

능동 블리더 회로를 적용한 조광기 호환용 LED 구동회로에 관한 연구

염봉호¹, 홍성수[†], 김택우¹

A Study on LED Driver Compatible with Triac-dimmer Employing Active Bleeder

Bong-Ho Yeom¹, Sung-Soo Hong[†], and Taek-Woo Kim¹

Abstract - In this paper, a LED driver compatible with TRIAC-dimmer applying active bleeder is proposed. If TRIAC-dimmer is connected with LED driver, flicker phenomenon occurs by TRIAC malfunction. In order to prevent this problem, a current over holding current must flow into TRIAC. Therefore, additional circuit compatible with TRIAC-dimmer is required to provide enough current. Passive bleeder has power loss in whole operation period. The proposed circuit apply a valley-fill circuit for power-factor-correction and a novel active bleeder detecting malfunction point of TRIAC. Therefore, it prevent malfunction of TRIAC-dimmer and have advantage of higher efficiency than passive bleeder. To verify the validity of proposed circuit, 13W-lighting LED driver prototype has been proposed.

Keywords: valley-fill, active bleeder, TRIAC-dimmer, TRIAC-dimmable LED driver

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 긴 수명, 친환경적 특성, 우수한 효율 등의 장점으로 백열등, 할로겐 조명 등 기존 조명광원을 대체하고 있는 추세이다. 기존 조명 광원들 중, 조도 조절용 조광기는 백열등 및 할로겐 조명과 같은 저항성 부하의 밝기 제어를 목적으로 한 기기이므로 일반적인 LED 구동회로를 연결 할 경우 호환성 문제가 발생한다.^[1,2] 이러한 문제로 LED 조명기기로 대체하기 위해서는 기존에 설치된 조광기 또한 교체가 요구되며, 이는 비용 측면에서 상당한 부담이 되고 있다.^[3] 따라서, 본 논문에서는 밸리-필 방식의 정류기를 적용하여, 기존에 설치되어 있는 조광기와 호환 가능한 새로운 LED 구동회로를 제안하였다.

한편, 조광기가 정상동작하기 위해서는 트라이악 소자

의 래칭전류(Latching Current) 및 유지전류(Holding Current)를 만족하여야 한다. 래칭전류는 트라이악의 초기 동작 시 필요한 최소한의 전류이며 유지전류는 트라이악의 정상 동작을 위해 요구되는 최소전류이다.^[4] 이와 같은 2가지 조건을 만족하지 못한다면, 조광기의 오동작이 발생하게 된다. 기존에는 이러한 조광기의 오동작을 방지하기 위해 부스트 컨버터나 수동 블리더를 사용하여 조광기의 래칭전류 및 유지전류를 만족하였다. 부스트 컨버터를 사용할 경우에는 역률개선의 장점이 있으나 회로 구조가 복잡하며 고주파 스위칭으로 인한 EMI증가 및 2단 구성으로 인한 효율저감의 단점이 있다. 수동 블리더를 사용 할 경우에는 전 동작구간 동안 전력소모가 발생하는 단점이 있다. 또한 조광기의 래칭전류 및 유지전류 만족을 위해 [6]과 같은 능동 블리더가 제안되었다. 그러나 이 방식의 경우에는 전 구간 능동 블리더의 센싱 저항으로 인한 전력소모가 발생하는 단점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위해 역률개선 회로인 밸리-필과 능동 블리더를 적용하였다. 밸리-필은 부스트 컨버터보다 구조가 간단하며 단일 구성으로 2단 구성에 비해 효율이 우수한 장점을 가진다. 그러나, 밸리-필 회로는 정류단의 전압이 입력최대전압의 1/2 이하일 경우 입력전류가 흐르지 않

Paper number: TKPE-2014-19-4-1

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

[†] Corresponding author: hongss@kookmin.ac.kr, Division of Electrical Eng., Kookmin University

Tel: +82-2-910-4701 Fax: +82-2-910-4449

¹ Div. of Electrical Eng., Kookmin University

Manuscript received Nov. 25, 2013; accepted Mar. 24, 2014

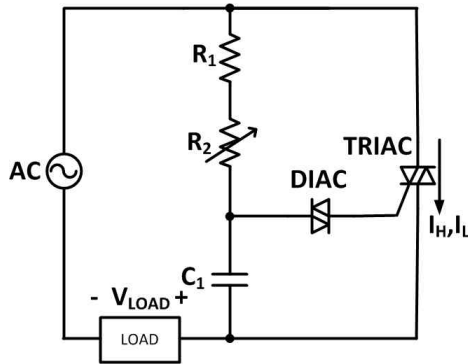


Fig. 1 Internal structure of a TRIAC-dimmer

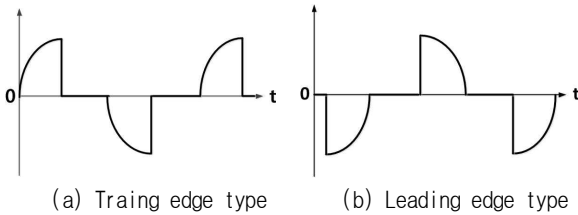


Fig. 2 Phase control method of a TRIAC-dimmer

으므로 조광기의 오동작이 발생한다. 따라서, 입력전류가 흐르지 않는 시점 즉, 입력최대전압의 1/2이 되는 시점을 검출하여 능동 블리더를 동작 시켜야 한다. 따라서, 본 논문에서는 밸리-필 회로와 피크 검출기를 적용한 능동 블리더를 적용하여 어떠한 경우에도 입력최대전압의 1/2 이 되는 시점을 검출하여 능동 블리더를 동작시킴으로서 조광기의 래칭전류 및 유지전류를 만족 하였다.

본 논문의 제안회로는 실제 시작품 제작을 통해 호환성 테스트를 진행하였으며 국내의 대표적인 600W급 조광기 20여종 모두 호환 가능함을 확인하였다.

2. 조광기(Triac-dimmer)

그림 1은 선단 방식 조광기의 내부구조이다. 내부 구조는 다이악, 트라이악 등으로 구성되어 있다.^[4,5]

조광기의 동작원리는 초기에 R_1 과 R_2 를 통하여 초기에 C_1 에 전압이 충전된다. C_1 의 전압이 다이악의 브레이크오버 전압에 도달하면 다이악은 턴-온 되며 트라이악 게이트에 신호가 인가된다. 트라이악 게이트에 신호가 인가되면 트라이악은 턴-온 되며 입력이 부하로 전달되는 구조이다. 밝기 조절 원리는 가변저항(R_2)가 증가하면 RC시정수는 증가하며 트라이악의 턴-온 시점이 지연된다. 따라서 부하로 전달되는 평균전력이 감소함으로써 밝기가 감소하는 원리이다.

그림2는 트라이악 조광기의 위상제어 방식이며 그림2의 (a)는 후단 방식(Traing edge type)의 조광기 출력파형이며 (b)는 선단 방식(Leading edge type)의 조광기 출력파형을 나타낸다.

그림 3은 트라이악의 특성곡선이다. 다음과 같이 게이

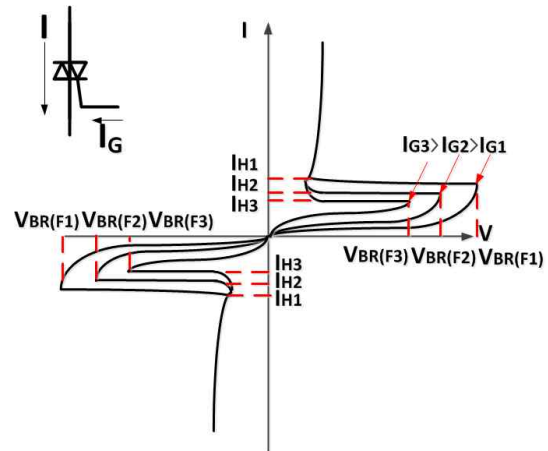


Fig. 3 Characteristic curve of a TRIAC

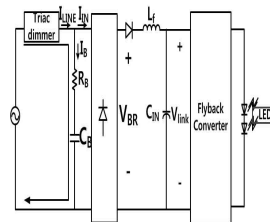


Fig. 4 LED driver compatible with TRIAC-dimmer employing passive bleeder

트 전류가 클수록 브레이크오버전압은 감소하는 특징을 지닌다. 또한 래칭전류 및 유지전류를 만족하지 못할 경우 트라이악은 턴-오프 상태가 된다.

조광기가 정상동작하기 위해서는 트라이악 소자의 래칭전류 및 유지전류를 만족하여야 한다. 래칭전류는 트라이악의 초기동작 시 필요한 최소한의 전류이며 유지전류는 트라이악의 정상 동작을 위해 요구되는 최소전류이다.^[4] 위와 같은 2가지 조건을 만족하지 못한다면, 조광기의 오동작이 발생한다.

3. 기존 조광기 호환용 LED 구동회로

3.1 수동 블리더를 적용한 LED 구동회로

그림 4는 조광기의 오동작을 방지하기 위해 수동 블리더를 적용한 LED 구동회로이다. 수동 블리더는 저항(R_B)과 캐패시터(C_B) 만으로 구성되어 쉽게 구현이 가능한 장점이 있다.^[6]

정류 다이오드의 전압(V_{BR})이 플라이백 컨버터의 입력 전압(V_{link})보다 작아지면 정류 다이오드는 ‘턴-오프’되며 입력 전류(I_{IN})가 흐르지 않는다. 그러나, 수동 블리더에는 전류(I_B)가 계속 흐르고 있기 때문에 조광기의 래칭전류 및 유지전류 만족이 가능해진다. 그러나 전 구간에서 수동 블리더에 흐르는 전류(I_B)에 의해 블리더 저항(R_B)에서 전력소모가 발생하여 효율이 저감되는 단점이 있다.

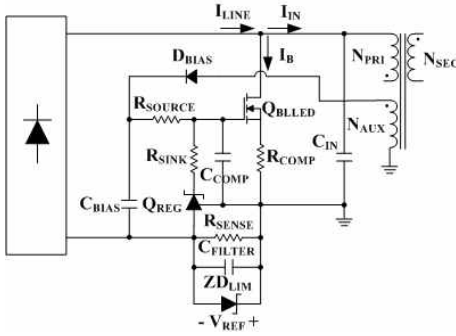


Fig. 5 Conventional LED driver compatible with TRIAC-dimmer employing active bleeder

3.2 능동 블리더를 적용한 기존 LED 구동회로

그림 5는 조광기의 오동작을 방지하기 위한 능동 블리더 회로를 나타낸다. Q_{REG}의 전원은 플라이백 컨버터의 보조권선으로 공급되며 동작원리는 다음과 같다. 먼저 식(1)의 수식을 통해 유지전류를 설정한다. 그리고 입력전류가 설정한 유지전류보다 작아질 경우 스위치를 턴-온 하여 입력전류가 항상 유지전류이상인 흐르도록 회로가 구성되어 있다. 그러나 전 구간 R_{SENSE}로 인한 전력소모가 발생하여 효율이 저감되는 단점이 있다.^[6]

$$I_{Hold} = \frac{V_{REF}}{R_{SENSE}} \quad (1)$$

4. 제안된 Valley-fill을 이용한 LED 구동회로

트라이악의 오동작을 방지하기 위한 기존 회로인 수동 블리더 또는 능동 블리더를 적용한 경우, 유지전류 및 래칭전류는 만족할 수 있지만, 전 동작 구간에서 저항으로 인한 전력소모가 발생한다. 한편, 밸리-필 회로를 적용할 경우에는 입력전압이 입력최대전압의 1/2 이상일 때 입력전류는 모두 부하로 흐른다. 입력전압은 정현파이기 때문에 입력최대전압의 1/2이하가 되는 구간은 한 주기의 1/3구간이다. 따라서, 밸리-필 회로를 적용한 경우에는 오동작 구간을 최대 1/3까지 감소시킬 수 있다. 또한, 조광기의 오동작 구간동안 능동 블리더를 동작시킨다면, 전 구간 전력소모가 발생하는 수동 블리더보다 효율 개선의 장점을 지닌다. 따라서, 본 논문의 제안회로는 밸리-필 회로를 적용함으로써 트라이악의 오동작 구간이 최대 1/3로 감소하였으며, 오동작 하는 시점을 정확히 검출하여 능동 블리더를 동작시켜 전력소모를 최소화 하였다.

4.1 밸리-필(Valley-fill) 모드분석

그림 6은 트라이악의 오동작 구간 감소를 위해 제안한 밸리-필을 이용한 LED 구동회로이다.

먼저 능동 블리더가 동작하지 않을 때 밸리-필 회로의 모드별 주요 동작 과정을 그림 8에 나타내었으며 그림 7과 같이 4가지 모드로 동작한다.^[7]

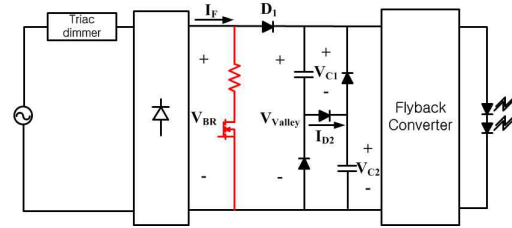


Fig. 6 Proposed LED driver

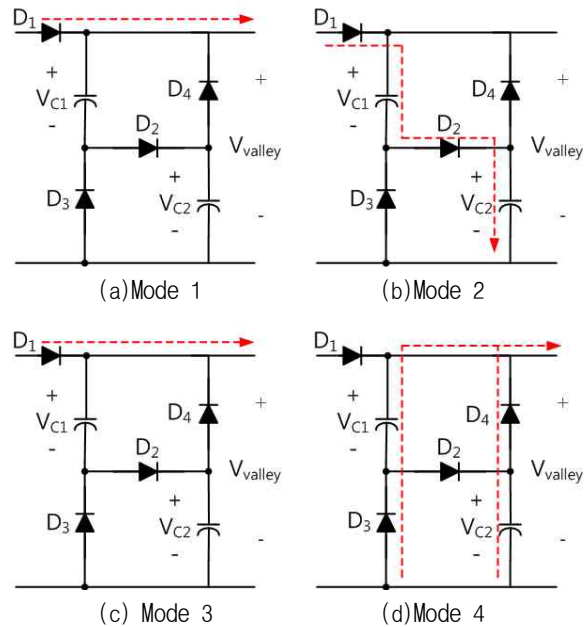


Fig. 7 Operation modes of valley-fill

Mode 1(t₀-t₁) : V_{BR}이 V_{C1} 또는 V_{C2}보다 크기 때문에 D₁은 턴-온 상태이며 V_{Valley}가 V_{C1}과 V_{C2}의 합보다 작기 때문에 D₂는 턴-오프상태이다. 또한, V_{C1}또는 V_{C2}가 V_{Valley} 최대전압의 1/2보다 작기 때문에 D₃, D₄는 턴-오프 상태이다. Mode 1 구간에서 입력전류는 모두 부하로 흐르며 V_{Valley}이 V_{C1}과 V_{C2}의 합 보다 커지는 시점에 Mode 1은 종료한다.

Mode 2(t₁-t₂) : V_{Valley}이 V_{C1}과 V_{C2}의 합 보다 커지는 시점에 Mode 2는 시작한다. t₁시점에서 D₂는 턴-온 하며 C₁과 C₂를 충전한다. V_{C1}과 V_{C2}의 합이 V_{Valley}의 최대전압과 같아지면 Mode 2는 종료한다.

Mode 3(t₂-t₃) : V_{Valley}의 최대전압이 V_{C1}과 V_{C2}의 합 보다 작아지면 Mode 3은 시작한다. Mode 3은 Mode 1과 동일한 동작모드를 가지며 입력전류는 모두 부하로 흐른다. V_{BR}이 V_{Valley}의 최대전압의 1/2보다 작아지면 Mode 3은 종료한다.

Mode 4(t₃-t₄) : V_{BR}이 V_{Valley}의 최대전압의 1/2이 되는 시점에 Mode 4는 시작한다. V_{BR}이 V_{Valley}의 최대전압의 1/2보다 작으므로 D₁은 턴-오프 상태이며 이 모드는 C₃와 C₄가 방전하는 구간이다. V_{BR}이 V_{C1} 또는 V_{C2} 보다 커지는 시점에서 Mode 4는 종료되며 Mode 1 동작이 반복된다.

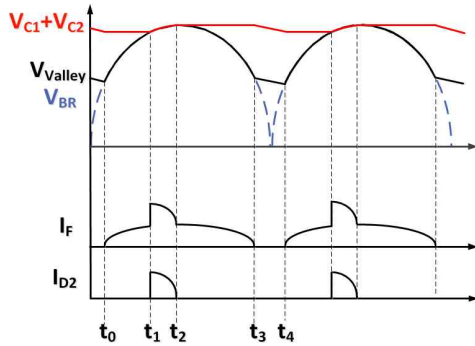


Fig. 8 Voltage and current waveforms of valley-fill circuit

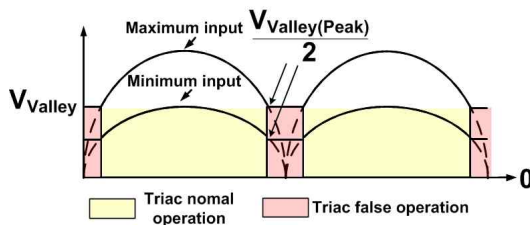


Fig. 9 Voltage of valley-fill by input voltage variation

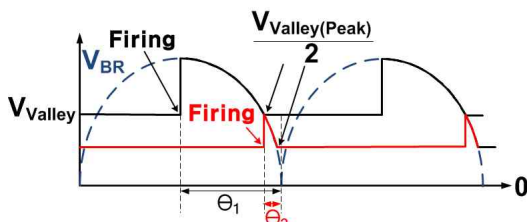


Fig. 10 Voltage of valley-fill by conduction angle variation

그림 8은 능동 블리더가 동작하지 않을 경우 밸리-필 전압 및 전류 파형이다. 그림 8을 보면 V_{BR} 이 V_{Valley} 의 최대전압의 1/2 이상인 경우 입력전류(I_F)는 부하로 흐르다가 V_{C1} 과 V_{C2} 의 합이 V_{Valley} 와 같아지면 I_{D2} 와 부하로 나누어져 흐른다. 그러나, V_{BR} 이 V_{Valley} 최대전압의 1/2 이하인 경우 D_1 은 차단 상태가 되어 입력전류가 흐르지 못하므로 트라이악 오동작이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 트라이악 오동작 구간에 능동 블리더를 동작시켜 유지전류 이상의 전류가 흐르도록 하였다.

4.2 트라이악 오동작 구간 검출의 문제점

그림 9는 입력전압에 따른 밸리-필의 전압파형이며 그림 10은 선단 방식의 조광기와 밸리-필을 연결하였을 때 도통각 변화에 따른 밸리-필의 전압파형이다. 전 동작구간 동안 조광기의 정상동작을 보장하기 위해서는 조광기의 오동작 시점을 정확히 검출하여 능동 블리더를 동작시켜야 한다. 그러나, 그림 9와 같이 입력전압이 변하거나 그림 10과 같이 조광기의 도통각(θ)이 변함에 따라 $V_{Valley(peak)}/2$ 도 변하므로 어떠한 경우에도 $V_{Valley(peak)}/2$ 지점을 검출하여 능동 블리더를 동작시키는 회로가 필요하다.

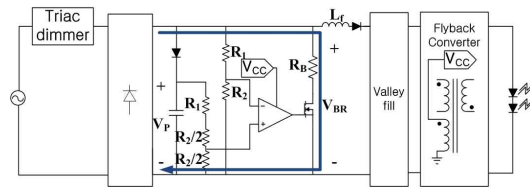


Fig. 11 Active bleeder circuit employing peak detector

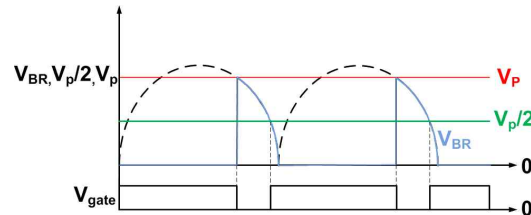


Fig. 12 Key waveforms of active bleeder circuit employing peak detector

4.3 피크 검출기를 적용한 능동 블리더

밸리-필 회로를 적용한 LED 구동회로와 조광기를 연결한 경우 입력전압 또는 도통각이 변함에 따라 V_{Valley} 최대전압의 1/2이 되는 $V_{Valley(peak)}/2$ 도 변한다. 전력소모를 최소화하기 위해서는 트라이악이 오동작 하는 시점 즉, $V_{Valley(peak)}/2$ 시점에서 능동 블리더를 동작시켜야 한다. 따라서, 어떠한 경우에도 $V_{Valley(peak)}/2$ 지점을 정확히 찾는 회로가 필요하다. 그림 7은 피크 검출기를 적용한 능동 블리더 회로이며 $V_{Valley(peak)}/2$ 은 정류기 양단전압 (V_{BR}) 최대전압의 1/2과 같으므로 그림 11과 같이 어떠한 경우에도 V_{BR} 최대전압의 1/2이 되는 지점을 찾을 수 있는 회로를 구성하였다. 또한, L_f 를 추가함으로써 입력전류리플 감소 및 역률 개선을 하였다.^[8] 비교기의 전원은 플라이백 컨버터의 보조권선을 통하여 공급되었으며 동작원리는 다음과 같다. V_{BR} 이 피크 검출기를 통해 얻은 전압(V_P)의 1/2 이하인 경우 비교기를 통해 스위치가 ‘턴-온’ 된다. 따라서, 블리더 저항(R_B)을 통해 트라이악의 래칭전류 및 유지전류를 만족함으로써 조광기가 오동작하는 것을 방지할 수 있다. 그림 12는 피크 검출기를 적용한 능동 블리더 회로의 주요 파형이다. 그림 12를 보면 V_{BR} 이 V_P 의 1/2 보다 큰 경우 스위치는 ‘턴-오프’ 된다. 따라서, 입력전류가 모두 부하로 흐르는 구간에는 능동 블리더가 동작하지 않게 되므로 전 구간 블리더 저항으로 인해 전력소모가 발생하는 수동 블리더 보다 전력 소모가 적다. 또한, 입력전압이 변하거나 트라이악의 초기동작 시점이 변함에 따라 V_{BR} 최대전압의 1/2지점을 정확히 검출할 수 있으며 전 구간동안 트라이악의 오동작을 방지할 수 있다.

4.4 수동 블리더와 능동 블리더의 손실 분석

수동 블리더와 기존 능동블리더의 경우 전 구간 저항으로 인한 전력소모가 발생하지만 제안된 능동 블리더는 수동 블리더와 기존 능동블리더에 비해 최대 1/3구간

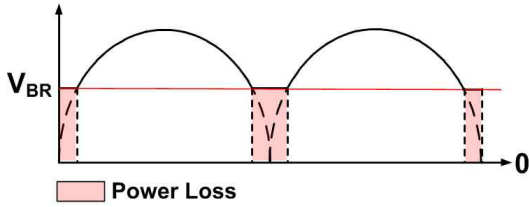


Fig. 13 Power consumption interval when the active bleeder is operated

동안만 전력소모가 발생하기 때문에 효율측면에서 유리하다. 따라서 이번 절에서는 수동 블리더, 기존의 능동 블리더, 제안된 능동 블리더의 손실에 대하여 분석하였다. 입력 전압은 120V_{rms}이며 블리더 저항의 크기가 5kΩ 일 때 수동 블리더의 전력소모는 식(2)와 같다. 기존 능동 블리더의 전력소모는 전 구간 R_{SENSE}에서 발생하는 전력소모와 능동 블리더의 스위치가 동작할 때 R_{COMP}에서 발생하는 전력소모의 합이다. V_{REF}는 2.5V이며 I_{Hold}는 100mA로 선정하였을 때 기존의 능동 블리더의 전력소모는 식(3)과 같다. 그림 13은 제안된 능동 블리더를 사용하였을 때 전력소모구간이며 제안된 능동 블리더의 전력소모는 식(4)와 같다. 위와 같은 분석을 통하여 수동 블리더와 기존의 능동 블리더가 제안된 능동 블리더에 비해 전력소모가 큰 것을 알 수 있다.

$$P_{P_loss} = \frac{V_{R_RMS}^2}{R_B} = 2.88 W \quad (2)$$

$$P_{A(conven)_loss} = V_{REF} \times I_{Hold} + P_B = 250mW + P_B \quad (3)$$

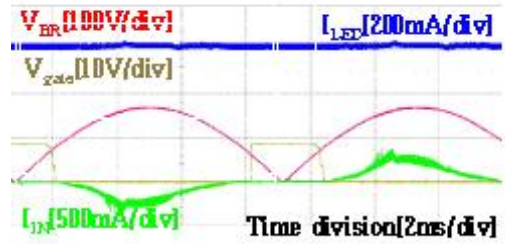
$$P_B = I_B^2 \times R_{COMP}$$

$$V_{R_MS} = 2 \times \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_0^{\frac{1}{6} T_s} V_{Peak}^2 \times \sin^2(2\pi ft) dt} = 28.816$$

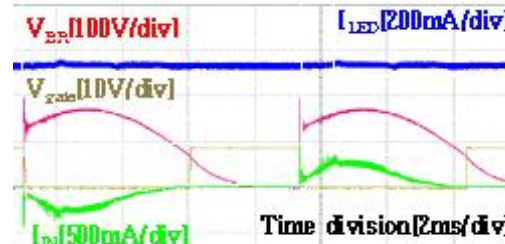
$$P_{A_loss} = \frac{V_{R_MS}^2}{R_B} = 166mW \quad (4)$$

5. 실험 결과

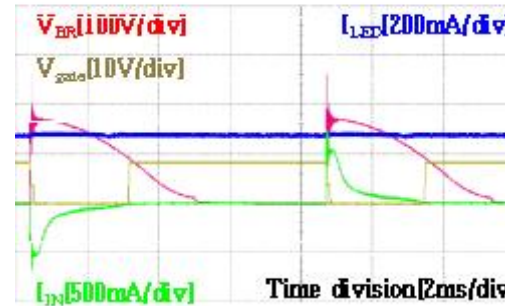
그림 14는 제안된 13W급 조명용 LED 구동회로와 조광기 연결 시 실험과형이다. 디밍(Dimming)을 100%, 75%, 50%, 3%까지 조절함에 따라 정류기 양단전압(V_{BR}), 입력전류(I_{IN}), 출력전류(I_{LED}), 능동 블리더 스위치의 게이트전압(V_{gate})를 나타내었다. 트라이악의 도통각이 감소함에 따라 출력전류(I_{LED})가 줄어드는 것을 확인하였으며 최소전류는 16mA로 최대출력전류의 약 3%까지 밝기조절이 되는 것을 확인하였다. 또한, 입력최대전압의 1/2이 되는 시점을 검출하여 능동 블리더를 동작시킴으로서 조광기의 래칭전류 및 유지전류를 만족 하였으며 전 밝기조절 구간 동안 플리커 현상 없이 트라이악이 정상동작 하는 것을 확인하였다.



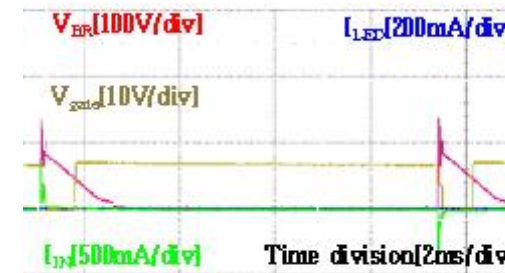
(a) 100% Dimming



(b) 75% Dimming



(c) 50% Dimming



(d) 3% Dimming

Fig. 14 Experimental waveforms of proposed LED driver

6. 결 론

본 논문에서는 조광기와 호환 가능한 LED 구동회로를 제안하였다. 제안회로는 역률만족 및 트라이악의 오동작 구간 감소를 위해 밸리-필 회로를 적용하였으며, 피크 검출기를 적용한 능동 블리더를 통해 입력전류가 유지전류 이상 흐르지 않는 시점을 정확히 검출하여 트라이악의 오동작을 방지하였다. 제안된 회로의 타당성을 검증하기 위하여 13W급 조명용 LED 구동회로의 시작

품 제작을 통해 그 우수성을 확인하였다. 또한, 제안회로와 조광기의 호환성 테스트 결과 600W급 조광기 20종 모두 호환 가능함을 확인하였다.

본 연구는 삼성전기(주)의 연구비 지원 및 교육부와 한국연구재단의 BK21플러스 SSEV 특화 전문 인력 양성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(31Z20130012993)

References

- [1] Jung-Nam Seo, "A Study on the Reduction of Conducted Noise Emission from an Interior LED Lighting Module with TRIAC Dimming Control," *The Transactions of the Korean Institute Electrical Engineers*, Vol. 60, No. 1, pp. 109-113, Jan. 2011.
- [2] Jae-Hyun Han, "A Study on the Single-stage PSR(primary Side Regulation) PWM Controller for LED Drive in TRIAC Phase Controlled Dimmer," *Power Electronics Annual Conference*, pp. 564-565, July 2012.
- [3] Taek-Woo Kim, "A Study on Flicker Free LED Driver for Dimming MR16 Electronic Transformer," *Power Electronics Annual Conference*, pp. 161-162, July 2013.
- [4] Jae Hyun Han, Young Cheol Lim, Young Gook Jung, "Single-Stage Quasi Resonant Type PSR(primary Side Regulation) PWM Converter for the LED Drive in TRIAC Phase Controlled Dimmer," *Journal of The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 27, No. 2, pp. 84-94, Feb. 2013.
- [5] Liang Yan, Baorong Chen, Jerry Zheng, "A new TRIAC dimmable LED driver control method achieves high-PF and quality-of-light," *Proceeding of the APEC 2012*, pp. 969-974, Feb. 2012.
- [6] Fairchild Semiconductor Corporation, "Design Guide for TRIAC Dimmable LED Driver Using FL7730," AN-9745, Dec. 2013.
- [7] Yong-Sik Youn, Gyun Chae, Gyu-Hyeong Cho, "A Unity Power Factor Electronic Ballast for Fluorescent Lamp having Improved Valley Fill and Valley Boost Converter," *The Transactions of the Korean Institute Electrical Engineers*, pp. 2002-2006, July 1997.
- [8] Nam Yerl Choi, Chi Hwan Lee, "Current THD Improvement of Valley-Fill Rectifier," *Journal of The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers*, Vol. 22, No. 1, pp. 87-94, Jan. 2008.



염봉호(廉俸鎬)

1986년 11월 16일생. 2012년 국민대 전자공학부 졸업. 2014년 국민대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2014년 2월~현재 실리콘마이터스 사원.



홍성수(洪成洙)

1961년 1월 25일생. 1984년 서울대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 1984년~1999년 현대전자 정보통신 연구소 책임연구원. 1999년~현재 국민대 전자정보통신공학부 교수.



김택우(金澤佑)

1987년 1월 24일생. 2012년 국민대 전자공학부 졸업. 2014년 국민대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2014년 2월~현재 삼성전기 사원.