이트로 대체할 수 있으므로 회로의 크기와 부피를 저감할 수 있다.

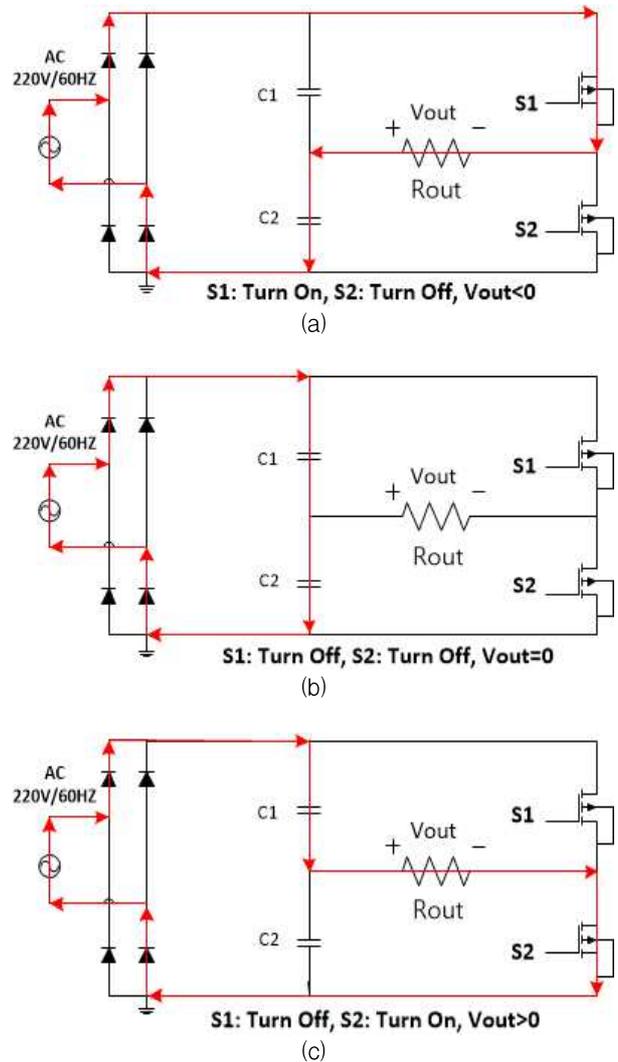


그림 3. 제안된 하프브리지 AC초퍼의 동작원리  
 (a) 스위치  $S_1$ :도통,  $S_2$ :차단,  $V_{out}<0$   
 (b) 스위치  $S_1$ :차단,  $S_2$ :차단,  $V_{out}=0$   
 (c) 스위치  $S_1$ :차단,  $S_2$ :도통,  $V_{out}>0$

Fig. 3. Operation principle of the proposed Half-Bridge AC Chopper  
 (a)  $S_1$ :Turn On,  $S_2$ :Turn Off,  $V_{out}<0$   
 (b)  $S_1$ :Turn Off,  $S_2$ :Turn Off,  $V_{out}=0$   
 (c)  $S_1$ :Turn Off,  $S_2$ :Turn On,  $V_{out}>0$

## 2.2 Y형 밸런싱 트랜스포머

그림 4는 Y형 밸런싱 트랜스포머의 구조를 나타낸 다. Y자 형태의 코어의 끝이 각기 120도의 각도만큼 차이가 나기 때문에 결합도가 0.5가 된다[8].  $i$ 는 권

선에 흐르는 전류를,  $\phi$ 는 전류  $i$ 에 의해 생긴 자속을 의미한다. Y형 밸런싱 트랜스포머의 1차 측, 2차 측, 3차 측의 전류의 차이가 발생하는 경우 자속의 차이가 발생한다. 각각 해당 차 측에 발생된 자속에 비례하여 결합에 따른 상호 인덕턴스 값이 결정된다. 이것을 임피던스의 측면에서 보면 전류가 큰 차 측은 상호 인덕턴스가 양의 값으로 발생하여 임피던스가 상승하므로 전류가 감소한다. 반면에 전류가 작은 측은 상호 인덕턴스가 음의 값으로 발생하여 전류가 증가한다. Y형 밸런싱 트랜스포머의 전류오차보상 원리는 다음과 같다.

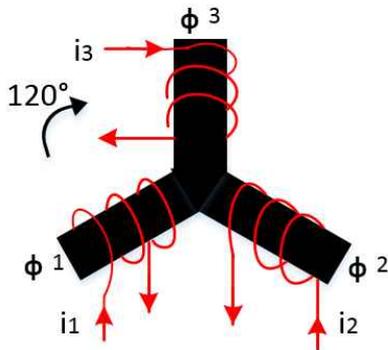


그림 4. Y형 밸런싱 트랜스포머의 구조  
Fig. 4. Structure of Y balancing transformer

(i)  $i_1 > i_2 > i_3$ 이라고 할 때

전류  $i_1, i_2, i_3$ 에 의해 발생한 자속은  $\phi_1 > \phi_2 > \phi_3$ 이다.

트랜스포머의 턴수 비가  $N_1 = N_2 = N_3 = N$ 으로 같다고 한다면,

$$\phi_{12} = \frac{\phi_2}{2} - \frac{\phi_1}{2} \quad (2\text{차에서 } 1\text{차 측을 바라본 자속})$$

$$\phi_{13} = \frac{\phi_3}{2} - \frac{\phi_1}{2} \quad (3\text{차에서 } 1\text{차 측을 바라본 자속})$$

$$\phi_{32} = \frac{\phi_2}{2} - \frac{\phi_3}{2} \quad (2\text{차에서 } 3\text{차 측을 바라본 자속})$$

$$\phi_{21} = -\phi_{12}, \phi_{31} = -\phi_{13}, \phi_{23} = -\phi_{32} \text{ 이므로}$$

1차 측에서의 상호인덕턴스  $M_1 = M_{21} + M_{31}$ 이다.

$$\therefore M_1 = \frac{N(\frac{\phi_1}{2} - \frac{\phi_2}{2}) + N(\frac{\phi_1}{2} - \frac{\phi_3}{2})}{i_1}$$

2차 측에서의 상호인덕턴스  $M_2 = M_{12} + M_{32}$ 이다.

$$\therefore M_2 = \frac{N(\frac{\phi_2}{2} - \frac{\phi_1}{2}) + N(\frac{\phi_2}{2} - \frac{\phi_3}{2})}{i_2}$$

3차 측에서의 상호인덕턴스  $M_3 = M_{13} + M_{23}$ 이다.

$$\therefore M_3 = \frac{N(\frac{\phi_3}{2} - \frac{\phi_1}{2}) + N(\frac{\phi_3}{2} - \frac{\phi_2}{2})}{i_3}$$

$i_1 > i_2 > i_3$ 는 크게 두 가지 경우로 나눌 수 있다.

(1)  $i_1 \gg i_2 > i_3$ 인 경우

상호인덕턴스  $M_1 > 0$ 이므로 전류  $i_1$ 은 감소하고 상호인덕턴스  $M_2 < 0$ 이므로 전류  $i_2$ 은 증가하고 상호인덕턴스  $M_3 < 0$ 이므로 전류  $i_3$ 은 증가한다.

(2)  $i_1 > i_2 \gg i_3$ 인 경우

상호인덕턴스  $M_1 > 0$ 이므로 전류  $i_1$ 은 감소하고 상호인덕턴스  $M_2 > 0$ 이므로 전류  $i_2$ 은 감소하고 상호인덕턴스  $M_3 < 0$ 이므로 전류  $i_3$ 은 증가한다.

(1), (2)의 과정이 반복되면서  $i_1, i_2, i_3$ 의 편차가 줄어들어 결과적으로  $i_1 = i_2 = i_3$ 가 된다.

위의 (i)의 경우 외에 (ii)  $i_1 > i_3 > i_2$ , (iii)  $i_2 > i_1 > i_3$ , (iv)  $i_2 > i_3 > i_1$ , (v)  $i_3 > i_1 > i_2$ , (vi)  $i_3 > i_2 > i_1$ 과 같이  $i_1, i_2, i_3$ 의 크기가 서로 다른 경우에도 (i)과 같은 해석 방법을 적용하면  $i_1 = i_2 = i_3$ 가 성립되므로 하나의 Y형 밸런싱 트랜스포머를 이용하여 3개의 LED열의 전류편차를 보상할 수 있음을 알 수 있다[8].

### 3. 실험 및 결과 검토

본 실험에서는 3 병렬로 구성된 80W LED 모듈을

이용하여 Y형 밸런싱 트랜스포머의 적용 유무에 따른 LED의 열간 전류오차의 보상 정도와 하프브리지 게이트드라이버 IC의 SD핀에 MCU를 통하여 PWM 제어신호를 인가하여 LED의 조도제어 가능여부를 확인하였다. 또한 LED 구동시스템의 역률과 THD를 측정하여 IEC 61000-3-2 Class C와 비교하였다. 실험 장비는 LeCroy社의 104MXi 1GHz 오실로스코프와 YOKOGAWA社의 WT500 전력분석장치를 사용하였다.

### 3.1 LED의 열간 전류오차 보상

그림 5는 그림 2의 a-b 단 사이에 연결되는 Y형 밸런싱 트랜스포머에 의한 LED의 열간 전류오차 보상여부를 확인하기 위하여 설정된 80W LED모듈 부하를 나타낸다. 이때 사용한 LED의 사양은 표 1과 같다.

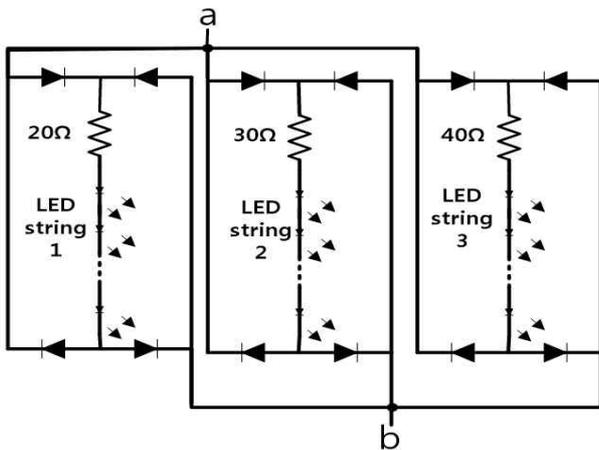


그림 5. 전류오차 보상을 확인하기 위한 LED 부하  
Fig. 5. LED load for confirming current error compensation

표 1. LED의 사양  
Table 1. Specification of LEDs

Forward Voltage	2.7V
직렬/병렬	24/3
정격전압	110V <sub>rms</sub>
정격전력	80W

80W LED 부하는 2.7V의 순방향전압 특성을 갖는 LED를 24직렬 3병렬로 구성하여 제작하였다. Y형 밸런싱 트랜스포머에 의한 열간 전류오차 보상을 확인하기 위한 실험은 각각의 LED 열(string)에 20Ω, 30Ω, 40Ω의 저항을 직렬 연결하여 LED에 흐르는 전류의 편차를 발생시킨 상태에서 진행하였다. 그림 6은 80W LED 부하에 연결되는 Y형 밸런싱 트랜스포머 적용 여부에 따른 열간 전류편차의 변화를 보여준다. 보상 전, 후에 LED 열에 흐르는 전류 값을 표 2에 나타내었다.

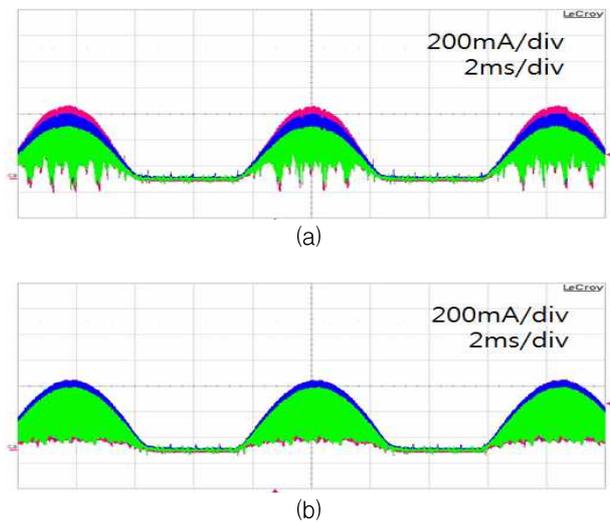


그림 6. 밸런싱 트랜스포머 적용유무에 따른 LED 전류파형  
(a) 밸런싱 트랜스포머 적용 전 LED전류파형  
(b) 밸런싱 트랜스포머 적용 후 LED전류파형

Fig. 6. Waveforms of LED current with or without balancing transformer (a) Waveform of LED current without balancing transformer (b) Waveform of LED current with balancing transformer

표 2. 병렬로 연결된 LED의 전류  
Table 2. Current of 3 LED strings

구분	LED 전류	
	보상 전	보상 후
LED 1	278.5mA	243.3mA
LED 2	248.8mA	247.8mA
LED 3	201.3mA	229.4mA

그림 5와 같이 LED string 1과 string 2, string 3에 저항 값 20Ω, 30Ω, 40Ω을 연결하였을 때 LED에 흐르는 전류는 표 2의 보상 전 전류와 같다. 전류의 최대편차는 77.2mA(기준전류 250mA 대비 19.48%의 전류오차)가 발생하였다. 여기에 Y형 밸런싱 트랜스포머를 연결하여 전류편차를 보상한 결과 전류는 표 2의 보상 후 전류와 같고, 이때의 전류의 최대편차는 18.4mA(기준전류 250mA 대비 8.24%의 전류편차)로 보상되었다. 위 실험은 전류편차의 보상을 가시적으로 확인하기 위하여 저항으로 LED열 간의 큰 전류편차를 발생시킨 것으로 실제 LED의 서로 다른 특성과 환경에 의한 오차는 이보다 훨씬 작으므로 Y형 밸런싱 트랜스포머에 의한 전류오차 보상은 더욱 효과적이다.

### 3.2 LED 조도제어

그림 7은 하프브리지 드라이버 IC인 IR2184의 SD단자를 이용한 LED의 조도제어를 보여주는 파형이다. IR2184의 SD단자에 0V를 인가하면 드라이버 IC의 동작을 일시 정지할 수 있다. MCU를 이용하여 SD단자의 들어가는 PWM신호의 시비율을 조절하여 0 또는 5V의 인가비율을 조절함으로써 LED의 조도제어가 가능하다.

그림 7은 MCU를 이용하여 SD단자에 각각 3kHz의 100%, 75%, 50%, 25%의 시비율을 갖는 PWM신호를 인가하였을 때 LED에 흐르는 전류의 크기가 조절되는 것을 보여준다. 표 3은 그림 7에서 PWM신호의 시비율에 따른 LED열의 전류 값을 나타낸다.

### 3.3 역률과 입력전류의 THD

표 4는 하프브리지 구조의 AC초파회로에 80W LED 모듈을 연결하여 전력분석장치를 이용하여 역률과 입력전류의 THD를 측정한 것이다. IEC61000-3-2의 고조파 관련 국제 규격 중 입력전류가 16A미만인 조명장치의 경우 Class C의 규격을 만족하여야 한다 [12]. 측정된 역률이 0.9580이므로 3고조파의 경우는

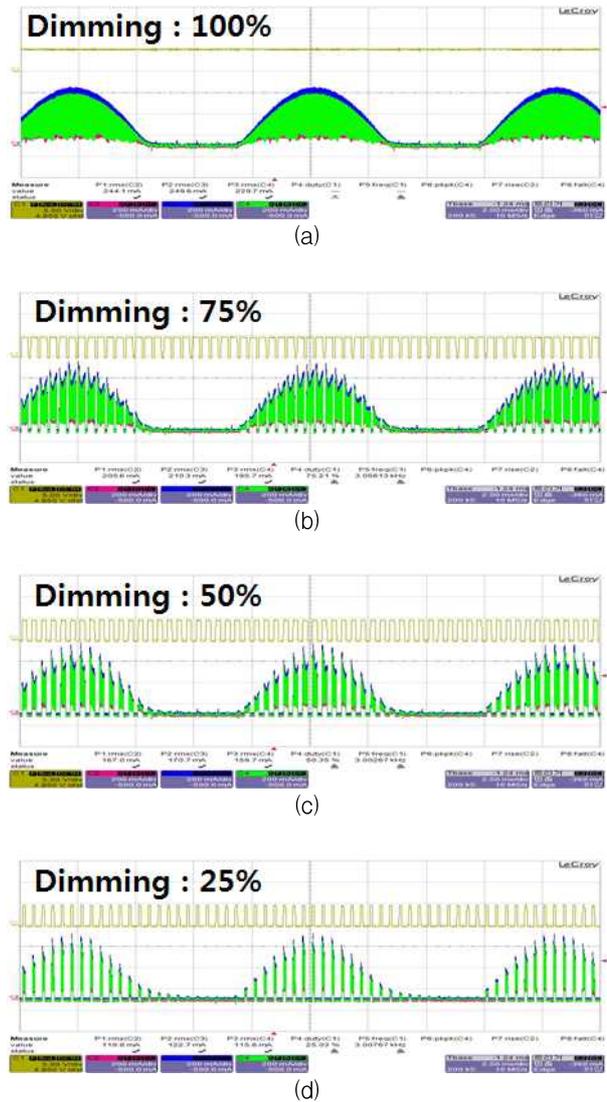


그림 7. LED 조도제어 파형 (a) 100% LED 조도제어 파형 (b) 75% LED 조도제어 파형 (c) 50% LED 조도제어 파형 (d) 25% LED 조도제어 파형

Fig. 7. Waveforms of LED dimming control (a) Waveform of 100% LED dimming control (b) Waveform of 75% LED dimming control (c) Waveform of 50% LED dimming control (d) Waveform of 25% LED dimming control

기본주파수 성분의 28.74%(30×0.9580)을 넘지 않아야 하고 40 고조파까지의 성분이 규격에서 정해진 값

을 넘으면 안 된다. 표 4의 측정된 값은 정해진 규격을 만족하는 것을 볼 수 있다.

표 3. LED의 조도제어  
Table 3. Dimming control of LEDs

구분	LED 조도제어 레벨			
	100%	75%	50%	25%
LED string	100%	75%	50%	25%
1	244.1mA	205.6mA	167mA	119.8mA
2	249.6mA	210.3mA	170.7mA	122.7mA
3	229.7mA	195.7mA	159.7mA	115.6mA

표 4. 전력분석장치로 측정된 역률과 입력전류의 THD  
Table 4. Power factor and input current THD measured by power analyzer

역률	0.9580
입력전류의 THD	26.473%
Harmonics (n)	(% of fundamental)
3	24.769
5	9.036
7	1.720
9	1.037
11	1.099
13	0.545
15 ≤ n ≤ 39	3% 이내 만족

#### 4. 결 론

기존의 AC-LED구동시스템은 고 전력의 AC-LED 구동시스템을 구현하기 위하여 LED 열의 수를 늘리게 되면 많은 수의 스위치와 정 전류회로가 추가적으로 요구되어 회로가 복잡해지고 단가가 올라가므로 저 전력으로만 상용화가 되었다. AC-LED 구동시스템에 Y형 밸런싱 트랜스포머를 적용할 경우 하나의 Y형 밸런싱 트랜스포머가 3개의 LED열을 제어할 수 있으므로 회로가 간소화될 수 있으나 입력 상용전원의 낮은 주파수에 의하여 자성체의 재질을 철심으로 사용해야 하므로 부피가 커지는 단점이 있어 이를 적용할 수 없었다.

본 논문에서는 제안된 하프브리지 구조의 AC초퍼 회로를 적용하여 Y형 밸런싱 트랜스포머의 자성체를

페라이트 코어로 사용하여 크기를 저감할 수 있는 동시에 기존 AC-LED 구동시스템에는 없던 LED의 조도제어가 가능한 회로를 구현하였다. 3 병렬로 구성된 80W LED 모듈을 이용하여 LED 열간 전류편차의 보상여부를 확인하였고, 하프브리지 드라이버 IC를 이용한 LED 조도제어방법을 제안하고 실험을 통하여 입증하였다. 또한, 역률과 THD를 측정하여 IEC61000-3-2의 조명장치용 고조파 규격인 Class C에 만족하는 지 여부를 확인하였다.

Y형 밸런싱 트랜스포머 적용 전, 후 LED의 열간 전류편차 실험을 진행한 결과 열간 전류편차가 최대 19.48%에서 8.24%로 감소하였다. 또한 하프브리지 드라이버 IC인 IR2184의 SD단자에 인가하는 PWM신호의 시비율을 가변함으로써 LED 전류의 제어가 가능함을 입증하였다. 마지막으로 제안된 LED 구동시스템의 역률과 THD를 측정한 결과 IEC 61000-3-2 Class C 규격에 만족함을 확인하였다.

제안된 Y형 밸런싱 트랜스포머를 이용한 하프브리지 구조의 AC 초퍼 LED 구동시스템은 기존 AC-LED 구동시스템이 고 전력을 구현하기 위해 LED를 병렬로 연결할 경우 많은 스위치와 정 전류회로가 요구되어 회로가 복잡해지고 단가가 상승하는 것을 개선하여 Y형 밸런싱 트랜스포머를 이용하여 단순한 구조와 저렴한 가격으로 다중 열의 LED를 정 전류로 제어하는 것이 가능하여 수십 W 이상의 고 전력으로 LED를 구동하는 데 유리하다. 또한 기존의 회로에는 없던 LED의 조도제어가 가능하여 높은 시장성이 기대된다.

#### References

- [1] In-Ung Jeon, Jin-Wan Yoo, Dong-Seok Shin, Chong-Yeon Park, "Simulation of Bridgeless PFC to operate the transformers for LED current balance", Spring Conference of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, pp 155-156, 2013.
- [2] Jin-Sik Youn, Kyoung-Onn Kim, Jin-Hong Kim, Gi-Hoon Kim, Young-Cheol Lim, "Design of LED Luminaire for Stage Lighting and Estimation of Lighting Situation", Fall Conference of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, pp 201-203, 2009.
- [3] K. Y. Lee, "Luminout Device", Korea Patent, 10-2005-

- 0010840 (2005).
- [4] S. Y. Kim, "LED Driving Circuit for LED Lighting", Korea Patent, 10-2010-0037185 (2010).
  - [5] H. M. Jung, H. K. Kang, "Driving Device for Light Emitting Diode", Korea Patent, 10-2012-0146675 (2012).
  - [6] D. H. Hong, M. S. Park, "Light Emitting Diode Lighting Apparatus", Korea Patent, 10-2012-0107424 (2012).
  - [7] K. H. Jung, J. W. Yoo and C. Y. Park, "A Design of Current Balancing Circuit for Parallel Connected LED strings using Balancing Transformers", IEEE 8th International Conference on Power Electronics, pp. 528-535, Mar. 2011.
  - [8] J. Y. Park, J. W. Yoo, "Y type balancing transformer for compensating current difference", Korea Patent, 10-2014-0048117 (2014).
  - [9] S. Ashoka Krishna Bhat and J. Vithayathil, "A Simple Multiple Pulsewidth Modulated AC Chopper", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. IE-29, NO. 3, pp. 185-189, Aug. 1982.
  - [10] B. W. WILLIAMS "Asymmetrically Modulated AC Chopper", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. IE-29, NO. 3, pp. 181-185, Aug. 1982.
  - [11] B. H. Kwon, B. D. Min, J. H. Kim, "Novel topologies of AC choppers", IEE proc.-Electr. Power Appl., Vol. 143, No. 4, July. 1996.
  - [12] IEC61000-3-2 International Standard Edition 2.1 (2001-10), Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2 : Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16A$  per phase).

◇ 저자소개 ◇



**김진구**(金眞九)

1989년 6월 15일생. 2014년 강원대 전기 전자공학과 졸업. 2014년~현재 강원대 BIT의료융합학 협동과정 전기전자공학과 석사과정.



**유진완**(劉鎭完)

1983년 5월 11일생. 2008년 강원대 전기 전자공학과 졸업. 2011년 강원대 전기 전자공학과 졸업(석사). 2014년 강원대 전기전자공학과 졸업(박사).



**김용하**(金龍夏)

1966년 12월 12일생. 2013년~현재 인하대 융합기술경영학부 학부과정.



**박중연**(朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 전자공학과 졸업(석사). 1984년 경북대 전자공학과 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대 전기전자공학과 교수.