

머신 비전 라인 스캔 카메라를 위한 라인 스캔 광원의 제어 특성에 관한 연구

김태화, 이 천 

인하대학교 전기공학과

A Study on the Control Characteristics of Line Scan Light Source for Machine Vision Line Scan Camera

Tae-Hwa Kim and Cheon Lee

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

(Received July 29, 2021; Revised August 6, 2021; Accepted August 10, 2021)

Abstract: A machine vision inspection system consists of a camera, optics, illumination, and image acquisition system. Especially a scanning system has to be made to measure a large inspection area. Therefore, a machine vision line scan camera needs a line scan light source. A line scan light source should have a high light intensity and a uniform intensity distribution. In this paper, an offset calibration and slope calibration methods are introduced to obtain a uniform light intensity profile. Offset calibration method is to remove the deviation of light intensity among channels through adding intensity difference. Slope calibration is to remove variation of light intensity slope according to the control step among channels through multiplying slope difference. We can obtain an improved light intensity profile through applying offset and slope calibration simultaneously. The proposed method can help to obtain clearer image with a high precision in a machine vision inspection system.

Keywords: Offset calibration, Slope calibration, Machine vision, Line illumination system

1. 서 론

머신 비전에 사용되는 라인 스캔 카메라를 위한 라인 스캔 광원에는 사용자의 요구 조건에 맞게 높은 광량과 우수한 균일도가 제공되어야 한다. 라인 스캔 광원의 대표적 성능 지표는 광량과 균일도이며 LED 조명 제어 방식도 중요한 부분을 차지하고 있다. 라인 스캔 카메라는 고속

으로 동작하기 때문에 라인 스캔 광원의 제어 방식은 PWM 방식이나 스트로브 방식을 적용하기 힘든 상황이다. 따라서 주로 정전류 방식의 제어 방식을 선택하고 있다 [1-4].

대부분의 라인 스캔 광원은 모든 영역의 밝기 편차를 줄임으로써 안정적인 균일도를 제공한다. 그러나 안정적인 균일도 하에서 동일한 시스템으로 영상을 검출한다 하더라도 취득한 이미지는 사용 환경에 따라 간섭을 받기 때문에 시스템마다 동일한 영상을 취득할 수 없다. 즉 어떠한 시스템에서는 균일한 광량이 오히려 영상 검출에 방해가 될 수 있기 때문에 시스템마다 사용환경을 적절하게 설정할 필요가 있다 [5-10].

✉ 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.

본 연구에서는 최적화된 광량과 균일도 환경을 제공하기 위해 오프셋 보정과 기울기 보정 기술을 적용하였다. 보정 기술은 전체 광량을 재설정하여 사용자가 원하는 광량으로 제어하는 기술이다. 보정 기술은 어느 특정 밝기 값에서의 광량만 균일하게 맞추는 것이 아니라 사용자가 선택한 영역 전체에서의 광량에 대한 선형성을 제공하는 기술이다. 보정 기술을 사용할 경우 원하는 광량으로 자유롭게 설정하여 일정한 균일도가 아닌 사용자가 원하는 형태의 균일도로 라인 스캔 조명을 제어할 수 있다. 따라서 사용 환경에 따른 간섭을 보상하여 최적의 이미지를 검출할 수 있다.

2. 실험 장치

2.1 라인 스캔 조명 시스템의 구성

그림 1은 라인 스캔 조명장치가 적용된 라인 스캔 조명 시스템의 개략도이다. 라인 스캔 조명 시스템은 카메라, 라인 스캔 광원, 그리고 이송 장치로 구성되어 있다.

그림 2는 라인 스캔 조명 시스템에 사용되는 라인 스캔 광원의 실제 모습이다. 라인 스캔 광원은 LED, 렌즈, 그리고 확산판(diffuser)으로 구성되어 있다. LED 구성은 회로에 따라 다르게 구성할 수 있으며 보통 다수의 LED가 직렬형태의 일렬로 구성되어 있다. 직렬로 구성되어 있는 LED를 일정한 간격으로 나눠서 제어할 수 있는데 이를 채널이라 한다. 렌즈는 LED에서 발광하는 빛을 집광시켜주는 역할을 하고 확산판은 집광된 빛을 일렬로 고르게 분포시키는 역할을 한다.

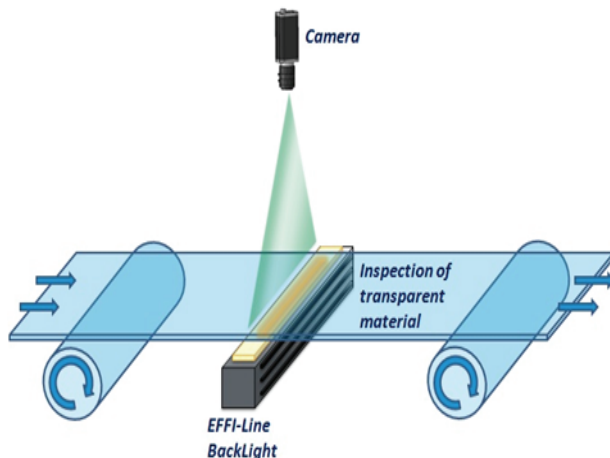


Fig. 1. The schematic diagram of line scan illumination system.

그림 3은 라인 스캔 광원의 발광면을 보여주고 있다. 그림의 좌측은 LED 유닛에 대한 발광면을, 우측은 LED+렌즈+확산판(diffuser) 결합 형태일 경우의 발광면을 보여주고 있다. 그림 4는 휘도계를 사용하여 LED 선광원의 휘도를 측정된 결과이다. 그림 4에서 채널에 따른 차이를 보여주고 있으며 양쪽 가장자리에서 휘도가 감소함을 보이고 있다.



Fig. 2. The line scan light source for line scan camera.

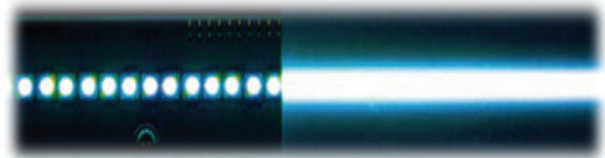


Fig. 3. The light emitting surface of LED line scan light source (left side: only LED unit, right side: LED+lens+diffuser).

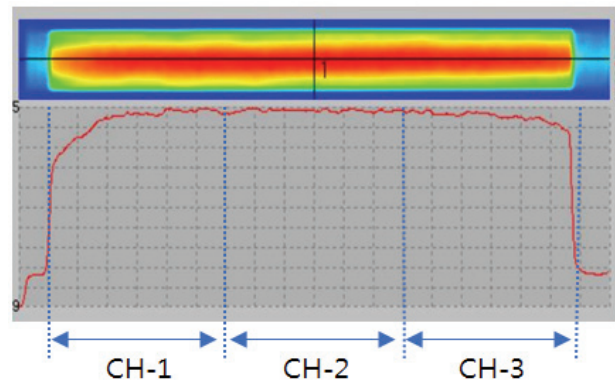


Fig. 4. The light intensity profile and channel of LED line light source.

2.2 라인 스캔 광원 구동회로

그림 5는 라인 스캔 광원의 구동회로이다. 구동회로는 LED에 공급하는 전류를 제어하는 부분으로 주요 구성부는 DAC (digital to analog converter), OP-AMP 그리고 구동 FET이다. OP-AMP의 비반전 입력에는 DAC의 출력이 연결되어 있고 반전 입력에는 저항 R1에 걸리는 전압이 연결되어 있다. OP-AMP의 출력단에는 FET의 게이트 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 제어하고 OP-AMP의 출력은 R1에 걸리는 전압이 비반전 입력 전압과 동일한 전압이 되도록 출력을 조절한다. 결국 출력 전압을 조절한다는

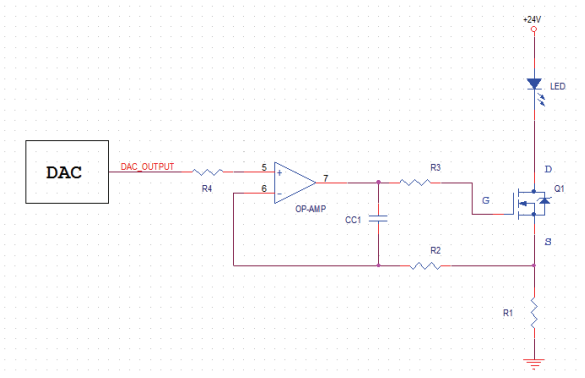


Fig. 5. The driving circuit of LED line scan light source.

의미는 R1에 흐르는 전류를 가변시킨다는 뜻이고 LED와 R1은 직렬로 연결되어 있기 때문에 최종적으로는 LED에 흐르는 전류를 제어할 수 있다 [11-13].

3. 실험 방법

3.1 오프셋 보정

오프셋(offset)을 보정하는 방법은 해당 밝기 값에 설정한 오프셋 보정치를 더하는 방식을 적용하고 있다. 그림 6은 오프셋 보정에 의한 휘도 균일성을 제어한 예를 나타낸다. 그림 6에서 스텝(step)은 입력 전류에 비례하는 값이다. 오프셋을 10으로 설정하였을 경우 밝기 값이 100이라면 실제 적용되는 밝기 값은 110이 된다. 오프셋을 적용하는 기준은 그림 6과 같이 CH-2, CH-3에 비해 CH-1이 상대적으로 높은 밝기 값을 유지하고 있는 경우, 오프셋 설정 값은 음의 값(-)으로 설정할 수 없기 때문에 밝기 값 편차가 발생한 만큼 CH-2와 CH-3의 오프셋을 크게 설정해야 한다. 물론 그림 6과 같이 오프셋 설정만으로 해당 채널 간 출력 특성을 동일하게 맞추기 위해서는 모든 채널의 기울기 특성이 일치해야 한다. 적용하는 오프셋 값을 구하는 방법은 3.3절에서 설명한다.

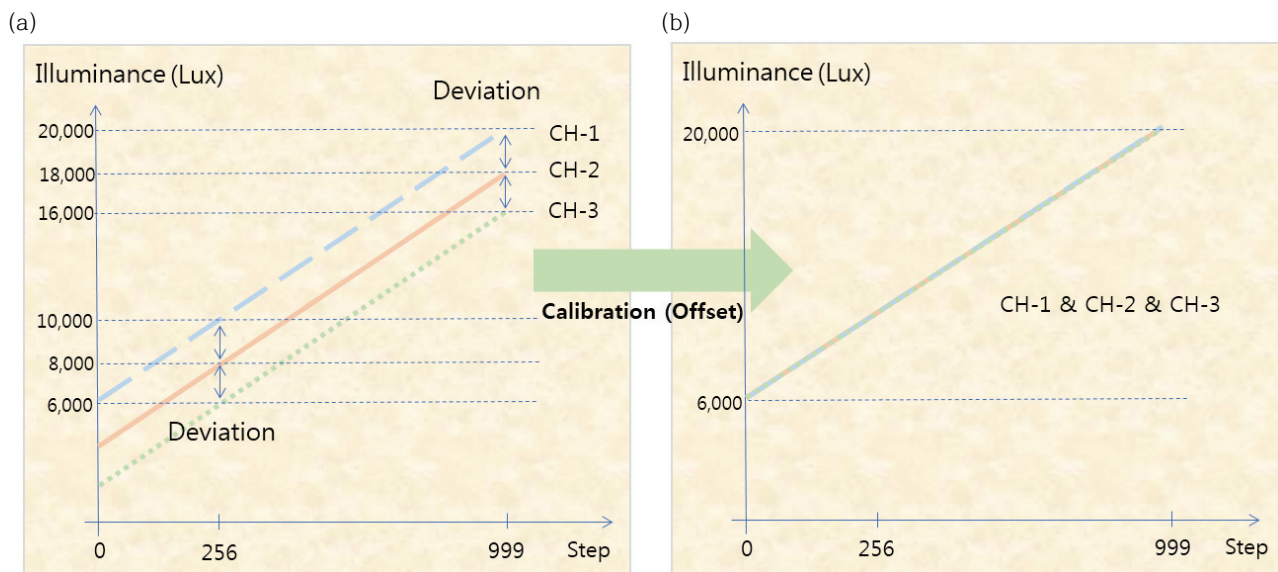


Fig. 6. Illumination intensity vs. step with same slope. (a) Offset deviation state and (b) after offset calibration.

3.2 기울기 보정

기울기를 보정하는 방식은 해당 채널의 밝기 값에 적절한 배수 값(multiply)을 곱해 주는 방식을 사용하였다. 배수 값을 결정하는 방법은 다음과 같다. 그림 7과 같이 CH-2에 비해 CH-1은 상대적으로 높은 비율로 증가하고 CH-3은 낮은 비율로 증가하고 있는 경우에 설정 배수 값을 CH-2를 기준으로 한다면 CH-3은 증가 비율을 높여야 하며 CH-1은 증가 비율을 낮춰야 한다.

증가 비율은 밝기 값 증가량에 따른 채널 간 밝기 편차 비율을 적용하면 된다. 그러나 모든 채널의 증가 비율을 모르는 상태에서 기울기 특성을 결정지을 수 없기 때문에 최대 밝기에 해당하는 밝기 값(goal step)을 찾은 다음 최대 제어스텝(MAX step)으로 나눠야 한다. 즉 식으로 표현하면 배수 값(multiply)=최대 밝기 값(goal step)/최대 제어스텝(MAX step)이다. 물론, 그림 7과 같이 배수 값(multiply) 설정만으로 채널 간 출력 특성을 동일하게 맞추기 위해서는 모든 채널의 오프셋 특성이 '0'으로 일치해야 한다.

적용하는 기울기를 구하는 방법은 3.3절에서 설명한다.

3.3 오프셋과 기울기 동시 보정

3.1과 3.2절에서 기울기 특성이 동일한 상태 혹은 오

프셋 특성이 동일한 상태에서의 채널 간 발생하는 편차를 줄이는 방법은 기술하였다. 그러나 LED, MCU (micro controller unit), FET 등 제어소자의 물리적인 특성이 일치하지 않는 이상 어느 하나만의 특성을 보정해서 채널 간 발생하는 밝기 편차가 보정되는 경우는 매우 드물다. 즉 오프셋만 보정하거나 기울기 특성만 보정하는 경우는 거의 드문 경우이고 오프셋과 기울기 특성을 모두 보정해야만 하는 경우가 대부분이다.

그림 8(a)는 CH-1~CH-3 간에 오프셋과 기울기 특성이 모두 상이하여 채널 간 밝기 편차가 발생하는 경우이다. 오프셋과 기울기 특성이 모두 다르기 때문에 오프셋 값을 쉽게 결정지을 수 없고 기울기 특성도 모두 다르기 때문에 채널 간 발생하는 편차를 계산하여 오프셋 및 기울기 특성을 산출하는 것이 필요하다.

이와 같은 경우 채널 간 편차를 감소시키기 위해 사용한 보정 방법은 밝기 값의 최소값과 최대값에 대한 기준을 정하여 산출하는 방식이다. 이때 기준이 되는 최소값 및 최대값에 대한 밝기는 실험에 의한 평균치로 산출한다. 채널에 대한 최소값과 최대값에 대한 밝기가 결정됐다는 전제하에서 기울기에 해당하는 배수 값(multiply)을 산출하는 계산식은 식 (1)과 같다.

$$\text{배수 값(multiply)} = [\text{최대 밝기 값(goal step)} - \text{최소 밝기 값(min step)}] / [\text{최대 제어 스텝(MAX step)} - 1] \quad (1)$$

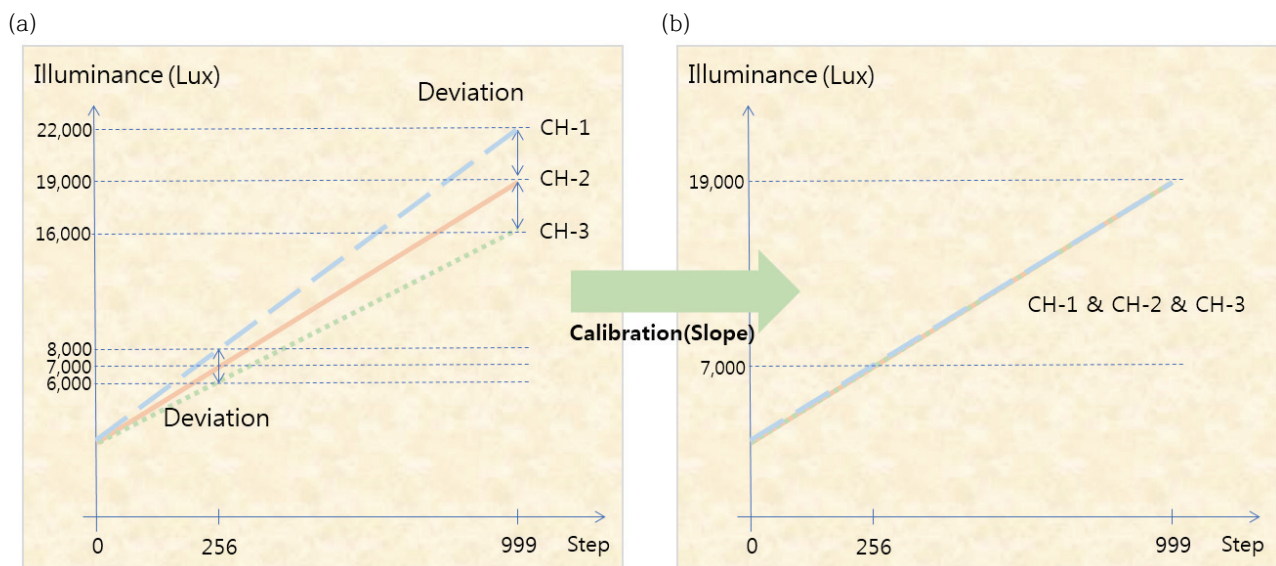


Fig. 7. Illumination intensity vs. step with same offset. (a) Slope deviation state and (b) after slope calibration.

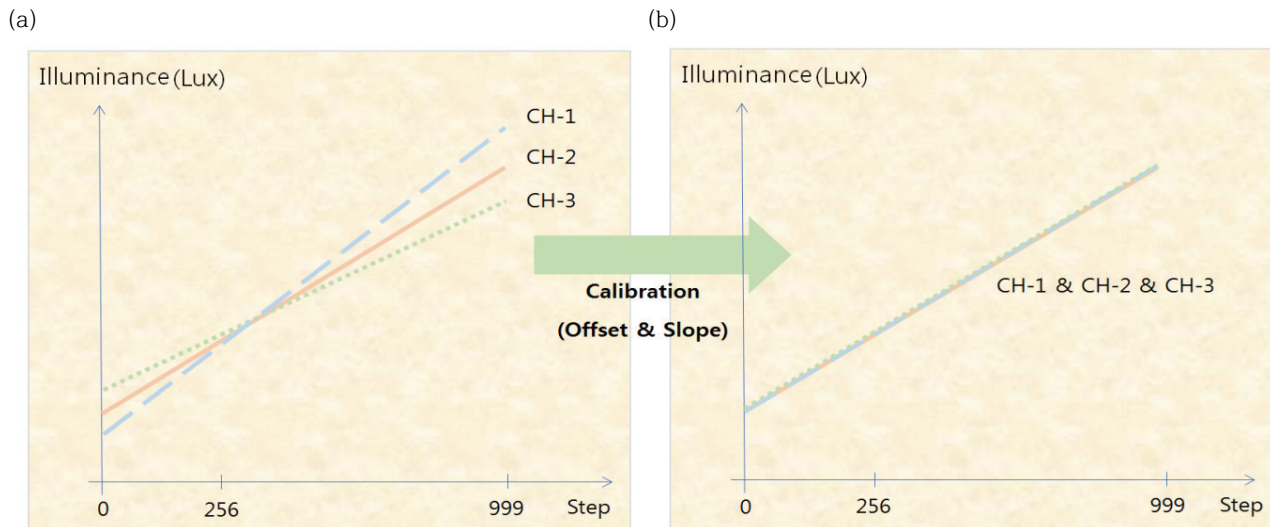


Fig. 8. Illumination intensity vs. step with different offset and slope. (a) Offset and slope deviation state and (b) after offset and slope calibration.

그리고 오프셋에 대한 계산식은 식 (2)와 같다.

$$\text{오프셋(offset)} = \text{최소 밝기 값(min step)} - \text{배수 값(multiply)} \quad (2)$$

CH-1과 CH-2의 오프셋과 기울기 동시 보정의 경우를 그림 9와 같은 경우에 대하여 설명하면 다음과 같다.

CH-1과 CH-2의 특성이 그림 9와 같을 경우, CH-2 기준으로 CH-1의 기울기와 오프셋을 보정하려면 CH-2 기준으로 CH-1의 기울기 증가폭을 감소시켜야 하며 오프셋은 높게 설정해야 한다. CH-2는 최대 광량(goal step)인 19,000 lux에 해당하는 제어 스텝은 999 스텝(max step)이며 최소 광량(min step)인 2,000 lux에 해당하는 제어

스텝은 1 스텝(min step)이다. 반면 CH-1은 최대 광량인 19,000 lux에 해당하는 제어 스텝은 768 스텝(goal step)이고 최소 광량(min step)인 2,000 lux에 해당하는 스텝은 10 스텝(min step)이다. 결국 CH-2와 동일하게 특성을 맞추기 위해서는 CH-1의 최대 밝기 값(goal step)은 19,000 lux에 해당하는 999 스텝이 되어야 하고 최소 밝기 값(min step)은 2,000 lux에 해당하는 1 스텝이 되도록 기울기와 오프셋을 조정해야 한다. 이를 식 (1)에 적용하면 제어 범위는 1~999이기 때문에 배수 값(multiply) = $[\text{최대 밝기 값(goal step)} - \text{최소 밝기 값(min step)}] / \text{최대 제어 스텝(max step)} = (768 - 10) / (999 - 1) = 758 / 998 = 0.76$ 이 된다.

식 (2)로부터 오프셋은 1 스텝 기준으로 보면, 1 스텝 = $1 \times \text{배수 값(multiply)} + \text{off-set}$ 이고, off-set에 대하여 식을 다시 정리하면, $\text{offset} = 1 \text{ 스텝} - 1 \times \text{배수 값(multiply)}$ 가 된다. 여기서 1 스텝에 해당하는 최소 밝기 값(min step)은 2,000 lux에 해당하는 10이 되기 때문에 $\text{offset} = 10 - 1 \times 0.76 = 9.24$ 이다.

이와 같이 기울기 배수 값(multiply)과 오프셋에 대한 산출이 가능한 이유는 LED 휘도 제어에서 정전류 회로를 이용하기 때문이다. 정전류 회로는 회로에 인가하는 전류를 일정하게 유지하기 때문에 해당 제어 스텝에 비례하여 일정한 전류 출력 특성을 나타낸다. LED 소자는 특성상 인가 전류에 비례하여 광출력이 발생하므로 정전류 회로를 이용한 인가 전류 제어를 통하여 밝기 값에 대한 보정 작업을 통해 채널 간 발생하는 밝기 편차를 감소시켜 발광면 전체에 대한 균일도를 개선할 수 있다 [14].

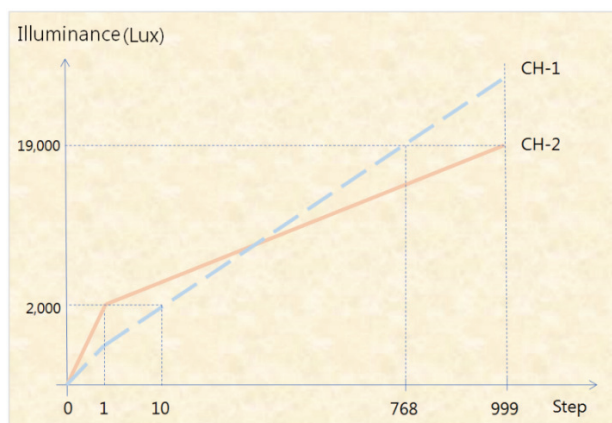


Fig. 9. Illumination intensity vs. step with different offset and slope.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 10과 같이 오프셋과 기울기 특성이 모두 다를 경우 기울기 특성만 일치시킨다면 스텝이 증가할수록 밝기는 동일한 비율로 증가하지만 채널 간 편차는 그대로 유지한다.

그림 11과 같이 오프셋과 기울기 특성이 모두 다를 경우 오프셋 특성만 일치시킨다면 낮은 스텝에서는 밝기 편차가 비교적 적지만 스텝이 증가할수록 밝기 편차

는 커진다.

결국 작은 스텝에서는 오프셋 보정이 효과적으로 균일도를 향상시키고, 스텝이 증가할수록 기울기 보정이 효과적으로 균일도를 향상시킨다. 이는 그림 12, 13, 14, 15의 실제 휘도 측정 결과에서 확인할 수 있다.

그림 12와 13은 작은 스텝에 해당하는 step=10과 step=20에서 측정한 휘도 측정 결과이다. 그림 12와 그림 13(a), (b), (c), (d)는 각각 보정 전 원래의 휘도 분포, 오프셋 보정만 한 경우, 기울기 보정만 한 경우,

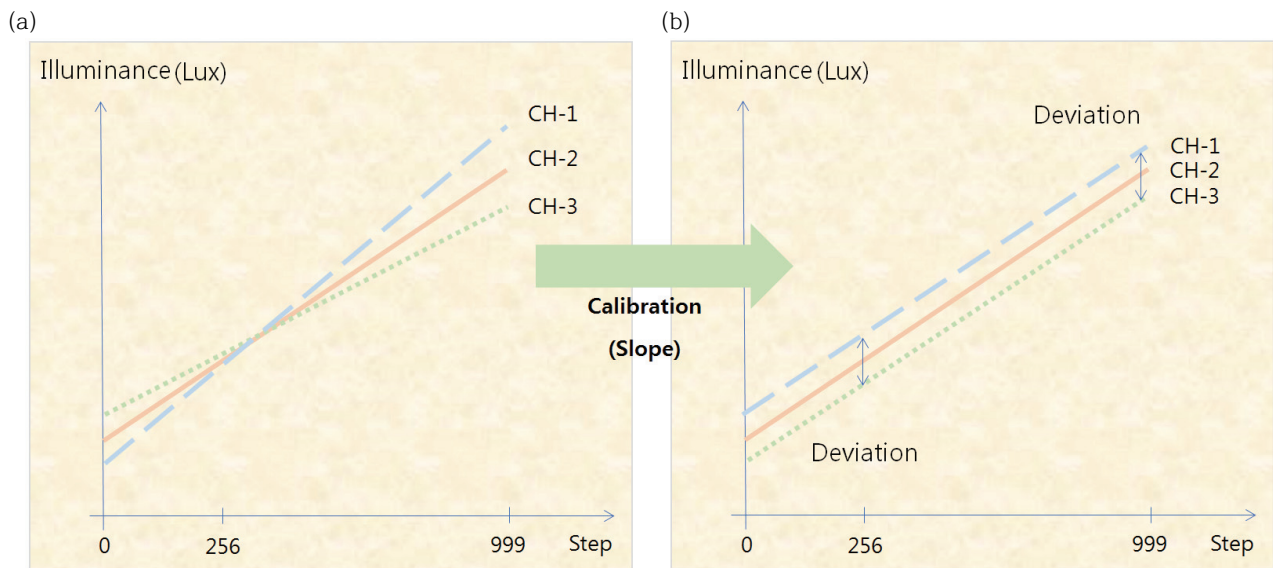


Fig. 10. Slope calibration. (a) Slope and offset deviation state and (b) after slope calibration.

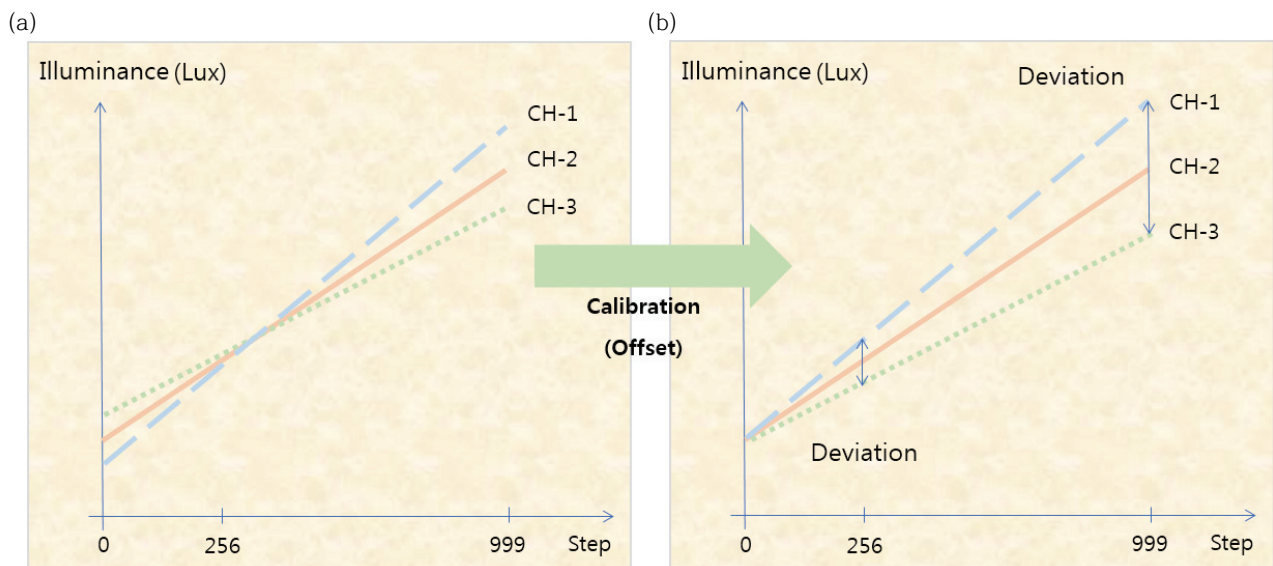
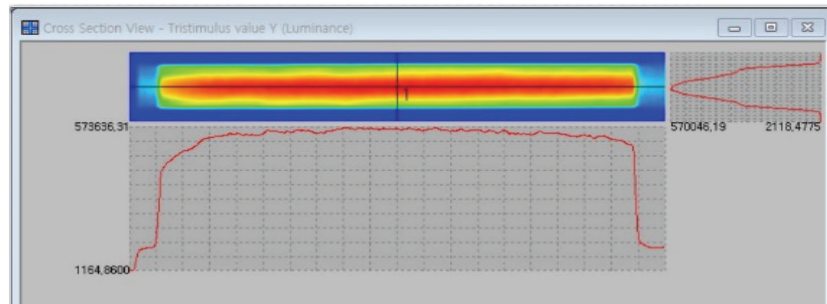


Fig. 11. Offset calibration. (a) Slope and offset deviation state and (b) after offset calibration.

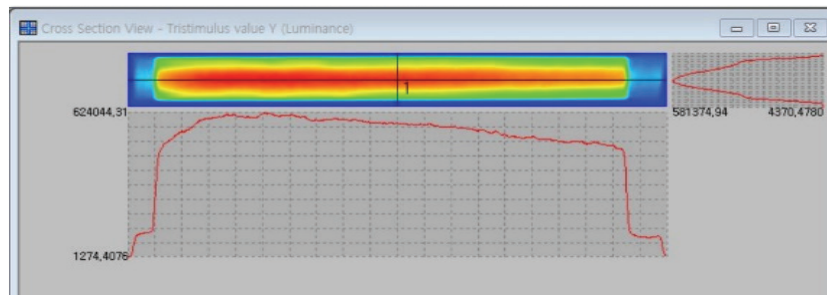
(a)



(b)



(c)



(d)

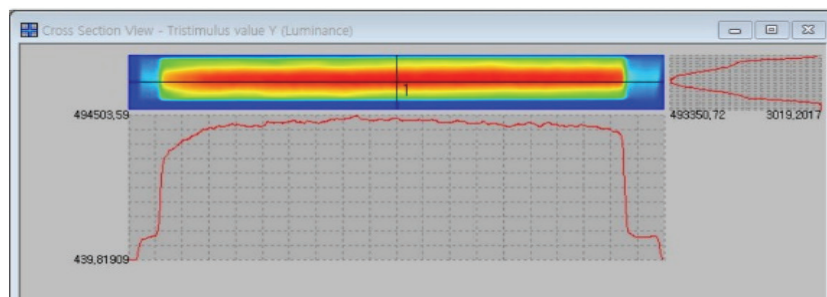
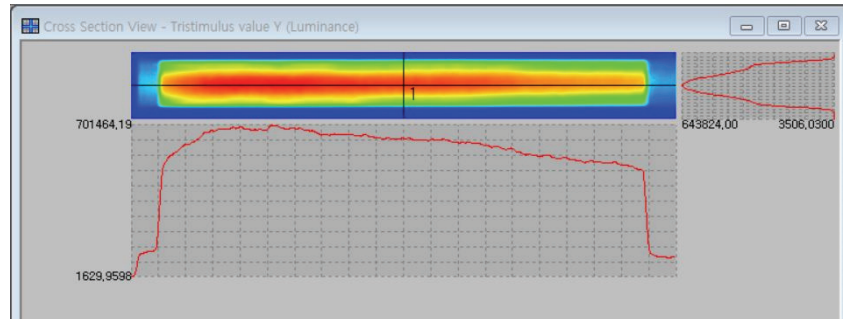
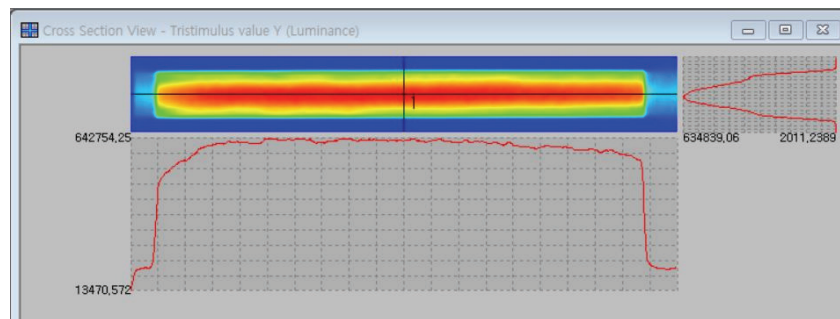


Fig. 12. The measured light intensity profiles in the case of step=10. (a) Before calibration, (b) offset calibration, (c) slope calibration, and (d) offset and slope calibration.

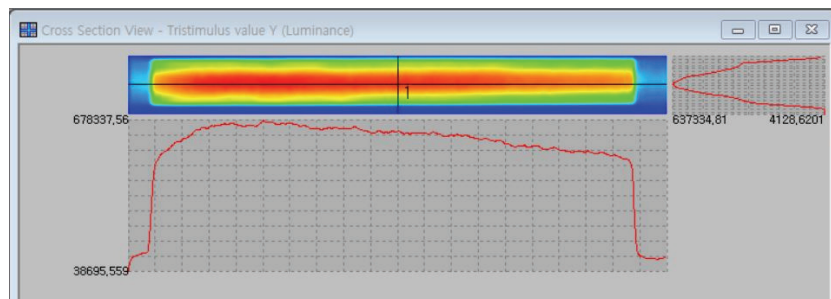
(a)



(b)



(c)



(d)

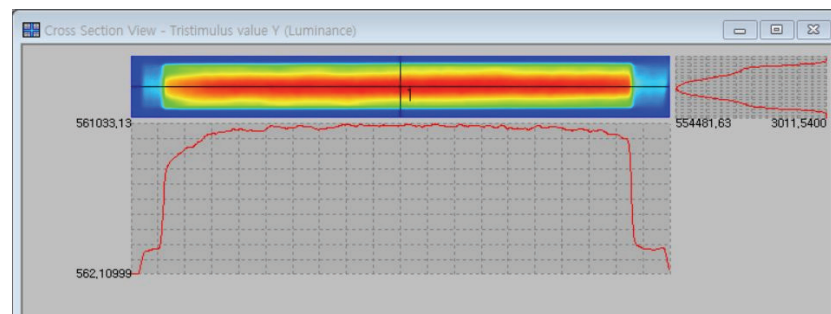
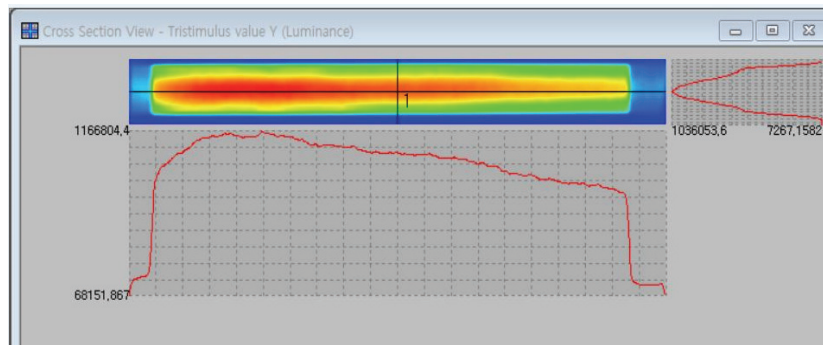
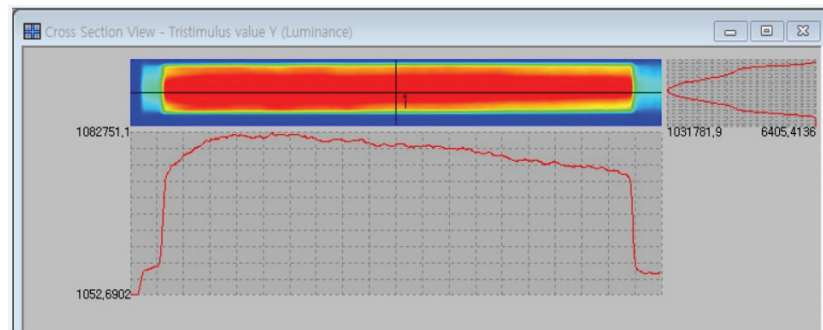


Fig. 13. The measured light intensity profiles in the case of step=20. (a) Before calibration, (b) offset calibration, (c) slope calibration, and (d) offset and slope calibration.

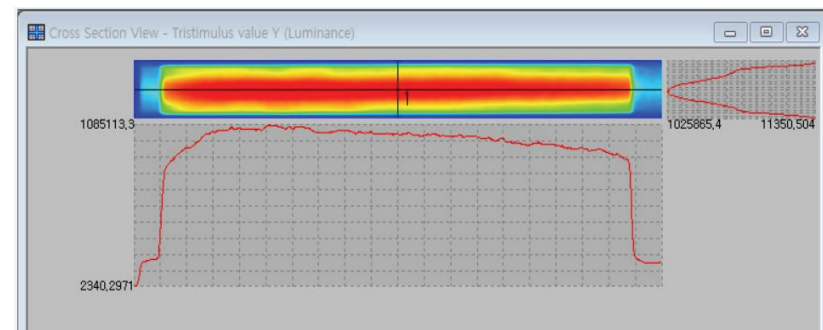
(a)



(b)



(c)



(d)

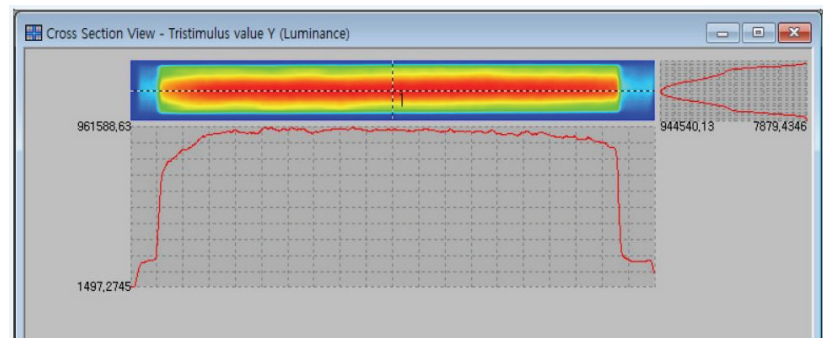
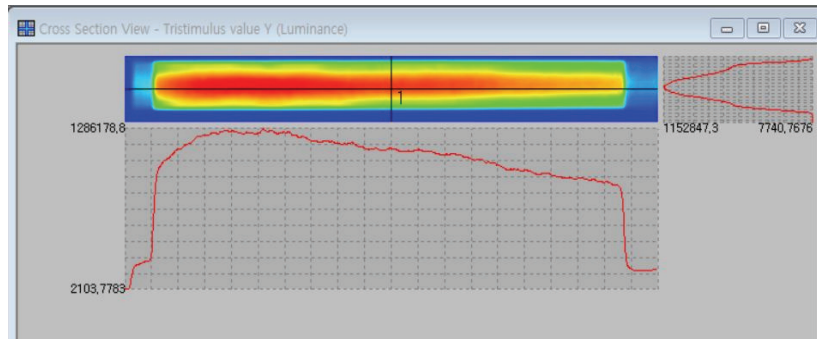
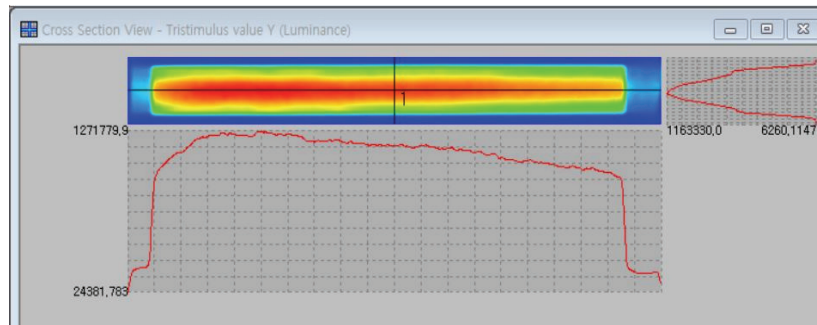


Fig. 14. The measured light intensity profiles in the case of step=80. (a) Before calibration, (b) offset calibration, (c) slope calibration, and (d) offset and slope calibration.

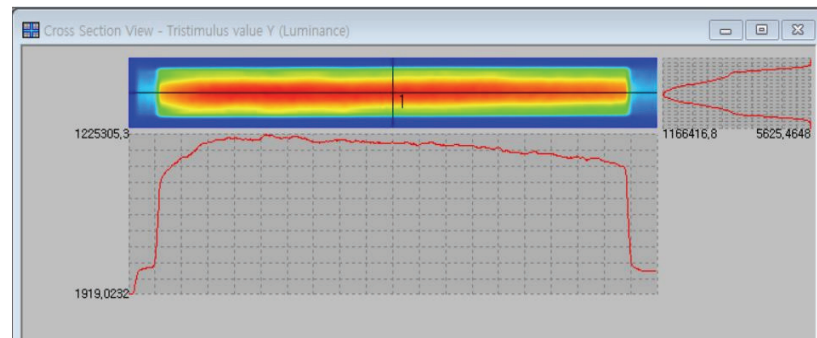
(a)



(b)



(c)



(d)

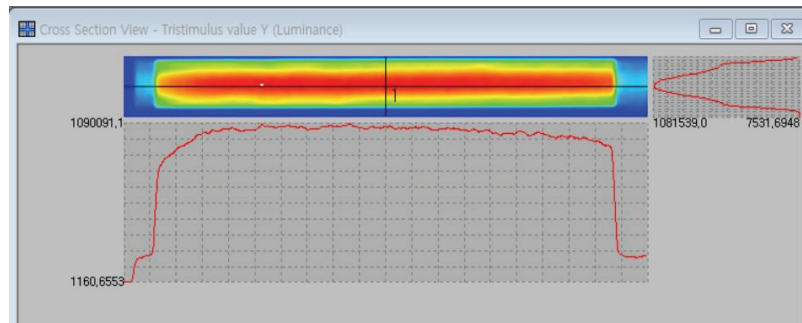


Fig. 15. The measured light intensity profiles in the case of step=100. (a) Before calibration, (b) offset calibration, (c) slope calibration, and (d) offset and slope calibration.

그리고 오프셋 보정과 기울기 보정을 동시에 수행한 경우이다. 앞에서 설명한 것처럼 스텝(step)이 작은 경우에는 오프셋 보정이 지배적이라는 것을 확인할 수 있다.

반면에 그림 14와 15를 보면 스텝이 80과 100으로 클 경우에는 오프셋 보정보다는 기울기 보정이 지배적임을 알 수 있다.

물론 오프셋과 기울기 둘 다 보정한 경우가 스텝 변화에 관계없이 휘도 분포의 균일도 개선이 가장 우수함을 알 수 있다.

5. 결론

머신 비전에 사용되는 라인 스캔 조명 시스템의 라인 스캔 광원에는 높은 광량과 우수한 휘도 균일도가 요구된다. 본 논문에서는 휘도 균일도 개선을 위하여 입력 전류 값에 따른 LED 램프의 개별 밝기 차이를 오프셋과 기울기를 변수로 하여 보정하였다. 입력 전류 값이 작은 저휘도에서는 오프셋 보정이 유리하고 전류 값이 큰 고휘도에서는 기울기 보정이 유리함을 확인하였다. 결론적으로 본 연구에서는 오프셋과 기울기 변수를 동시에 제어하여 입력 전류 값에 따른 LED 램프 개별 소자별 휘도 차이를 최소화하여 라인 스캔 조명 장치의 균일도를 최적의 값으로 얻을 수 있었다. 이러한 조명 장치를 적용하면 머신 비전이 필요한 검출 시료 측정에서 최적의 환경을 구현할 수 있으므로 검사의 효율성을 높일 수 있다.

ORCID

Cheon Lee

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

REFERENCES

- [1] J. Kim, S. Hong, S. Park, and M. Kang, *Proceedings of KIEE*, 1714 (2010).
- [2] Y. J. Park, *J. Digital Convergence*, **12**, 311 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.14400/jdc.2014.12.4.311>]
- [3] C. Kim, N. Choi, H. Lee, and E. Kim, *Proceedings of KIEE*, 1015 (2009).
- [4] H. Kim and H. Kim, *Trans. KIEE D*, **49**, 235 (2000).
- [5] 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>]
- [6] 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>]
- [7] L. Pérez, Í. Rodríguez, N. Rodríguez, R. Usamentiaga, and D. García, **16**, 335 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.3390/s16030335>]
- [8] 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>
- [9] H. L. Zhang, L. Peng, Y. K. Luo, and S. Yu, *Appl. Opt.*, **59**, 3518 (2020). [DOI: <https://doi.org/10.1364/ao.384833>]
- [10] X. Wu and G. Gao, *Appl. Opt.*, **57**, 1694 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.1364/ao.57.001694>]
- [11] O. Tetervenoks and I. Galkin, *Elektron. Elektrotech.*, **20**, 42 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.eee.20.6.7265>]
- [12] T. H. Kim and C. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **34**, 121 (2021). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2021.34.2.121>]
- [13] Z. Mao, L. Ge, and G. Hua, *Proc. 2013 10th China International Forum on Solid State Lighting (ChinaSSL)* (IEEE, Beijing, China, 2013). [DOI: <https://doi.org/10.1109/sslchina.2013.7177350>]
- [14] T. H. Kim and C. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **34**, 186 (2021). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2021.34.3.186>]