

# A Study on Image Distortion Correction for Gobo Lighting Optical System

Gyu-Ha Kim, Ji-Hwan Lee, Chang-Hun Lee, and Mee-Suk Jung<sup>†</sup>

Department of Nano-semiconductor Engineering, Tech University of Korea, Siheung 15073, Korea

(Received March 8, 2023; Revised March 16, 2023; Accepted March 19, 2023)

This paper studies a method of applying pre-distortion to the image mask of the gobo illumination optical system to correct an irradiated image and irradiate a clear image. In the case of the gobo illumination optical system, since it is generally irradiated with a tilt, distortion in the upper and lower directions occurs severely in the image. To solve this problem, the correction coordinates of the image were derived using a proportional equation, and the distortion was corrected by applying them to the image mask. As a result, it was confirmed that the distortion was reduced by 64.5% compared to the case of using the existing image mask.

**Keywords:** Distortion correction, Gobo lighting, Pre-distortion

**OCIS codes:** (110.2945) Illumination design; (220.1000) Aberration compensation

## 고보 조명 광학계의 이미지 왜곡 보정에 관한 연구

김규하 · 이지환 · 이창훈 · 정미숙<sup>†</sup>

한국공학대학교 나노반도체공학과

☎ 15073 경기도 시흥시 산기대학로 237

(2023년 3월 8일 받음, 2023년 3월 16일 수정본 받음, 2023년 3월 19일 게재 확정)

본 논문은 고보 조명 광학계의 image mask에 사전 왜곡을 적용하여, image를 선명하게 조사 및 보정하는 방법을 연구하였다. 고보 조명 광학계의 경우, 일반적으로 기울여 조사되는 경우가 많기 때문에 image에서 상·하 방향의 왜곡이 심하게 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 비례식을 이용해 image의 보정 좌표를 도출하고, 이를 image mask에 적용하여 왜곡을 보정하였다. 그 결과, 기존 image mask를 사용하였을 경우에 비해 왜곡이 64.5% 감소되는 것을 확인하였다.

**Keywords:** 왜곡 보정, 고보 조명, 사전 왜곡

**OCIS codes:** (110.2945) Illumination design; (220.1000) Aberration compensation

### I. 서 론

고보 조명(Gobo light)은 고보라고 불리는 image mask에 빛을 투영하여 원하는 글자나 도형과 같은 image를 바닥에 조사하는 광고 조명 기술의 하나로서<sup>[1]</sup>, 교육 및 프로젝트용으로 쓰이는 빔 프로젝터와 비슷한 원리를 가진다<sup>[2]</sup>. 이 조명 기술은 효과적인 정보 전달을 목적으로 하기 때문에 영리와 비

영리적 목적을 가리지 않고 널리 사용된다. 특히 지자체에서 고보 조명을 이용한 image를 조사하여 지역의 상징성을 높이고, 공익 문구 등을 홍보하는 데 많이 사용하고 있다.

고보 조명은 일반적으로 신호등과 같이 높은 위치에 장착하여 바닥 또는 벽면으로 조사하는 형태이다. 이때 조명이 이용자의 요구 및 환경에 의해 기울어져 조사되는 경우, 조사되는 image가 왜곡(distortion)되는 현상이 발생한다. 왜곡된

<sup>†</sup>Corresponding author: [msoptic@tukorea.ac.kr](mailto:msoptic@tukorea.ac.kr), ORCID: 0000-0003-3430-876X

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

image는 부정확한 의사 전달을 유발하기 때문에 이를 보정하는 것이 필요한데, 기존의 보정 방법으로는 키스톤(keystone) 보정, 렌즈 시프트(lens shift) 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 고가의 광학 장비를 사용해야 하며 image의 화질 열화가 발생한다는 단점이 있다<sup>[3,4]</sup>.

따라서 본 논문에서는 상용화되어 있는 고보 조명의 높이와 각도에 따른 광학계를 설계하였으며, image mask에 사전 왜곡을 적용하여 바닥면에 조사되는 image의 왜곡을 보정하고, 선명한 image를 조사하는 방안을 제시하였다.

## II. 본 론

### 2.1. 결상광학계 소프트웨어를 이용한 고보 조명 광학계 설계

본 논문에서 사용된 광학계는 그림 1과 같이 순서대로 광원, 조명 광학계, mask, projection 광학계로 구성하였다. Mask는 지름 20 mm의 원형이며, 그림 2와 같이 최종적으로 조사하고자 하는 image가 적용되어 있다. Image는 방향에 대한 정보를 전달하는 것으로, 실제 고보 조명의 역할을 적용하고자 하였다.

광학계는 그림 3과 같이 높은 위치에 장착되어 조사되기 때문에 상용화되어 있는 고보 조명의 높이, 각도를 고려하여 image의 조사거리와 크기를 설정하였다. 본 연구에서 사용된 고보 조명 광학계는 높이 3 m, 각도 40°, image 크기 2 m를 갖는다. 이 때, 광학계는 28.5°의 화각, NA = 0.2를 갖는다. 광학계가 40°의 각도를 가지고 조사되는 경우 maximum distortion = 65%를 가지며, mask를 보정한 후에는 maximum distortion = 3% 범위 내 값을 갖는다.

### 2.2. 조명광학계 소프트웨어를 이용한 Image 분석

조명 광학계 소프트웨어를 이용하여 분석한 광학계의 조도

simulation 결과를 그림 4, 5에 나타내었으며 각각 광학계가 tilt되지 않은 경우와 광학계가 40° tilt되어 image를 조사한 경우를 나타낸다.

앞선 그림 3과 같이 광학계가 3 m 위치에 장착되어 약 40° 기울어져 조사되기 때문에, 기존의 원형 image가 타원으로

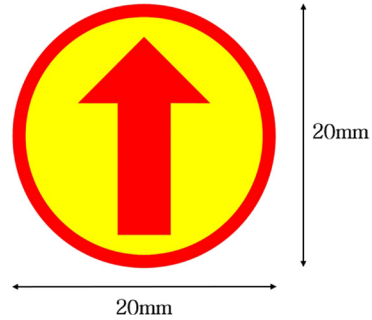


Fig. 2. Image of the gobo mask.

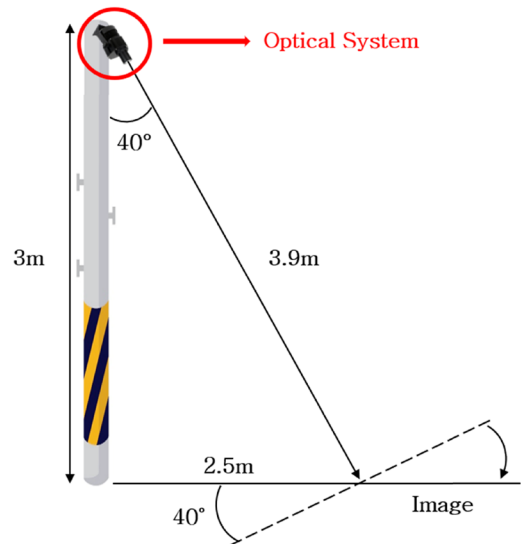


Fig. 3. Design conditions of the gobo optical system.

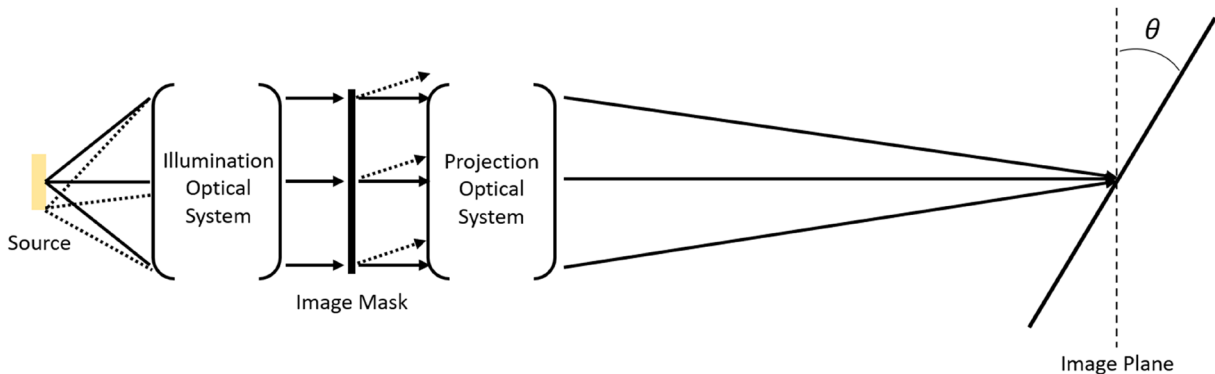


Fig. 1. Layout of the gobo optical system.

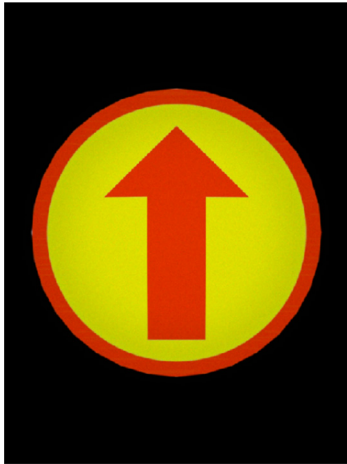


Fig. 4. Image without tilt.



Fig. 5. Image with 40° tilt.

왜곡되는 기하적인 왜곡 현상이 발생한다. 한 쪽 방향으로의 tilt가 발생하는 경우 x축 방향으로의 왜곡은 거의 발생하지 않으며, y축 방향으로의 왜곡이 더 크게 발생한다. 이때 왜곡된 image의 y축 size가 기존 2 m에서 2.7 m로 증가한 것을 알 수 있다.

표 1은 tilt된 광학계에서 mask의 +y field 및 -y field 별 왜곡을 나타낸다. 왜곡을 도출하는 식은 식 (1)과 같다. 식에서  $y_{ref}$ 는 image의 reference chief ray height 값을 나타내며,  $y_{chief}$ 는 real chief ray height 값을 나타낸다. 본 광학계에서 reference chief ray height는 원래 연고자 하는 2 m의 절반 값인 1 m로 설정하였다. Image에서 y축으로 상·하 방향에서 각각 왜곡을 산출하였으며, maximum distortion은 maximum field -10.00 mm 기준 65%, +10.00 mm 기준 5%를 가지는 것을 확인하였다. 왜곡된 image는 정확한 정보 전달이 어려우므로 이를 보정하는 방안이 필요하다.

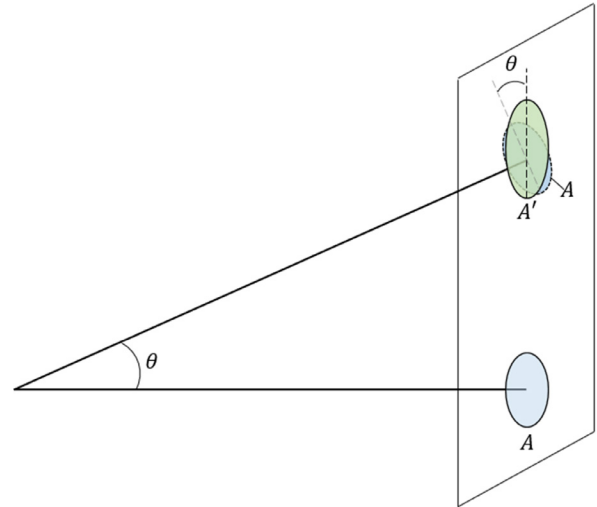


Fig. 6. Size of image according to angle.

Table 1. Parameters of the correction coordinate for the gobo optical system

Parameter	+ $y_{ref}$	+ $y_{chief}$	- $y_{ref}$	- $y_{chief}$
(x, y) (mm)	(0, -1,000)	(0, -1,050)	(0, 1,000)	(0, 1,650)
Distortion (%)	5		65	

$$\text{Distortion (\%)} = \left( \frac{y_{chief} - y_{ref}}{y_{ref}} \right) \times 100 \quad (1)$$

### 2.3. Image 왜곡 보정 방안 - 사전 왜곡 적용 방안 제시

일반적인 고보 조명의 경우, 왜곡을 방지하기 위해 바닥면과 수직으로 고보 조명을 설치하거나, 사용자가 원하는 위치에 설치하고 왜곡되는 image를 어떠한 조치 없이 그대로 사용한다. 본 논문에서 제시하는 왜곡 보정 방안은 mask에 사전 왜곡을 적용하는 것이다. 이때 x축 방향으로의 왜곡은 거의 없으므로, y축 방향에 대한 왜곡만 고려하고자 한다<sup>[5]</sup>.

Mask에 사전 왜곡을 적용하는 방법은 다음과 같다. 그림 6과 같이 광학계가 40° tilt되어 조사되는 경우, image의 크기는 식 (2)와 같이 적용되어 2.61 m를 갖는다. 이는 측정된 image의 크기인 2.7 m와 유사함을 확인할 수 있다.

$$A = A' \times \cos \theta, \quad A' = A \times (\cos \theta)^{-1} \quad (2)$$

Image의 크기가 기존 2 m에서 2.7 m로 증가했기 때문에 mask에 사전 왜곡을 적용한다면 image의 왜곡을 보정할 수 있다. Image의 크기는  $(\cos \theta)^{-1}$ 의 비율을 가지므로, mask의 크기는  $\cos \theta$ 의 비율로 보정된다. 기존 mask의 크기는 20 mm이므로, 이를 식 (3)에 적용한다면 mask의 보정된 크기는

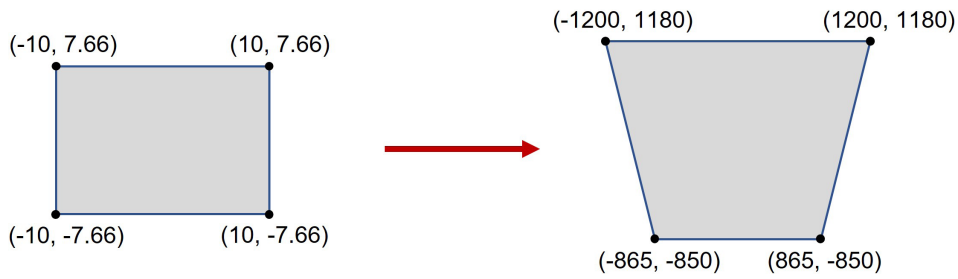


Fig. 7. Coordinates of the mask and image.

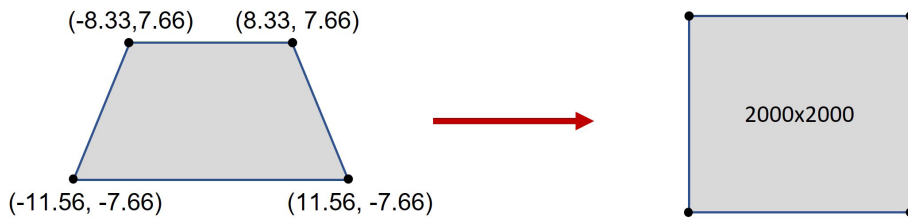


Fig. 8. Final coordinates of the mask and image.

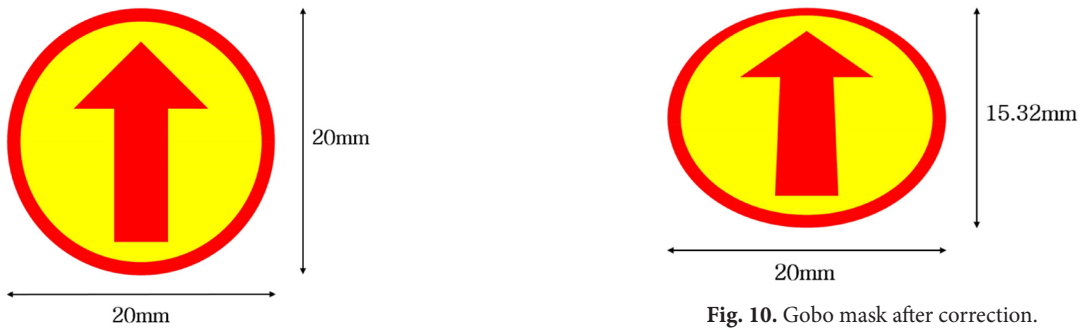


Fig. 9. Gobo mask before correction.

Fig. 10. Gobo mask after correction.

15.32 mm이다.

$$h' = h \times \cos \theta \quad (3)$$

그림 7은 mask의 height를 15.32 mm로 적용하였을 때의 조도 simulation에 따른 image의 좌표를 나타낸 것이다. Image height의 경우 2.03 m를 가지므로, 기존 왜곡되었던 2.7 m에서 최종적으로 원하는 2 m의 크기에 가까워진 것을 확인할 수 있다.

최종 image가 완벽하게 보정되기 위해서는 mask의 비율을 역사다리꼴로 보정해야 한다. 이를 위한 mask의 좌표를 도출하는 과정은 다음과 같다. 우선 원하는 image의 크기와 조사된 image의 크기의 비율을 계산하여 mask에 적용하는데, 이를 적용하는 과정은 식 (4), (5)와 같다. 이 때,  $x_i, y_i$ 는 각각 보정하고자 하는  $x, y$  좌표를 나타내며,  $x_r, y_r$ 는 각각 실제 image의  $x, y$  좌표를 나타내고,  $x_m, y_m$ 는 각각 mask의 실제 size를 나타낸다.

$$x = x_i/x_r \times x_m \quad (4)$$

$$y = y_i/y_r \times y_m \quad (5)$$

따라서 mask에 그림 8과 같이 좌표를 적용하여 최종 image의 왜곡을 보정할 수 있다.

## 2.4. Mask의 사전 왜곡 적용 및 결과

고보 조명 광학계가 기울어져 조사되어 발생하는 image의 왜곡을 보정하기 위해 보상 좌표계를 도출하여 mask에 사전 왜곡을 적용하였다. Mask의 size는 그림 9, 10과 같이 기존 지름 20 mm를 갖는 원형에서 20 mm × 15.32 mm를 갖는 타원형으로 보정되었다.

그림 11은 사전 왜곡을 통해 보정된 최종 image를 나타낸다. Image의 size는 가장 왜곡이 많이 발생했던  $y$ 축 기준 2.7 m에서 2.03 m로 감소하였으며, maximum distortion 또한 기존 maximum field -10.00 mm 기준 65%에서 0.5%,



Fig. 11. Final image by the gobo mask.

+10.00 mm 기준 5%에서 2.5%로 감소하는 것을 확인하였다. 이 때, image의 상·하 방향에서의 밝기 차이가 존재하는 것을 확인하였는데, 이는 조사면이 기울어져 있으므로 발생하는 결과이다. 결과적으로, 고보 조명 광학계의 기울어진 각도에 따른 image 왜곡 현상을 mask의 사전 왜곡 적용 방법을 통해서 충분히 보정할 수 있음을 확인하였다.

### III. 결 론

본 논문은 고보 조명 광학계에서 빛이 기울어져 조사되기 때문에 발생하는 image의 왜곡을 줄이기 위한 방법으로서 사전 왜곡을 적용하는 방법을 제시하였다. 광학계가 높은 위치에서 기울어져 조사되는 경우 image는 상·하 방향의 왜곡이 가장 크게 발생하게 되므로, 비례식을 이용해 image의 보정 좌표를 도출하여 mask에 적용하였다. 그 결과, image의  $y$  field의 maximum distortion이 기존 65%에서 0.5%로 줄었으며, mask의 원본과 가장 유사하게 나타나는 것을 확인하였다.

### 재정지원

저자들은 본 연구와 저자됨, 논문출판에 관련된 어떤 경제 지원도 공식적으로 받지 않았음을 밝힌다.

### 이해상충

저자는 본 논문과 관련된 어떠한 이해충돌 사항도 없었음을 밝힌다.

### 데이터 가용성

본 연구의 결과 분석 및 생성된 데이터는 모두 본 논문 내 명시되어 있으며 공공의 이용이 가능하다. 데이터에 접근하거나 사용하고자 하는 이는 저자에게 타당한 이유를 밝히고 허가를 득해 사용 가능하다.

### References

1. 빛공해 방지를 위한 광고조명 설치·관리 권고기준(2021. 8. 25) 제5조 6항.
2. T. K. Kim, "A study on smart warning triangle," J. Int. Things Converg. **4**, 37-41 (2018).
3. S. W. Lee, Y.-J. Song, and N. Kim, "A correction of the keystone distortion using the bilinear interpolation method in 3D stereoscopic images," Proc. Korea Contents Assoc. Conf. 524-527 (2006).
4. S.-C. Chun and I.-S. Koo, "Beam projector calibration system based on Zigbee," J. Inst. Int. Broadcast. Commun. **11**, 13-19 (2011).
5. J.-Y. Seo, H.-H. Lee, M.-S. Kong, H.-Y. Choi, and M.-S. Jung, "A study of the design of automotive communication lamps using microlens arrays," Korean J. Opt. Photonics **32**, 101-107 (2021).