


머신비전용 LED 조명 장치를 위한 Hybrid-Dimming Control에 대한 연구

김태화, 이 천 

인하대학교 전기공학과

A Study on the Hybrid-Dimming Control Driving of LED Lighting System for Machine Vision

Tae-Hwa Kim and Cheon Lee

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

(Received January 9, 2021; Revised March 28, 2021; Accepted March 29, 2021)

Abstract: A machine vision inspection system consists of a camera, optics, illumination, and image acquisition system. The illumination system among these uses LED lighting source. Therefore, the driving method of LED lighting source is very important. The two main driving methods of LED lighting system for machine vision are Pulse Width Modulation (PWM) control driving and strobe control driving. PWM control driving method has problems such as a temperature rising of LED and a flickering in image measurement for inspection. On the other hand, strobe control driving method has a difficulty in the control of light intensity because of too short on-time. In this study, we propose a new hybrid-dimming control driving method for LED lighting source for machine vision. The proposed new hybrid-dimming control driving method can control current intensity and current on-time simultaneously so that it can extract clearer images with a high precision without the light saturation of image.

Keywords: Hybrid-dimming control, Strobe control, PWM, Machine vision, LED

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 우리나라 국가 정책 중에서 미래 국가 비전으로 ‘저탄소 녹색 성장’을 제시한 바 있다. 저탄소 녹색 성장 산업 육성의 일환으로 LED 조명 산업 비중의 확대를 내

세웠다 [1]. 공장 자동화에 사용되는 머신비전 기술은 LED 조명 산업 중에서도 제조업계에서 매우 다각도로 요구되는 분야로 매년 꾸준한 성장을 하고 있다.

머신비전(machine vision) 기술은 산업구조가 고도화된 선진국에서 널리 보급되어 활용되고 있으며 전 산업 분야로 점점 확대되고 있다. 머신비전 기술은 PCB 검사, LCD 패널 검사, 반도체 검사 등 많은 분야에서 적용되고 있다. 정확한 검사와 생산성 향상을 위해서는 빠른 검사 속도, 높은 해상도와 정확한 화상 측정이 요구된다. LED 조명 기술 분야에서도 고광량, 빠른 응답 특성, 그리고 세밀하고 정확한 광량 제어가 충족되어야 머신비전이 적합한 성능을 발휘한다 [2].

✉ Cheon Lee, 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.

1.2 연구의 목적

그림 1은 LED 발광색에 따른 LED 인가 전압과 LED에 흐르는 전류 간의 관계를 나타낸 그래프이다. 그림 1과 같이 LED에서 발생하는 광속은 LED에 흐르는 전류량에 의하여 결정된다. 따라서 LED의 밝기를 조절하기 위해서는 LED에 흐르는 전류량을 제어해야 하며 최적의 머신비전을 구현하기 위해서는 조명 광학을 최적화하는 것이 필요하다. 왜냐하면 선명한 이미지의 추출이 성공적인 영상 처리 결과로 이어지기 때문이다 [3-5].

머신비전용 LED 조명 시스템을 구현하기 위한 제어방식으로 전압 제어, 전류 제어, PWM, 스트로브 방식이 있으며 적용분야에 따라서 적합한 방식을 사용하고 있다. 대부분의 LED는 전압 변화에 따라 전류가 크게 변하기 때문에 머신비전과 같이 정밀제어가 필요한 산업에서는 전압 제어 방식을 사용하지 않는다. 전류 제어 방식은 LED의 공급전류를 가변시켜 광량을 변화시키는 방식으로 전류 변화 대비 광량이 선형적으로 변화하는 특성을 갖고 있지만 전력 대비 누적 발열이 발생하는 단점이 있다. 현재 머신비전 시스템은 PWM 제어방식과 스트로브 방식을 주로 사용하고 있다. PWM 방식은 회로 구성이 비교적 간단하고 제어가 쉽지만 과열에 의한 손상과 플리커링 등의 문제점이 있어 고속 정밀 제어에는 적합하지 않다 [6]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 짧은 시간에 강한 광출력을 낼 수 있는 스트로브 구동 방식이 제안되었다 [7]. 그러나 LED 스트로브 구동 방식은 짧은 시간에 강한 광출력을 낼 수는 있지만, 광원에 노출되는 시간이 매우 짧아서 밝기를 조절하기 어려운 단점이 있다 [8].

본 논문에서는 기존의 스트로브 구동 방식이 갖는 단점을 보완하고 장점을 극대화한 새로운 구동 방식인 hybrid-dimming 기술을 제안한다.

Hybrid-dimming 기술은 전류 제어 방식과 스트로브

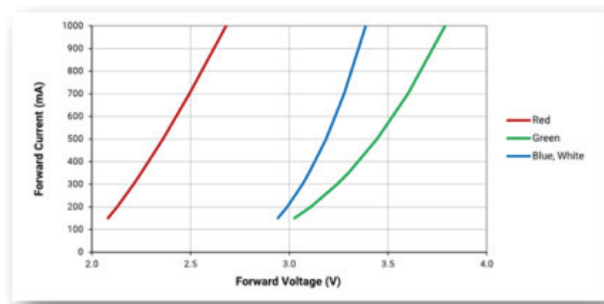


Fig. 1. Forward current vs forward voltage.

구동 방식을 겸용한 방법으로 on-time과 LED 구동전류를 동시에 제어할 수 있기 때문에 기존 스트로브 방식과 비교하여 향상된 머신비전용 LED 조명 성능을 구현할 수 있다.

2. 실험 방법

2.1 Hybrid-dimming control 시스템 구성

그림 2와 같이 LED 조명의 구동 회로는 2개의 FET가 직렬로 연결된 구조이다. 그림 2에서 상부에 위치한 구동 회로는 LED에 공급하는 전류를 제어하는 부분으로 주요 구성부는 DAC, OP-AMP 그리고 구동 FET이다. OP-AMP의 비반전 입력에는 DAC의 출력이 연결되어 있고 반전 입력에는 저항 R1에 걸리는 전압이 연결되어 있다. 그리고 OP-AMP의 출력단은 FET의 gate 단자에 연결되어 있다. OP-AMP는 비반전 입력 단자의 전압이 반전 입력 단자의 전압과 같아지도록 출력 전압을 조절하는 특성을 갖고 있다. DAC의 출력 신호는 OP-AMP의 비반전 입력을 제어하게 되고 OP-AMP의 출력은 R1에 걸리는 전압이 비반전 입력 전압과 동일한 전압이 되도록 출력을 조절한다. 결국 출력 전압을 조절한다는 의미는 R1에 흐르는 전류를 가변한다는 뜻이고 LED와 R1은 직렬로 연결되어 있기 때문에 최종적으로는 LED에 흐르는 전류를 제어할 수 있다.

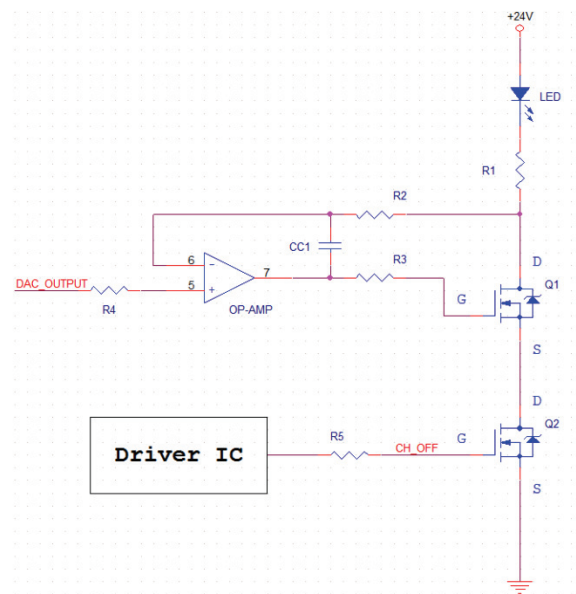


Fig. 2. FET driving circuit using hybrid-dimming control.

그림 2의 하부에 위치한 구동 회로는 LED에 공급하는 전력의 시간을 제어하는 기능을 담당한다. FET의 구동을 살펴보면 게이트 커패시터가 충전되면 전력 디바이스가 턴온 되고 그때 드레인 단자와 소스 단자 사이에 전류가 흐른다. 게이트 커패시터가 방전되면 전력 디바이스가 턴오프 되고 드레인 단자와 소스 단자 사이의 높은 전압이 차단된 상태가 된다. 하부에 위치한 FET는 스위치로서 동작하도록 설계되어 있으며 정상동작을 위해서는 게이트 단자와 소스 단자 사이에 임계 전압보다 높은 전압이 인가되어야 한다.

2.2 Hybrid-dimming control 시스템 구동 원리

Hybrid-dimming control의 하드웨어 구동은 아래와 같다. 그림 2에서 상측 Q1의 전류 제어는 FET의 게이트 단자에 인가하는 V_{GS} 전압을 가변시켜 드레인 단자에서 소스 단자로 통하는 전류를 제어하게 된다. 이때 V_{GS} 에 인가하는 전압은 4,096개의 분해능을 갖는 DAC (digital analog converter)로 제어하도록 하며 0~5 V까지 가변할 수 있도록 하였다.

Q1의 V_{GS} 가변 범위는 별도의 보정 동작을 통해 설정하도록 되어 있으며 최대 출력전류를 사용자가 원하는 범위로 설정할 수 있다. 하단 Q2의 스트로브 제어는 FET의 게이트 단자에 인가하는 V_{GS} 전압을 순간적으로 빠르게 ON/OFF하여 Q2 드레인에서 소스로 흐르는 전류를 차단/통과하도록 설계하였다. 이때 Q2의 V_{GS} 의 가변은 별도의 ON/OFF 회로를 통해 동작하며 수십 ns까지 고속으로 스위칭할 수 있도록 설계하였다.

모든 동작은 외부 입력 신호인 트리거 신호에 동기되어 동작하며 전류 제어 및 on-time 제어는 MCU F/W 설계에 따라 순차적으로 진행된다. 앞서 설명한 것처럼 hybrid dimming control의 하드웨어 구동에서 전류 제어는 Q1의 V_{GS} 를 전용 DAC를 통해 제어하여 가변할 수 있도록 설계하였다.

2.3 전류 및 출력 on-time 제어

Hybrid dimming control 방식을 사용할 경우에는 LED를 구동하는 출력전류와 on-time을 모두 제어할 수 있기 때문에 머신비전과 같은 자동 검사 장치의 측정 대상에 따라 광량의 자유도를 증가시킬 수 있다.

그림 3은 오실로스코프의 전류 프로브를 이용하여 실제 출력되고 있는 전류파형과 동작 기준이 되는 입력 트

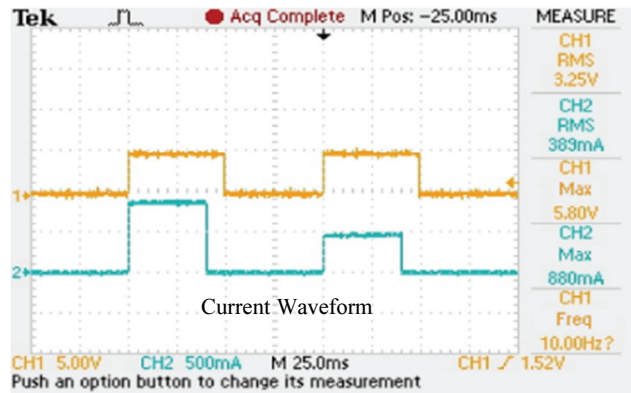


Fig. 3. Trigger signal (yellow line) and load current waveforms (green line) (on-time: 38ms, current: 900 mA and 500 mA) (fixed on-time, current variable).

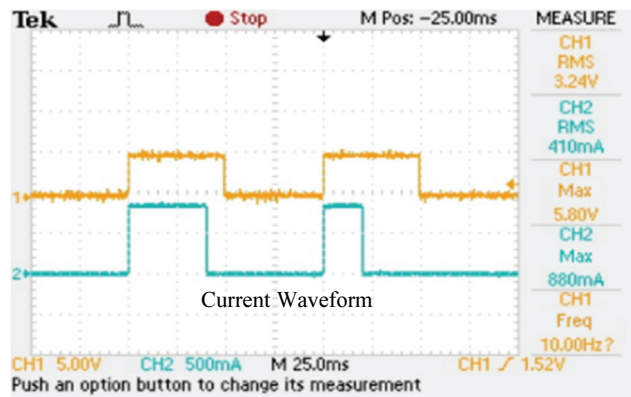


Fig. 4. Trigger signal (yellow line) and load current waveforms (green line) (on-time: 38ms and 20ms, current: 900 mA) (on-time variable, fixed current).

리거 신호를 측정된 자료이다. On-time을 38ms로 고정된 상태에서 출력전류를 900 mA와 500 mA로 설정한 경우이다.

그림 4는 출력전류를 900 mA로 고정한 상태에서 on-time을 38ms와 20ms로 다르게 설정한 경우이다.

3. 실험 및 고찰

3.1 Hybrid-dimming control 기술을 적용한 영상 측정 결과 및 분석

기존의 스트로브 구동방식의 단점을 개선한 hybrid-

dimming control 구동방식으로 측정된 결과를 제시하였다. 먼저 구동전류를 조절하여 영상을 측정한 결과이다. 그림 5는 on-time 6ms, 출력전류 900 mA일 경우의 LED 전류파형이고 그림 6은 그때의 영상 측정 결과이다. 그림 6의 영상을 보면 광량이 너무 많아서 정확한 영상 검출이 어렵다는 것을 알 수 있다.

그림 7과 그림 8은 on-time 6ms이고 출력전류 500 mA일 경우의 LED 전류파형과 영상을 측정한 결과이다. 즉 출력전류 제어를 통하여 출력전류를 900 mA에서 500 mA로 감소시켜 출력전류 900 mA에서 측정된 영상에서

나타나는 빛의 과다 현상을 제거하였다. 그림 8을 보면 피사체를 측정하였을 때 선명한 글씨가 나타나는 깨끗한 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

하지만 전류를 너무 감소시키면 오히려 광량이 부족하여 피사체를 측정하였을 때 제대로 된 영상을 측정할 수 없게 된다. 그림 9는 출력전류를 50 mA로 감소시켰을 때의 전류파형이고 그림 10은 그때의 영상 측정 결과이다. 영상을 보면 너무 어두워서 정확한 측정이 어렵다는 것을 알 수 있다.

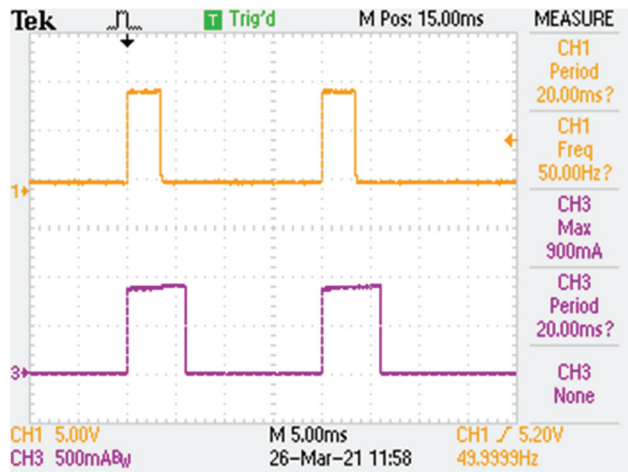


Fig. 5. Trigger signal and load current waveforms (on-time: 6ms, current: 900 mA).

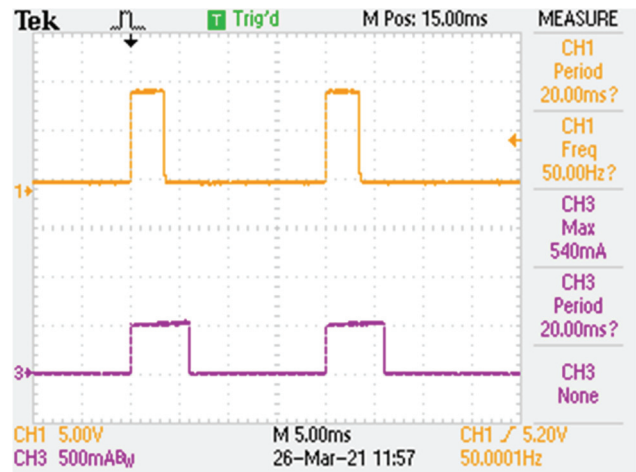


Fig. 7. Trigger signal and load current waveforms (on-time: 6ms, current: 500 mA).

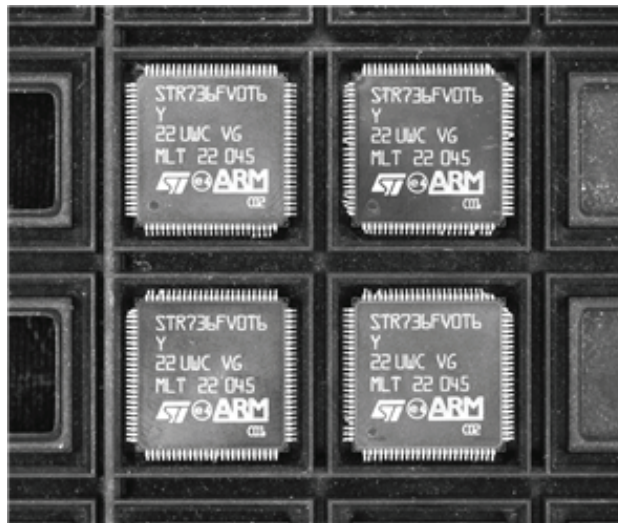


Fig. 6. Measured image in new strobe control using hybrid-dimming control (on-time: 6ms, current: 900 mA).

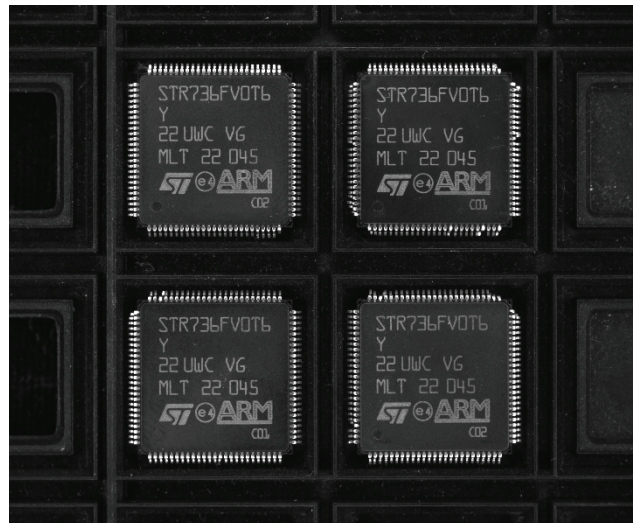


Fig. 8. Measured image in new strobe control using hybrid-dimming control (on-time: 6ms, current: 500 mA).

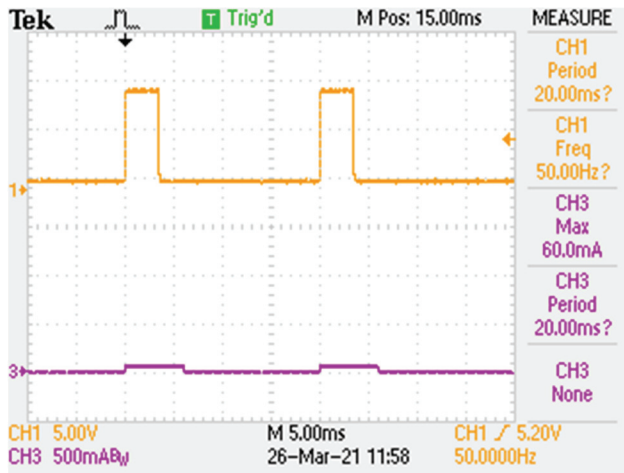


Fig. 9. Trigger signal and load current waveforms (on-time: 6ms, current: 50 mA).

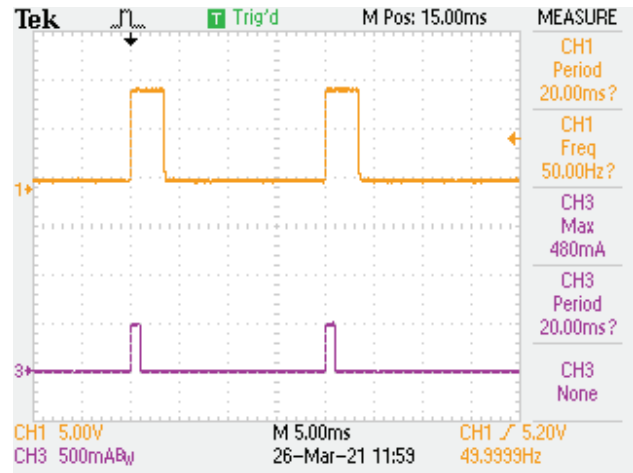


Fig. 11. Trigger signal and load current waveforms (on-time: 1ms, current: 500 mA).

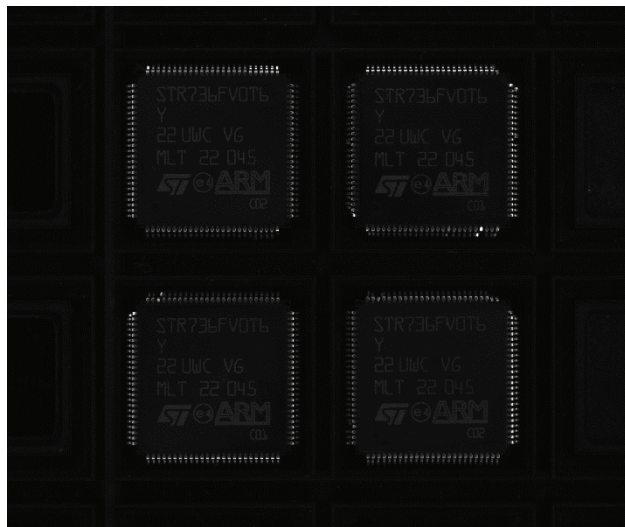


Fig. 10. Measured image in new strobe control using hybrid-dimming control (on-time: 6ms, current: 50 mA).

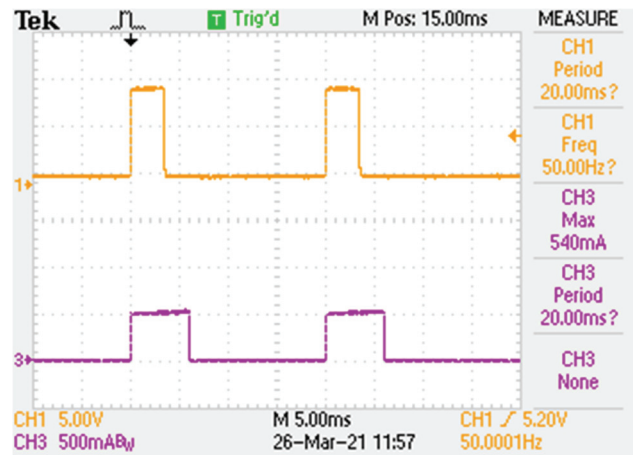


Fig. 12. Trigger signal and load current waveforms (on-time: 6ms, current: 500 mA).

출력전류는 고정하고 on-time을 변경하며 영상의 변화를 측정한 결과는 다음과 같다. 그림 11, 그림 12 그리고 그림 13은 출력전류를 500 mA로 고정한 상태에서 on-time을 1ms, 6ms 그리고 16ms로 변화시켰을 때의 각각의 전류파형 모습이다. 그리고 그때의 영상을 각각 그림 14, 그림 15 그리고 그림 16에 도시하였다. 측정 영상을 보면 on-time 변화에 따라 최적의 영상 검출 조건을 구할 수 있음을 알 수 있다.

그림 15는 앞의 그림 8과 같은 영상으로 최적의 on-time 조건에서 선명한 글씨가 나타나는 깨끗한 영상임을

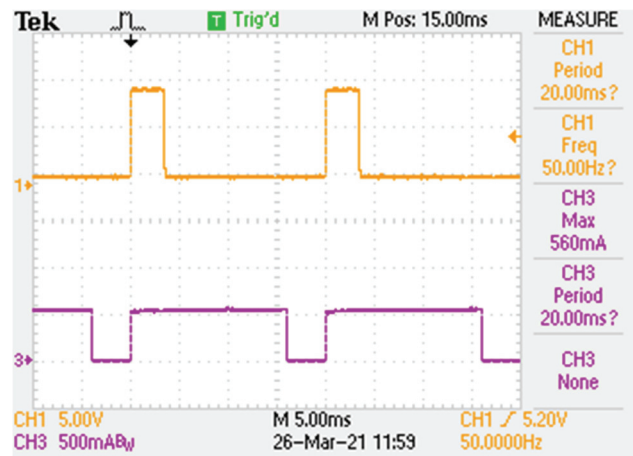


Fig. 13. Trigger signal and load current waveforms (on-time: 16ms, current: 500 mA).

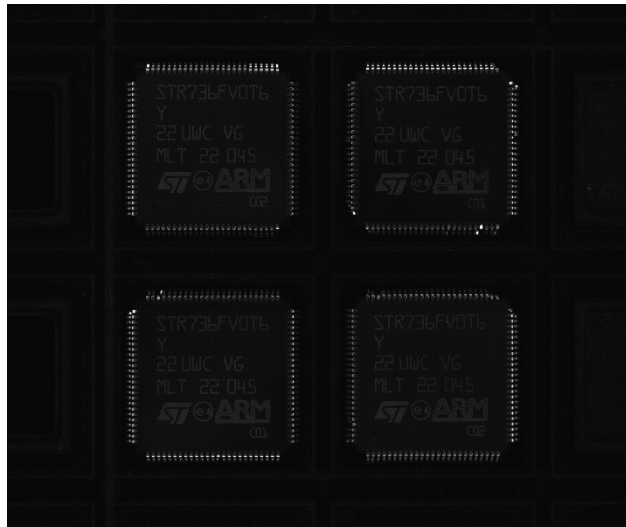


Fig. 14. Measured image in new strobe control using hybrid-dimming control (on-time: 1ms, current: 500 mA).

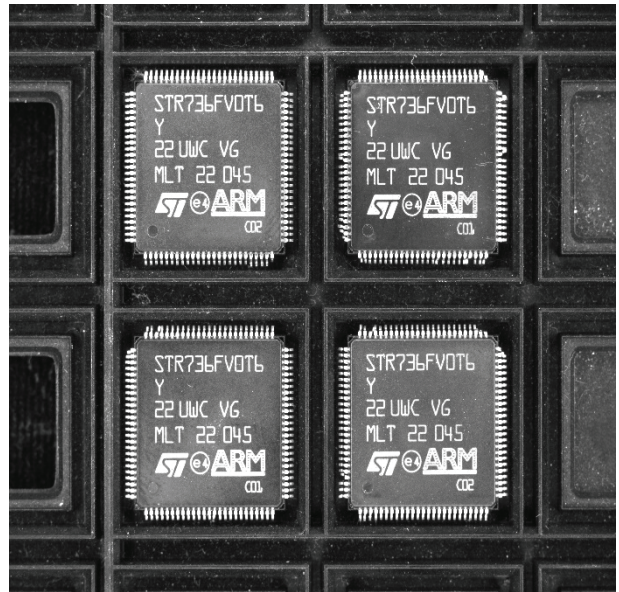


Fig. 16. Measured image in new strobe control using hybrid-dimming control (On-Time: 16 ms, current: 500 mA).

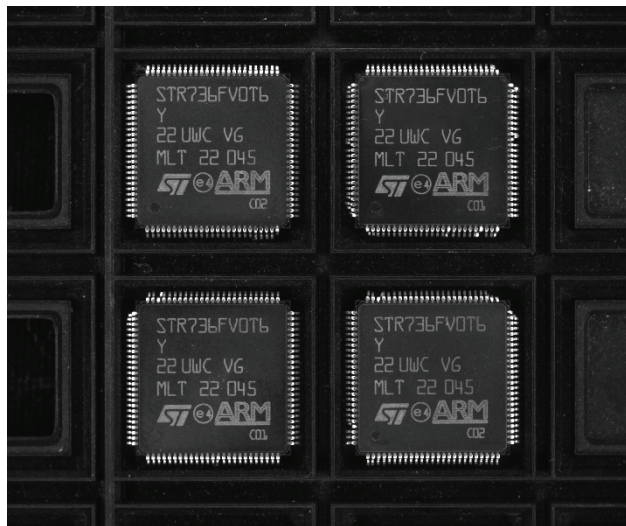


Fig. 15. Measured image in new strobe control using hybrid-dimming control (on-time: 6ms, current: 500 mA).

알 수 있다. 이와 같이 hybrid-dimming control 기술을 사용하였을 경우 출력전류와 on-time 제어에 의하여 광량 조절이 가능하기 때문에 정확한 이미지 검출이 가능하다.

4. 결론

본 논문에서는 비전 시스템을 위한 LED 조명 장치에 적용되는 기존의 스트로브 제어 방식을 개선한 hybrid-dimming control 기술을 제안하고 이를 구현하였다. Hybrid-dimming control 기술을 적용한 새로운 제어 방법은 기존의 스트로브 방식에서는 구현하지 못하는 출력전류와 출력시간을 미세 조절할 수 있는 구동방법이다. 본 기술을 사용할 경우 짧은 시간에 고출력을 낼 수 있기 때문에 누적 발열이 거의 발생하지 않는 기존 스트로브 방식의 장점을 유지하면서도 출력전류와 on-time을 가변할 수 있기 때문에 영상 추출에서 발생할 수 있는 빛의 포화 현상을 제거하여 효과적인 영상 판독이 가능함을 알 수 있다. 이와 같이 hybrid-dimming control 기술을 사용한 제어 방법은 광출력을 제어할 수 있기 때문에 검출 시료 특성에 맞는 최적의 환경을 구현할 수 있는 유연성을 가지고 있으므로 검사의 효율성을 높일 것으로 기대된다.

ORCID

Cheon Lee

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

REFERENCES

- [1] M. H. Chang, D. Das, P. V. Varde, and M. Pecht, *Microelectron. Reliab.*, **52**, 762 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2011.07.063>]
- [2] W. K. Lin, C. M. Uang, P. C. Wang, and Z. S. Ho, *Proc. 2013 International Symposium on Next-Generation Electronics* (IEEE, Kaohsiung, Taiwan, 2013) p. 345. [DOI: <https://doi.org/10.1109/isne.2013.6512362>]
- [3] 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>]
- [4] H. L. Zhang, L. Peng, Y. K. Luo, and S. Yu, *Appl. Opt.*, **59**, 3518 (2020). [DOI: <https://doi.org/10.1364/ao.384833>]
- [5] X. Wu and G. Gao, *Appl. Opt.*, **57**, 1694 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.1364/ao.57.001694>]
- [6] O. Tetervenoks and I. Galkin, *Elektron. Elektrotech.*, **20**, 42 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.eee.20.6.7265>]
- [7] T. Kim and C. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **34**, 121 (2021).
- [8] J. Kim, S. Hong, S. Park, and M. Kang, *Proceeding of KIEE*, 1714 (2010).