

그림자를 이용한 Mini-LED의 기울기 측정

이재혁, 김기승, 박윤창*
선문대학교 정보통신공학과

Tilt Measurement of Mini-LED Using Shadow

Jae-Hyuk Yi, Gi-Seung Kim, Yoon-Chang Park*

Department of Information and Communications Engineering, Sunmoon University

요약 본 논문은 그림자를 사용하여 Mini-LED의 기울기를 측정하는 방법을 제안한다. SMD의 일종인 Mini-LED는 주로 PCB에 일정 간격으로 실장되어 BLU 제작에 사용되고, 이러한 Mini-LED BLU는 LCD와 함께 TV와 모니터 제작에 사용된다. Mini-LED BLU에서 Mini-LED가 PCB에 경사져서 실장되면, Mini-LED의 가시광 조사 각도 또한 기울어지기 때문에 해당 Mini-LED 위치에서 디스플레이의 밝기 균일도가 저하 된다. 이러한 품질 저하를 방지하기 위해서 PCB에 실장된 Mini-LED의 자세를 검사하고, 불량 Mini-LED를 바로 잡아야 할 필요가 있다. Mini-LED에 사용될 수 있는 3D 측정의 경우, 대표적으로 모아레법과 PMP 방법이 고려될 수 있으나, Mini-LED 표면의 고반사 특성으로 인해 측정이 쉽지 않다. 또한 고반사 표면에 유리한 WSI 측정 방법은 세밀한 측정이 가능하지만, 생산현장에 적용하기에는 검사 시간이 너무 많이 소요된다. 따라서 산악과 건물의 높이를 측정하기 위해 사용되는 그림자를 이용한 측정 기술을 응용하여 Mini-LED의 기울기를 측정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 2장의 이미지와 간단한 영상처리를 사용하여 Mini-LED의 기울기를 측정한다. 또한 이를 위해 흑백 카메라, 평행광 LED 조명 및 X-Y축 이송 시스템을 이용한 시스템이 고안되었다. 제안된 방법과 WSI 방법의 결과를 비교한 결과 X 방향 기울기 차이는 0.022~1.048도였으며, Y 방향 기울기 차이는 0.003~0.588도였다.

Abstract Moiré methods and PMP methods are typically considered for 3D measurements that can be used for Mini-LEDs. However, measuring them is not easy due to the highly reflective nature of a Mini-LED surface. The WSI method is favorable for highly reflective surfaces and allows for detailed measurements, but it is too time-consuming for practical application in production environments. Therefore, a method is proposed for measuring the tilt of Mini-LEDs by using shadows, which is similar to the measurement of the heights of mountains and buildings. The proposed method employs two images and simple image processing to measure the tilts of Mini-LEDs. To achieve this, a grayscale camera, parallel LED illumination, and an X-Y axis translation system were used. The results of the proposed method were compared with those of the WSI method, which showed an X-direction tilt difference of 1.048 to 0.022 degrees and a Y-direction tilt difference of 0.588 to 0.003 degrees.

Keywords : Mini-LED, Shadow, Height, Tilt, WSI, BLU, LCD

*Corresponding Author : Yoon-Chang Park(Sunmoon Univ.)

email: y0827cc@hanmail.net

Received June 19, 2023

Accepted August 10, 2023

Revised August 4, 2023

Published August 31, 2023

1. 서론

근래의 디스플레이 산업에서는 LCD가 대부분을 차지하고 있으며, 화질 개선을 위한 다양한 기술이 개발되고 있다. 특히 LED BLU(Light Emitting Diode Back Light Unit)에서는 기존에 광원으로 사용되던 SMD(Surface Mount Device) LED에 비해 크기가 1/10 수준으로 축소된 Mini-LED가 적용되면서 더 정교한 Local Dimming이 가능하게 되었다[1-3]. 이러한 Mini-LED BLU에서 Mini-LED가 PCB에 경사져서 실장되면, Mini-LED에서 LCD로 조사되는 광이 기울어지고, 이는 디스플레이의 해당 위치에서 밝기 저하와 같은 화질에 부정적인 영향을 일으키게 된다. 이러한 품질 저하를 방지하기 위해서 PCB에 실장된 Mini-LED의 실장 자세를 검사하고 불량 Mini-LED를 바로 잡아야 할 필요가 있다. 통상적으로 0.1~0.5mm의 크기를 갖는 Mini-LED는 입체적인 형상을 이용한 기울기를 측정이 필요하며, 이때 사용될 수 있는 3D 측정에는 주로 모아레법과 PMP(Phase Measuring Profilometry)법이 등이 고려될 수 있지만, Mini-LED 표면의 고반사 특성 때문에 측정이 쉽지 않다[4,5]. 또한, 고반사 표면에 유리한 WSI(White light Scanning Interferometer) 측정법은 Mini-LED의 세밀한 형상 측정이 가능하지만[6,7], 측정 소요 시간이 너무 길어서 생산 현장에 적용하기에는 무리가 있다. 본 논문에서는 주로 산악 및 건물의 높이 측정을 위해 사용되던 방법인 그림자 길이를 이용한 높이 측정법을 응용하여 Mini-LED의 기울기를 측정하는 방법이 제안되었다[8-10]. 또한 본 논문의 방법으로 측정된 결과를 WSI 측정법의 측정 결과와 비교하여 효용성 검토가 진행되었다.

2. 본론

2.1 그림자를 이용한 높이 및 기울기 계산

조명 S_1, S_2 에 의해 드리워진 Mini-LED의 그림자가 Fig. 1과 같을 때, Mini-LED의 높이 h 와 그림자 길이 L , 조명의 조사각도 θ 의 관계식은 다음과 같다.

$$h = \tan(\theta) * L \tag{1}$$

Where, h denote height, θ denote Projection angle, L denote Shadow length

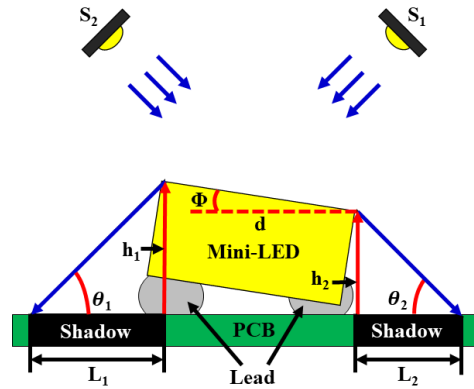


Fig. 1. Measuring Method the Height and Tilt of Mini-LEDs

또한, Mini-LED의 기울기 ϕ 와 Mini-LED의 두 높이의 차이 $|h_1-h_2|$, 두 높이의 사이의 거리 d 의 관계식은 다음과 같다.

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{|h_1 - h_2|}{d}\right) \tag{2}$$

Where, ϕ denote tilt, h denote height, d denote distance of between height

2.2 실험 장치 구성

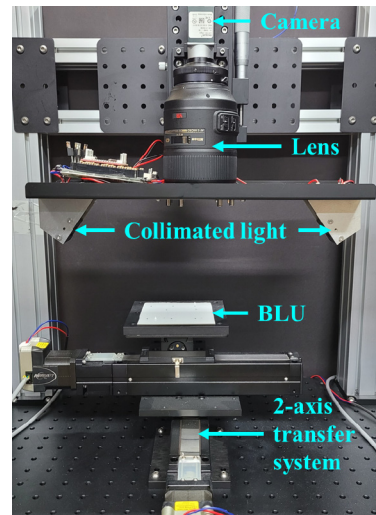


Fig. 2. Prototype system of the method proposed in this paper

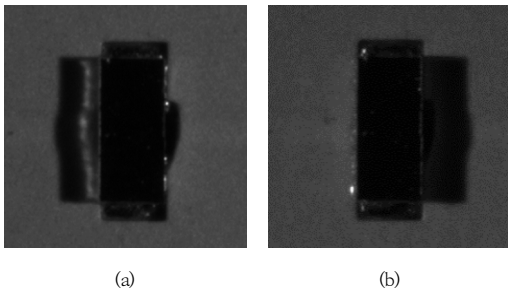


Fig. 3. Captured images with our system
(a) Light from right side (b) Light from left side

Mini-LED의 기울기를 측정하기 위해 본 논문에서는 Fig. 2와 같은 시스템이 제작되었다. 이러한 시스템은 3.75 μm 의 픽셀 크기 및 1.3MP 해상도를 갖는 흑백 카메라와 1:1의 확대비를 갖는 렌즈, 그리고 파장 450nm의 고휘도 LED(5W)를 이용하여 평행광 조명으로 구성되어 있고, LED는 카메라의 노출 순간에 맞추어 ON되도록 제작되었다. 측정 프로브의 위치제어에는 2상 스테핑 모터와 LM 가이드로 구성된 X-Y축 이송 시스템, 시스템 제어용 PC가 사용되었다. 이러한 시스템으로 촬영된 Mini-LED의 이미지가 Fig. 3과 같이 나타나며, 여기서 그림자와 Mini-LED, 납 등의 요소를 확인할 수 있다. 이러한 요소들의 대략적인 영역은 아래 Fig. 4와 같이 나타난다. 본 실험에 사용된 BLU용 PCB(60x60mm)에는 Mini-LED 크기(길이, 폭, 높이, 단위 = 0.4, 0.2, 0.1, mm)에 비해서 충분히 넓은 간격(10mm)으로 배치되어 있어서, 그림자의 간섭 등의 문제는 발생 되지 않았다.

2.3 영상처리

2.3.1 ROI(Region Of Interest) 설정

Fig. 4에 표시된 이미지 전체에서 그림자의 경계를 검출하려면 계산시간이 많이 소요되기 때문에, 획득된 이미지에서 그림자의 경계가 위치할 곳을 예측하고, 그곳에 ROI를 설정함으로써 계산시간이 단축되도록 하였다. ROI 영역 설정은 Mini-LED 중심을 기준으로 PCB의 굴곡과 같은 경계 검출을 어렵게 하는 요소를 피해서 Fig. 5와 같이 설정되었다. 이때 사용된 Mini-LED 중심은 Mini-LED 영역의 무게중심이다.

2.3.2 경계 검출

ROI 이미지 내부에서 Mini-LED 및 그림자의 경계를 검출하기 위해, 본 논문에서는 라플라시안 경계 검출 알

고리즘과 기존의 Sub-Pixel 알고리즘을 적용했다[11,12]. 본 논문에서 이러한 두 알고리즘은 ROI 이미지에 2차 미분을 적용하고, 그러한 이미지의 경계 부근의 영교차(zero-crossing) 지점을 찾아 선형 보간 하는 방법으로 구현된다.

2.3.3 그림자 길이 및 기울기 계산

검출된 경계점들을 바탕으로 계산된 선형 회귀 직선과 이러한 회귀 직선들의 교점을 Fig. 6에 나타냈다. 본 논문에서는 Mini-LED의 꼭짓점과 해당 그림자의 꼭짓점 사이의 거리를 그림자 길이로 Eq. (1)에 대입하여 Mini-LED의 꼭짓점의 높이를 구했다. 이렇게 구해진 Mini-LED의 4개 꼭짓점의 높이차를 이용하여 Eq. (2)에 의해 Mini-LED의 기울기가 구해지고, 4개 꼭짓점의 평균으로 Mini-LED의 평균 높이가 계산된다.

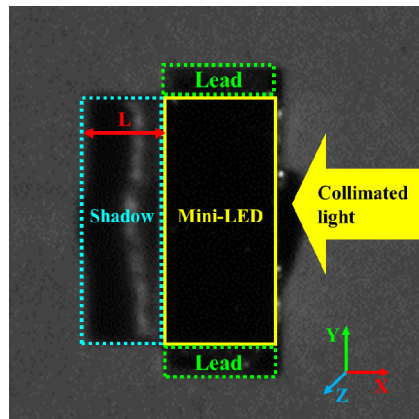


Fig. 4. Composition of captured images

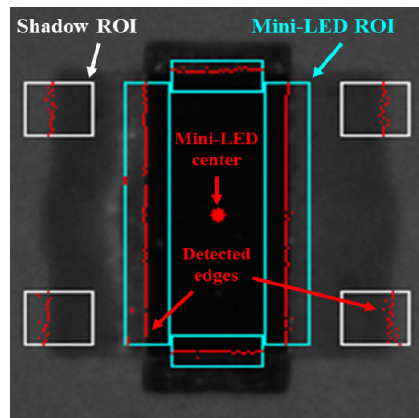


Fig. 5. Mini-LED center, ROI area and detected edge

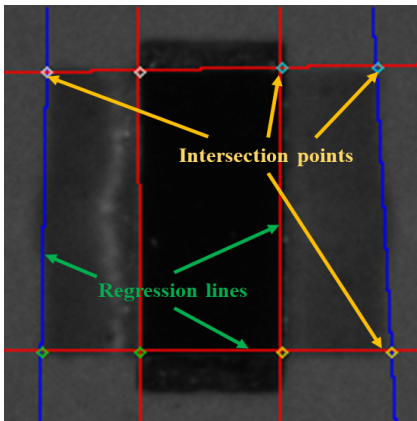


Fig. 6. Regression line and intersection point

2.4 실험 결과 및 고찰

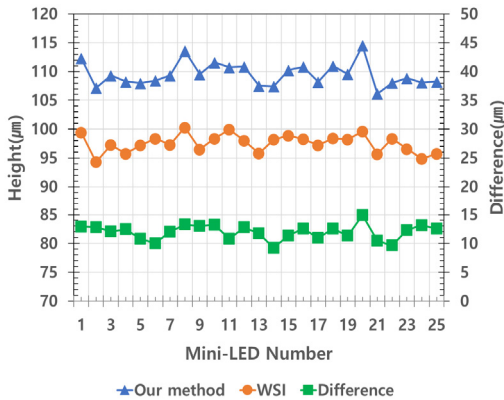


Fig. 7. Measured Height of Mini-LED

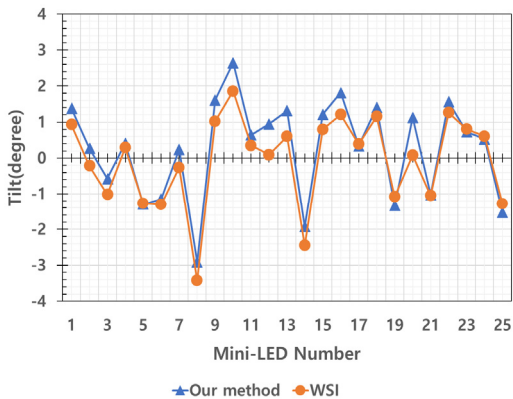


Fig. 8. Measured Tilt in the X direction

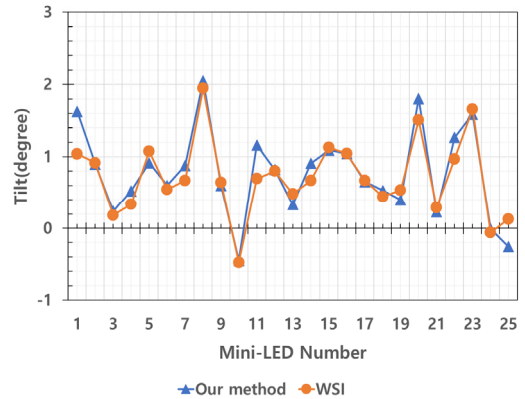


Fig. 9. Measured Tilt in the Y direction

Table 1. Error for our method

Spec.	Difference Average
Center Height	11.9708(μm)
X Direction Tilt	0.3353(degree)
Y Direction Tilt	0.0644(degree)

본 실험에서는 PCB에 실장된 Mini-LED(Size: 200x400x100 μm) 25개가 본 논문의 측정법과 WSI 측정법으로 각각 측정되었고, 두 방법으로 측정된 Mini-LED의 중심 높이 및 Mini-LED의 기울기가 비교되었다. Fig. 7-9는 Mini-LED의 중심 높이와 X 및 Y 방향 기울기에 대한 두 측정 방법의 결과를 각각 나타낸다. 또한, Table 1은 중심 높이와 X 및 Y 방향 기울기에 대해서 두 측정 방법의 평균적인 차이를 나타낸다.

Fig. 7에서 나타난 높이 차는 대부분이 약 12 μm 로 나타났다는데, 이러한 원인은 Mini-LED 윗면을 구성하는 투명한 사파이어에 의한 것으로 추정된다. 또한, Fig. 8에서 X 방향 기울기 차이는 0.022~1.048도였으며, Fig. 9에서 Y 방향 기울기 차이는 0.003~0.588도였다.

본 실험에서 사용된 시편에 있는 25개의 Mini-LED를 검사하는데 24Sec의 시간이 소요되었는데, 프로브의 이송시간을 제외한 나머지 시간, 즉 이미지 획득 및 계산에 소요되는 시간은 Mini-LED 1개당 54mSec로 측정되었다. WSI에서는 간섭무늬를 스캐닝하는 과정에서 1Sec 전후의 시간이 소요되는 반면에, 본 실험에서는 54mSec의 시간에 측정이 완료되고 있어서, 검사속도면에서 큰 장점이 있는 것으로 보인다.

고가의 정밀 광학부품으로 간섭무늬를 형성시키고, 이를 스캐닝하기 위한 PZT 구동축 등의 구비가 필요한

WSI방식에 비해서, 본 논문에서 제안하는 방식에서는 구성 요소들이 단순하여 저렴한 비용으로 측정 프로브를 제작하는 것이 가능할 것으로 보인다.

3. 결론

본 논문에서는 그림자를 이용하여 Mini-LED의 기울기를 측정하는 방법이 제안되었고, 이를 위한 측정 시스템이 고안되었다. 또한 Mini-LED를 제안된 방법과 WSI 측정법으로 측정된 높이와 X 및 Y 방향의 기울기 값이 비교되었다. 본 논문에서 제안된 방법은 WSI에 비해서 정확도는 다소 부족하지만, 검사 시간이 1초 정도로 소요되는 WSI와 비교할 때 제안된 방법의 소요 시간은 54ms로 고속 검사에 유리하고, 검사에 단 2장의 이미지가 사용되기 때문에 현장 적용 가능성이 클 것으로 예상된다. 또한 구조적으로 단순하여 프로브를 구성하는 비용도 WSI에 비해 현격하게 저렴할 것으로 보인다.

향후 연구에서는 제안된 방법으로 측정된 높이 값의 경향이 WSI와 유사하다는 점에 착안하여, 제안된 측정 결과에 선행적인 교정이 적용된 값을 WSI 측정 결과와 비교하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

[1] Z. Gao, H. Ning, R. Yao, W. Xu, W. Zou, "Mini-LED Backlight Technology Progress for Liquid Crystal Display", *Journal of Crystals*, Vol.12, No.3, pp.313, February, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst12030313>

[2] Y. Huang, E. L. Hsiang, M. Y. Deng, S. T. Wu, "Mini-LED, Micro-LED and OLED displays: present status and future perspectives", *Light: Science & Applications*, Vol.9, No.115, June, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41377-020-0341-9>

[3] H. Chen, T. H. Ha, J. H. Sung, H. R. Kim, B. H. Han "Evaluation of LCD local-dimming-backlight system", *Journal of the Society for Information Display*, Vol.18, No.1, pp.57-65, June, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1889/JSID18.1.57>

[4] J. M. Koo, T. H. Cho, "3-D Measurement of LED Packages Using Phase Measurement Profilometry", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol.10, No.1, pp.17-22, March, 2011.

[5] Y. D. Kim, T. H. Cho, "A 3D Measurement System for the Leads of Semiconductor Chips Using Phase Measuring Profilometry", *Journal of the Korea Information*

Processing Society, Vol.18, No.2, November, 2011.
UCI: I410-ECN-0102-2022-500-000447557

[6] K. I. Kim, D. Y. Lee, Y. H. Ko, "Improved 3D Shape Measurement Scheme for White Light Phase Shifting Interferometry", *The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol.47-SP, No.2, pp.51-60, March, 2010.

[7] K. Zhang, S. Choi, O. Sasaki, S. Luo1, T. Suzuki, "Shape measurement of large thickness glass plates with a white-light scanning interferometer using a compensation glass and a fixed reference surface", *Engineering Research Express*, Vol.3, No.2, pp.44, June, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ac09d8>

[8] C. S. Ye, K. H. Lee, "Building Using Shadow Information in KOMPSAT Satellite Imagery", *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, Vol.16, No.3, pp.235-242, September, 2000.
DOI: <https://doi.org/10.7780/kjrs.2000.16.3.235>

[9] T. Y. Lee, T. J. Kim, Y. J. Lim, "Extraction of 3D Building Information using Shadow Analysis from Single High Resolution Satellite Images", *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol.29, No.3, pp.499-508, October, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7780/kjrs.2013.29.5.5>

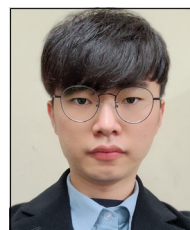
[10] Rada Giacaman, Camilo Andrés, "High-Precision Measurement of Height Differences from Shadows in Non-Stereo Imagery: New Methodology and Accuracy Assessment", *Remote Sensing*, Vol.14, No.7, pp.1702, April, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14071702>

[11] P. A. Mlsna, J. J. Rodríguez, *The Essential Guide to Image Processing*(Second Edition), p.814, 2009, pp.495-524
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374457-9.00019-6>

[12] J. Forest, J. Salvi, E. Cabruja, C. Pous, "Laser stripe peak detector for 3D scanners. A FIR filter approach", *IEEE*, Vol.3, No.17, pp.646-649, August, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICPR.2004.1334612>

이 재 혁(Jae-Hyuk Yi)

[준회원]



• 2021년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 (석사과정)

<관심분야>

3D 측정, 컴퓨터비전

김 기 승(Gi-Seung Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 선문대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 (박사과정)

<관심분야>

3D 측정, 컴퓨터비전

박 윤 창(Yoon-Chang Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한국과학기술원 생산공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 정밀공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

정밀기계, 3D 측정