


# 머신비전을 위한 LED 조명시스템의 스트로브 제어 구동에 관한 연구

김태화, 이 천 

인하대학교 전기공학과

## A Study on Strobe Control over LED Lighting System for Machine Vision

Tae-Hwa Kim and Cheon Lee

Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

(Received January 22, 2021; Revised February 5, 2021; Accepted February 8, 2021)

**Abstract:** The machine vision technology has been widely used in the industrialized nations like the United States, Japan, and EU in the various industries from the late 1980s. Machine vision inspection system mainly consists of a camera, optics, illumination and an image acquisition system. Optimization of the illumination light source is very important. This paper shows a comparison between Pulse Width Modulation (PWM) control and strobe control in driving LED lighting system for machine vision. PWM control method has problems such as a temperature rising of LED and a flickering in image measurement for inspection. In contrast, the proposed strobe control method can suppress the temperature of LED light source below 40°C. Also, it can remove the flickering problem through a synchronization between a frame grabber and a camera shutter. Finally, the strobe control method was shown to extract clearer images with a high precision compared to PWM control method.

**Keywords:** Strobe control, PWM, Machine vision, LED, Optimal driving

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

머신비전(machine vision) 기술은 산업구조가 고도화된 미국, 일본, EU 등에서 1980년대 후반부터 널리 보급되어 활용되고 있으며 전 산업 분야로 점점 확대되고 있다 [1]. 국내에서도 반도체 산업의 활성화와 함께 90년대 들어 본격적으로 사용되었고, 이후 PCB 관련 산업, 전기 부품 산업, 제약 산업, 화학 산업, 자동차 산업 등에 적용되며 그 사용처가 확대되고 있다.

PCB 검사, LCD 패널 검사, 반도체 검사 등 많은 분야에서 생산성을 향상시키기 위해 빠른 속도와 높은 해상도는 물론 더욱 정밀하고 정확한 검사가 요구된다. 또한 머신비전을 위한 LED 조명 기술에서도 고광량, 빠른 응답 특성, 세밀하고 정확한 광량제어가 요구된다.

### 1.2 연구의 목적 및 방법

LED의 물리적 특성에 따르면 LED에서 발생하는 광속은 LED에 흐르는 전류량에 비례한다. 따라서 LED의 밝기를 조절하기 위해서는 LED에 흐르는 전류량을 제어해야 한다. 머신비전을 위해서는 조명 광학을 최적화하는 것이 가장 중요한 고려 사항이며 선명한 이미지의 추출이 성공적인 이미지 처리의 결과로 이어진다 [2-4]. 머신비전 시스템에서 선명한 이미지를 추출하기 위해 낮은 전력소비, 풍부한 색상표현 및 빠른 응답시간 등의 물리적 요인들이 요구된다.

✉ Cheon Lee; [chnlee@inha.ac.kr](mailto:chnlee@inha.ac.kr)

Copyright ©2021 KIEEME. All rights reserved.  
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이러한 요인들을 충족하기 위한 제어방식들이 몇 가지가 있다. 전압제어, 전류제어, PWM, 스트로브(strobe) 방식 등 4가지로 구분하고 있으며 각 사업장에서는 응용분야에 적합한 방식을 채택하여 사용하고 있다. 대부분의 LED는 전압 변화에 따라 전류가 크게 변하기 때문에 머신비전과 같이 정밀제어가 필요한 산업에서는 전압제어 방식을 사용하지 않는다. 전류제어 방식은 LED의 공급전류를 가변시켜 광량을 변화시키는 방식으로 전류 변화 대비 광량이 선형적으로 변화하는 특성을 갖고 있지만 전력 대비 누적 발열이 발생하는 단점이 있다. PWM 방식은 회로 구성이 비교적 간단하고 제어가 쉽지만 구동 주파수에 따른 플리커 현상이 발생하여 고속 정밀 제어에는 적합하지 않다. 마지막으로 스트로브 방식은 짧은 시간에 강한 광출력을 낼 수 있지만 광량 조절에 어려움이 있다.

현재 머신비전 시스템은 PWM 제어방식을 주로 사용하고 있다. 그러나 PWM 제어방식은 긴 예열시간, 높은 에너지 소비, 광원으로부터 발생하는 열에 의한 휨손, 광원의 눈부심, 색상 표현성능의 저하 그리고 광원간의 과도한 대비 현상 등의 문제점들이 있다. 이런 문제점들은 피사체를 촬영하는 데 불안 요소들이다. 불안 요소는 제품의 신뢰성에 직접적 영향을 준다. 이런 문제점들을 해결하기 위해 LED 스트로브 구동 방식을 최적화하여 머신비전 시스템에 적용하고자 한다. 일반적으로 스트로브 신호의 펄스폭은  $50 \mu\text{s}$  이하이므로 광원에 노출되는 시간이 매우 짧아서 밝기를 조절하기 어렵다 [5].

본 논문에서는 머신비전 시스템을 위한 구동 방식으로, PWM 방식과 LED 스트로브 구동 방식을 비교 및 설명하고, 실험 결과를 통해 유효성과 타당성을 검증하고자 한다. PWM 제어 방식과 스트로브 제어 방식의 비교를 위해 간단한 구동 회로를 설계하고 열화상 카메라를 이용하여 LED의 발열 상태를 측정한다. 동시에 피사체의 이미지 촬영에서 나타나는 플리커 현상을 관찰하여 머신비전 시스템에 적용 가능한 스트로브 제어 방법을 설명하였다 [6].

## 2. 실험 방법

### 2.1 LED 조명 구동 방법

#### 2.1.1 펄스폭변조(PWM) 제어 방법

그림 1에 PWM 제어를 이용한 LED 조명장치 구동 회로를 도시하였으며 입력전압( $V_{in}$ )은 12 V이다. PWM

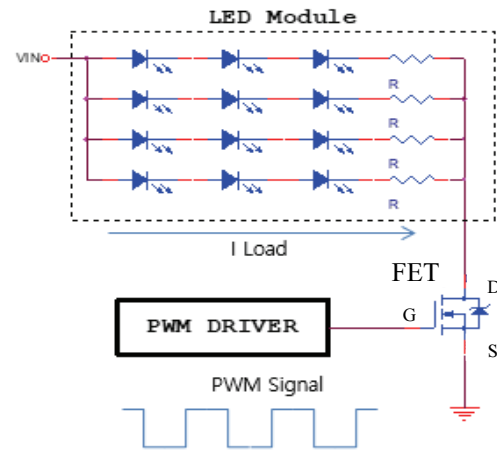


Fig. 1. LED driving circuit using PWM control.

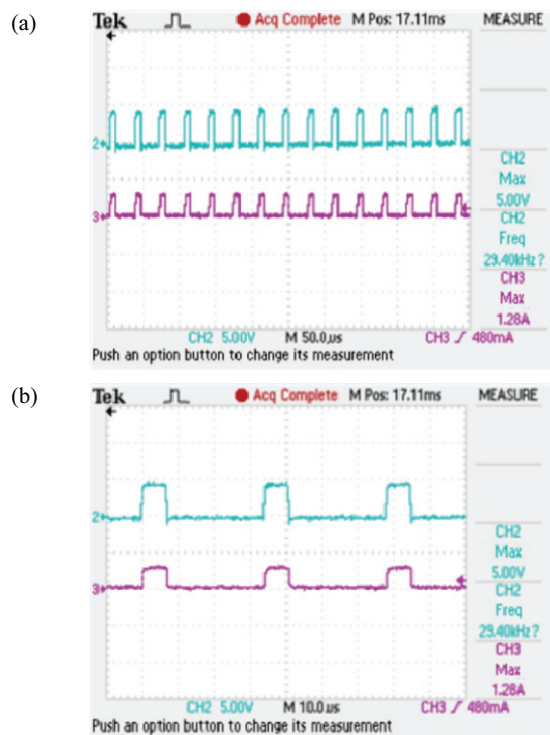


Fig. 2. (a) Gate voltage and load current waveforms of driving circuit using PWM control @Time Scale= $50 \mu\text{s}$  and (b) gate voltage and load current waveforms of driving circuit using PWM control @Time Scale= $10 \mu\text{s}$

드라이버 회로를 사용하여 FET의 게이트에 신호를 입력하여 설정된 듀티비로 FET를 스위칭하여 LED 모듈에 흐르는 전류를 제어할 수 있다.

그림 2(a)는 PWM 제어를 이용한 구동회로의 FET의

게이트 입력 전압 파형(CH2)과 LED 모듈에 흐르는 전류 파형(CH3)을 측정된 결과이고 그림 2(b)는 그림 2(a)를 time scale 50  $\mu$ s에서 10  $\mu$ s로 확대한 그림이다. 그림 2에서 LED에 흐르는 전류의 최대값은 1.28 A이다.

PWM 제어를 이용한 구동방식은 LED에 흐르는 전류를 듀티비에 따라 편리하게 제어하여 빛의 밝기를 조절할 수 있고 회로 구성이 단순한 장점이 있다. 하지만 고주파 동작을 기반으로 하고 있어 발열로 인한 온도 상승의 문제점을 갖고 있다. 또한 넓은 폭의 듀티비를 조절하기 위해서는 복잡한 컨버터 회로가 필요하다. 따라서 짧은 시간에 제어 가능하고 항상 일정한 빛의 밝기를 유지하면서도 과도한 온도 상승이 없는 안정된 구동회로가 필요하다 [7].

### 2.1.2 스트로브 제어 방법

스트로브 구동방식은 전체 시스템을 적절하게 제어하기 위해 트리거 신호의 펄스폭을 조절하고 프레임 그래버와 카메라 시스템이 정확하게 동기화되어야 한다. 그러나 스트로브 방식에서 LED 빛의 밝기를 조절하는 것은 매우 어렵다. 따라서 스트로브 제어에서는 빛의 밝기, 트리거 신호의 펄스폭, 지연시간, 노출시간 그리고 유지시간 등과 같은 여러 제어 변수 값의 적절한 선택이 요구된다.

표 1은 스트로브 제어 방법에서 요구되는 여러 제어 변수를 정리한 것이다. 그림 3은 제어 변수의 이해를 돕기 위한 스트로브 제어 방식의 신호 및 전류 파형 개념도이다.

앞에서 설명한 PWM 제어를 이용한 구동방식이 갖는 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서 LED 스트로브 구동방식을 제안하였다. 스트로브 방식은 순간적으로 높은 출력전류로 LED를 구동하는 방식으로 발열

로 인한 과열을 방지하기 위하여 설정된 매우 짧은 시간 동안만 FET를 on 시켜 전류가 흐르게 한다.

그림 4에 LED 스트로브 구동회로를 도시하였으며 입력전압( $V_{in}$ )은 24 V이다. PWM 방식에 비하여 큰 출력 전류를 얻기 위하여 높은 전압을 사용하였다.

그림 5(a)는 스트로브 구동회로의 파형을 측정된 결과이고 그림 5(b)는 그림 5(a)를 time scale 50  $\mu$ s에서 10  $\mu$ s로 확대한 그림이다. CH1은 트리거 신호 전압, CH2는 FET 게이트에 인가되는 입력 전압 파형 그리고 CH3은 LED 모듈에 흐르는 전류 파형을 측정된 결과이다. 그림 5에서 LED에 흐르는 전류의 최대값은 4.16 A로 PWM 제어 방식과 비교하여 상대적으로 큰 출력 전류를 보여주고 있다.

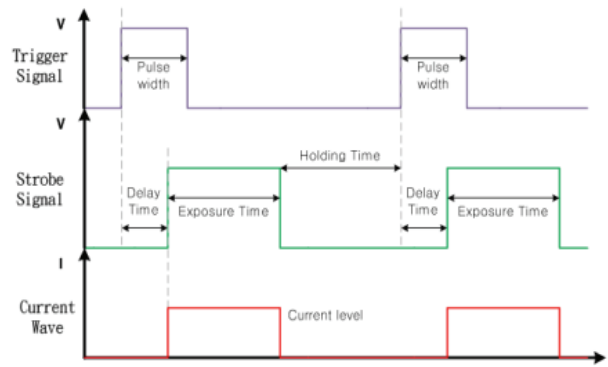


Fig. 3. Trigger signal, strobe signal and current waveform in strobe control driving method.

Table 1. Control parameters of strobe controller.

Parameters	Control functions	Values
Brightness	Determined by the LED current	Depends on application
Pulse width of trigger signal	LED turn-on signalling	<10 $\mu$ sec
Delay time	Time since trigger, to LED turn-on	<10 $\mu$ sec
Exposure time	LED turn-on time	<10 $\mu$ sec
Holding time	Frame grabber latency	Depends on application

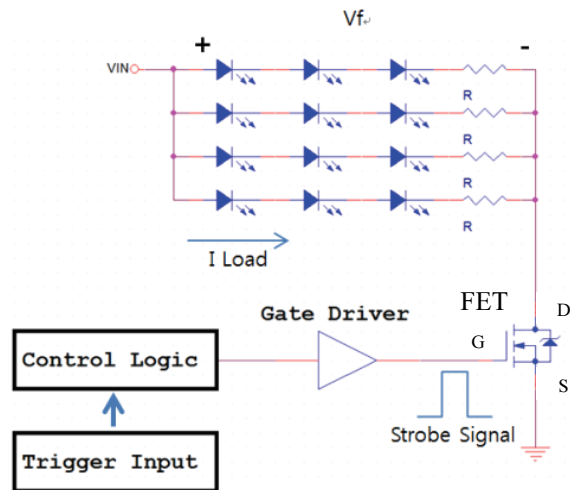


Fig. 4. LED driving circuit using strobe control driving method.

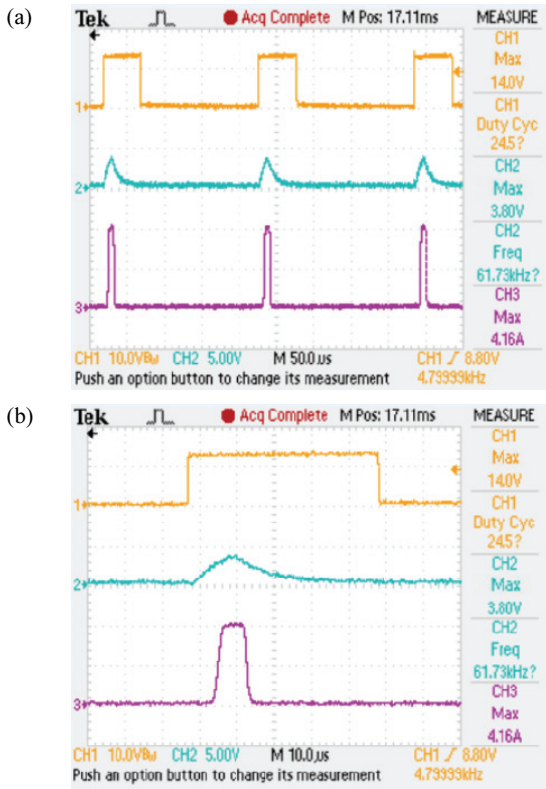


Fig. 5. (a) Trigger signal, gate voltage and load current waveforms of driving circuit using strobe control @Time Scale=50  $\mu$ s and (b) trigger signal, gate voltage and load current waveforms of driving circuit using strobe control @Time Scale=10  $\mu$ s.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 LED 조명 구동 방식에 따른 측정 결과 및 분석

PWM 제어와 스트로브 제어에 따른 발열 특성을 비교 분석하기 위하여 열화상 카메라를 이용하여 LED의 영상과 온도를 측정하였다. 그림 6은 두 가지 방식으로 측정한 열화상 카메라의 영상이다. 적용된 LED의 측정시간은 1분, 25분 그리고 100분이다. 1분 경과 후에는 두 경우 모두 33.2°C로 안정적인 온도를 보여주었으나 PWM 제어를 사용한 경우에는 25분 경과 후에는 56.1°C로 증가하였으며 100분이 경과한 후에는 64.4°C까지 증가하였다. 반면에 스트로브 방식을 적용한 경우에는 25분 후에도 37.6°C, 100분이 경과한 후에도 38.1°C로 비교적 안정적인 특성을 보여주고 있다. 그림 7은 PWM 제어와 스트로브 제어에서 100분

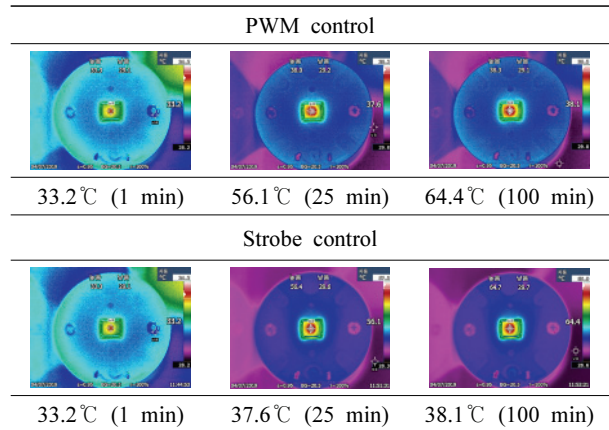


Fig. 6. IR camera images vs. temperature in PWM and strobe control.

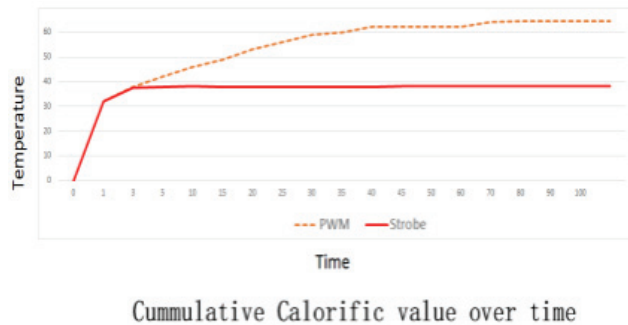
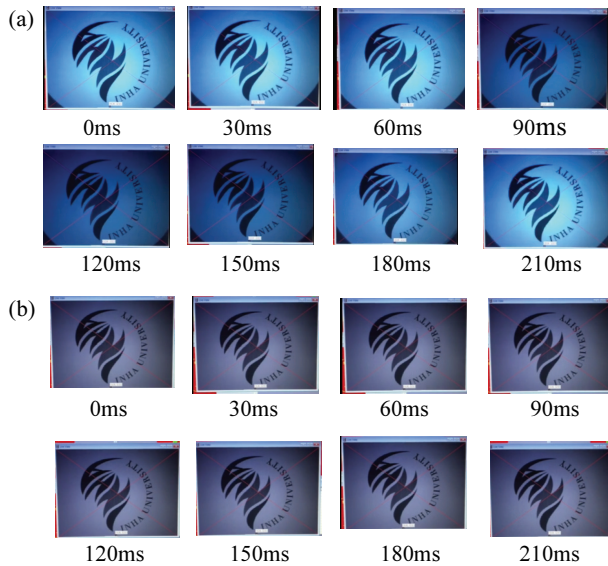


Fig. 7. Temperature vs. time in PWM and strobe control.

동안 시간 변화에 따른 LED의 온도를 측정한 비교 그래프이다.

PWM 제어와 스트로브 제어 방법에서 나타나는 온도 특성의 차이에 대한 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. LED 모듈에 공급되는 전력은 거의 동일하게 설정하였다. PWM에서는 인가 전압이 12 V일 때 최대전류가 1.28 A이고 듀티비를 약 20%로 설정하였다. 스트로브 제어에서는 인가 전압이 24 V일 때 최대전류가 4.16 A이고 듀티비를 대략 3%로 설정하여 입력 전력을 평균 약 3W로 동일하게 설정하였다. 같은 입력 전력에 대하여 온도 특성이 다른 이유는 PWM 제어에서는 전력이 공급되는 시간 간격이 매우 짧아 방열이 충분하지 않은 상태에서 열이 누적되는 반면 스트로브 제어에서는 상대적으로 시간 간격이 충분하여 방열이 비교적 잘 되기 때문으로 사료된다.

그림 8은 PWM 제어와 스트로브 제어 방식을 적용하여 피사체를 촬영한 영상이다. 원래는 동영상으로 촬



**Fig. 8.** Measured images vs. time in PWM and strobe control. (a) Images in PWM control and (b) images in strobe control.

영한 결과이지만 이를 여러 장의 정지 영상으로 표현하였다. 각각의 정지영상은 PWM과 스트로브 동영상으로부터 30ms 단위로 동일시간에 캡처한 정지영상이다. 영상을 보면 PWM 제어에서는 시간에 따라 밝기가 달라지는 플리커 현상이 나타나지만 스트로브 제어 방식에서는 플리커 현상이 나타나지 않음을 알 수 있다. 스트로브 제어 방식에서는 프레임 그래버와 카메라 셔터가 정확하게 동기화되어 있기 때문에 플리커가 보이지 않지만, PWM 제어에서는 임의의 시간에 조명이 켜지기 때문에 플리커가 나타나게 된다.

#### 4. 결론

본 연구는 머신비전을 위한 LED 조명 장치에서 PWM 제어 방식과 스트로브 제어 방식을 비교 분석한 내용으로 스트로브 구동 방식이 PWM 방식보다 우수한 특

성을 보임을 확인하였다. PWM 방식에서는 LED의 온도를 60°C 이하로 유지할 수 없었지만 스트로브 방식을 사용하면 시간이 지나도 LED의 온도를 대략 40°C 이하로 안정적인 범위에서 유지할 수 있었다. 또한 스트로브 제어 방법을 사용하면 스트로브 조명과 카메라의 동기화에 의하여 플리커 현상 없이 피사체의 영상을 효율적으로 획득할 수 있었다. 이를 통하여 머신비전 시스템 장비에서 LED 스트로브 구동 방식을 적용하면 높은 정밀도의 선명한 이미지 촬영이 가능함을 확인하였고, 결과적으로 작업의 효율성을 향상시켜 생산량 증대 효과를 기대할 수 있다.

#### ORCID

Cheon Lee

<https://orcid.org/0000-0003-2369-751X>

#### REFERENCES

- [1] L. Pérez, Í. Rodríguez, N. Rodríguez, R. Usamentiaga, and D. F. García, *Sensors*, **16**, 335 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.3390/s16030335>]
- [2] J. Byun, I. Hong, B. Lee, and S. Park, *IEEE Trans. Consum. Electron.*, **59**, 70 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TCE.2013.6490243>]
- [3] H. L. Zhang, L. Peng, Y. K. Luo, and S. Yu, *Appl. Opt.*, **59**, 3518 (2020). [DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.384833>]
- [4] X. Wu and G. Gao, *Appl. Opt.*, **57**, 1694 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.57.001694>]
- [5] J. G. Kim, S. H. Hong, S. H. Park, and M. S. Kang, *Proc. 2010 KIEE Annual Summer Conference* (KIEE, Busan, Korea, 2010) p. 1714.
- [6] Z. Mao, L. Ge, and G. Hua, *Proc. 2013 10th China International Forum on Solid State Lighting (ChinaSSL)* (IEEE, Beijing, China, 2013) p. 210. [DOI: <https://doi.org/10.1109/SSLCHINA.2013.7177350>]
- [7] O. Tetervenoks and I. Galkin, *Elektron. Elektrotech.*, **20**, 42 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.eee.20.6.7265>]