

Study of the Reflector Shape of a Test Lamp for a Flame Detector with Little Influence of Error in Optical-system Fabrication

Hye-Jin Park, Dong-Hwa Kang, Mi-Seon Kong, Eun-Ji Kim,

Ye-Eun Lee, Ye-Ji Jo, and Mee-Suk Jung[†]

Department of Nano-optical Engineering, Korea Polytechnic University, 237, Sangidaehak-ro, Siheung 15073, Korea

(Received November 1, 2018; Revised November 20, 2018; Accepted November 21, 2018)

In this paper, a design method to reduce fabrication errors in reflector shape of a test lamp for a flame detector is carried out. Although the test lamp should be operated in parallel with a high-intensity light, it is difficult to fix the small reflector that controls the central light during fabrication. To solve these problems, a small spherical reflector is designed to minimize the performance degradation for a light loss factor of less than 5%, even during tilt and decenter, and a spherical shape is proposed for a small reflector with little effect on the error when designing the optical system.

Keywords: Reflector, Flame detector, Test lamp, Manufacturing error, Spherical
OCIS codes: (040.1880) Detection; (120.1880) Detection; (120.5700) Reflection

광학계 제작 시 오차 영향이 적은 불꽃감지기용 테스트램프 반사경 형상에 관한 연구

박혜진 · 강동화 · 공미선 · 김은지 · 이예은 · 조예지 · 정미숙[†]

한국산업기술대학교 나노-광공학과
Ⓣ 15073 경기도 시흥시 산기대학로 237

(2018년 11월 1일 받음, 2018년 11월 20일 수정본 받음, 2018년 11월 21일 게재 확정)

본 논문에서는 불꽃감지기용 테스트램프의 반사경 형상에 대해 제작 시 오차를 줄일 수 있는 설계 방법 연구를 진행하였다. 테스트램프는 높은 광량의 빛을 평행하게 진행시켜야 하지만, 제작 시 중앙 빛을 제어하는 소형 반사경의 고정기가 어렵다는 단점으로 인해 광량 저하가 발생하여 목표 광량을 만족하지 못하는 경우가 많다. 이러한 문제점 해결을 위해 틸트 및 디센터 시에도 성능 저하 현상을 최소화하는 방향으로 광 손실률 5% 미만의 구 소형 반사경 설계를 진행하였고, 설계 분석 결과에 따라 광학계 제작 시에도 오차 영향이 적은 소형 반사경으로 구체 형상을 제시하였다.

Keywords: 반사경, 불꽃감지기, 테스트램프, 제작 공차, 구
OCIS codes: (040.1880) Detection; (120.1880) Detection; (120.5700) Reflection

I. 서 론

불꽃감지기란 불꽃에서 발생하는 특수한 파장을 감지하는 장치로, 화재를 초기에 신속히 탐지하여 인간이 인지 가능하도록 신호를 발생한다. 불꽃감지기용 테스트램프는 불꽃과 비슷한 파장대의 빛을 방사시키는 휴대용 조명 기구로, 불을 사용할 수 없는 장소에서도 충분히 성능 평가가 가능하다는 장점이 있어 불꽃감지기 성능 확인에 사용된다¹⁻⁴⁾.

실제 화재에 가까운 환경을 만들기 위해 테스트램프는 높은 광량의 빛을 평행하게 진행시키는 것이 중요하다. 하지만 중앙 빛을 제어하는 반사경의 위치를 정확하게 고정하는 것이 어렵다는 단점으로 인해 제작 시 성능이 크게 떨어져 충분한 기능을 하지 못하는 경우가 많다. 따라서 광학계 내부에 사용되는 반사경의 형상, 위치 및 제작 공차에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 조사거리 8000 mm, 조사영역 1000 mm ×

[†]E-mail: msoptic@kpu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-3430-876X

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

1000 mm에 대하여 소형 반사경 알파 5° 틸트, Y-Z 축 5 mm 디센터 시에도 최대 조도 650 lux 이상의 값을 만족하도록 설계를 진행하였고, 이에 따라 제작 시에도 오차 영향이 적은 반사경 형상을 선별하였다.

II. 본 론

2.1. 광 원

본 논문에서는 335 lm (20 W), 발광면 사이즈 3.5 mm (H) × 0.8 mm (W)를 가지는 할로겐 램프를 광원으로 선정하였다. 그림 1(a)와 같은 할로겐 램프는 백열전구의 한 종류로, 유리구 속에 할로겐 물질을 주입하여 텅스텐의 증발을 억제한 램프이다. 기존 백열전구와 같은 전력 소비로 더 밝은 빛을 내면서도 수명이 길고 크기가 작다는 장점이 있다⁵⁾. 할로겐 램프는 그림 1(b)와 같이 300~2400 nm의 넓은 파장대를 가지는데, 이는 화재 발생시 감지되는 대부분의 파장대역을 아우르기 때문에 불꽃감지기용 테스트램프의 광원으로 적합하다.

2.2. 기존 불꽃감지기용 테스트램프

본 논문에서 제안된 불꽃감지기용 테스트램프는 휴대용 조명 기구로, 실제 화재에 가까운 환경을 위해 반사경을 이용하여 높은 광량의 빛을 발산시켜야 한다. 따라서 해당 테스트램프는 소형이면서도 고성능의 특성을 가져야 한다.

그림 2는 불꽃감지기를 나타낸 개략도이며, 1차 대형 반사경, 2차 대형 반사경, 원뿔 형상의 소형 반사경으로 구성되어 있다.

원뿔 소형 반사경을 사용한 기존 불꽃감지기용 테스트램프의 성능 파악을 위해 시뮬레이션을 진행한 결과, 광학계를 지난 빛은 조사영역에 약 2.16°로 입사한다. 이때 1000 mm × 1000 mm 조사영역에서는 732 lux의 최대 조도를 가지며 그림 3과 같은 조도 분포를 보인다. 따라서 테스트램프 광학계를 통해 출사각이 작은 빛을 형성하여 원거리에서도 충분한 광량 확보가 가능함을 확인하였다.

테스트램프가 불꽃으로 감지되기 위해서는 직경이 300 mm 인 영역 A에서 평균조도 280 lux 이상을 만족해야한다. 불꽃 감지기용 테스트램프 사양은 표 1과 같다.

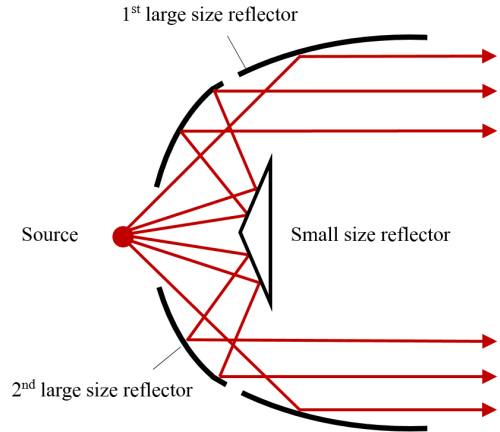


Fig. 2. Existing reflector shape for test lamp.

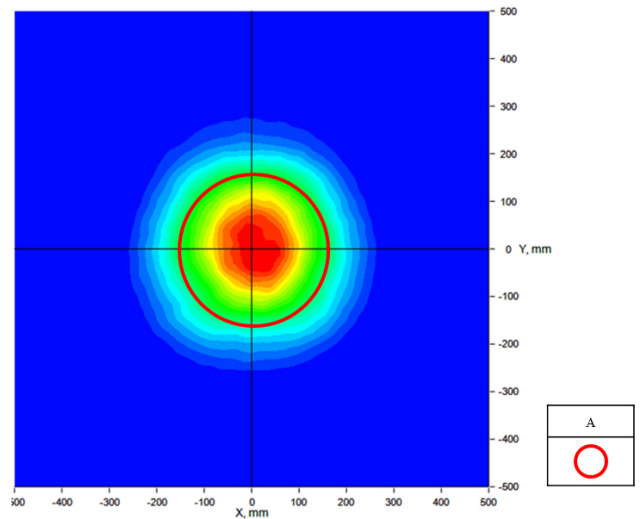
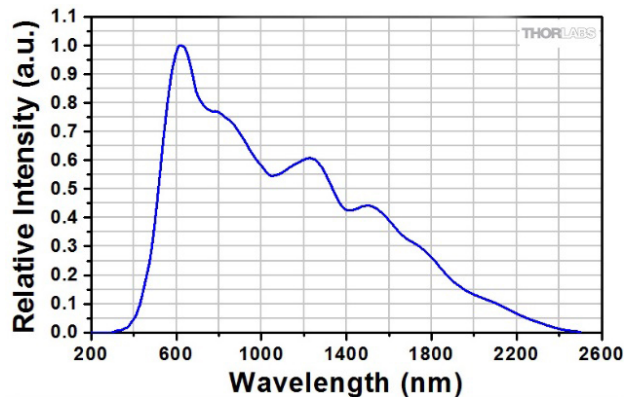


Fig. 3. Illuminance distribution of existing test lamp.



(a)



(b)

Fig. 1. Halogen lamp. (a) Halogen lamp shape, (b) Wavelength band graph.

Table 1. Specification of test lamp for flame detector

Parameter	Specification
Detecting distance	8000 mm
Average illuminance	>280 lux
Maximum illuminance	>650 lux

2.3. 기존 불꽃감지기용 테스트램프의 문제점

불꽃감지기용 테스트램프의 경우 일반적으로 광원에서 나오는 빛의 발산각이 작을수록 광량이 크다는 특성에 의해 작은 발산각의 빛을 조절하지 못할 시 큰 광량 손실이 발생하게 된다⁶⁾. 실제로 335 lm의 광출력을 가지는 할로겐 광원에서 0~25°의 발산각을 가지는 빛의 광량은 135 lm으로, 약 40%에 해당한다. 때문에 광원 바로 앞에 위치하여 발산각이 작은 광의 대부분을 제어하는 소형 반사경의 역할이 중요하다.

기존 불꽃감지기용 테스트램프에서 소형 반사경의 유무에 대한 시뮬레이션을 진행한 결과, 소형 반사경이 존재할 때의 최대 조도는 732 lux, 소형 반사경 없이 1차 대형 반사경만 존재할 때의 최대 조도는 291 lux 값을 가진다. 이를 통해 소형 반사경이 목표 사양을 만족하기 위한 필수 요소임을 알 수 있다.

기존의 테스트램프는 그림 2와 같이 원뿔 형상의 소형 반사경을 가지는데, 이 소형 반사경의 움직임으로 인해 설계 값과 측정 값 사이에 오차가 발생한다. 이는 반사경의 수광면이 원뿔 형태로 존재하여 작은 위치 변동에도 광경로가 크게 증가하기 때문이다. 확실한 위치 고정이 어려운 테스트램프의 소형 반사경 특성상, 원뿔 형태의 소형 반사경은 변화하는 광경로를 제어하기 힘들어 오차가 크게 발생하는 것이 불가피하다. 표 2는 기존 원뿔 형태의 소형 반사경이 불확실한 위치에 존재할 때, 조도를 분석한 결과이다. 최대 조도의 값이 사양보다 낮으므로 기존의 테스트램프는 제작 시 오차 영향이 크다. 따라서 틸트와 디센터 시에도 광량의 감소를 최소화할 수 있도록 곡면을 이용한 새로운 소형 반사경의 형상 연구가 필요하다.

2.4. 제작 오차 영향이 적은 소형 반사경

본 논문에서는 제작 시 오차 영향이 적은 새로운 소형 반사경으로 구 형상을 선정하였다. 일반적으로 사용되는 원뿔 형상 소형 반사경의 경우 틸트 시 광원에서 나오는 빛이 소형 반사경에 입사하는 각도가 달라지는 문제점이 발생하고, 그로 인해 2차 대형 반사경에 입사하는 각도까지 변화되어 결과적으로 8000 mm에 해당하는 조사거리에 광이 도달하지

Table 2. Analysis of an inaccurately positioned existing reflector test lamp

Parameter	Specification	Inaccurately positioned existing test lamp
Detecting distance	8000 mm	8000 mm
Average illuminance	>280 lux	253 lux
Maximum illuminance	>650 lux	627 lux

못하게 된다. 하지만 그림 4와 같은 구 형상은 틸트 시에도 빛의 도달 부분 및 입사각이 변하지 않아 2차 대형 반사경으로 진행하는 빛이 그대로 입사하게 되고, 먼 조사영역에서의 감지가 가능하다.

더불어 원뿔 형상 소형 반사경의 경우, 디센터 시 빛의 입사 각도는 달라지지 않지만 도달 부분이 달라지게 되어 해당 부분에서 발생하는 오류가 상쇄되지 못한다. 이는 곧 2차 대형 반사경에 입사하는 빛의 초점이 달라졌음을 의미한다. 하지만 구체의 형상을 사용할 경우 그림 5와 같이 디센터 발생 시 빛의 도달 부분이 달라짐과 동시에 입사하는 각도 또한 달라지게 되어 2차 대형 반사경 포물경 초점으로서의 위치 변화가 상쇄되는 효과가 생긴다.

따라서 틸트와 디센터 시에도 빛의 진행 방향에 대한 오차가 적은 구 형상의 소형 반사경을 이용하여 테스트램프 광학계를 설계하였다.

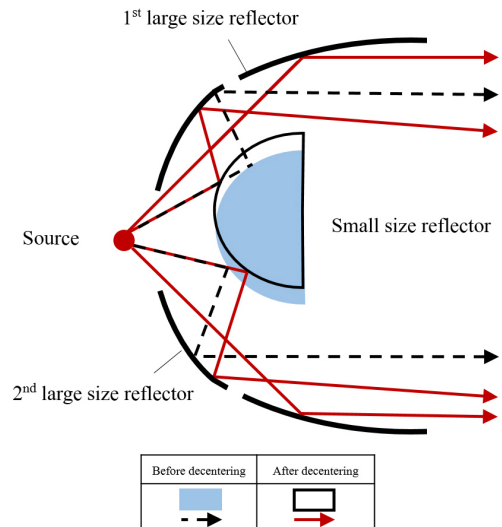


Fig. 4. Tilting spherical small size reflector.

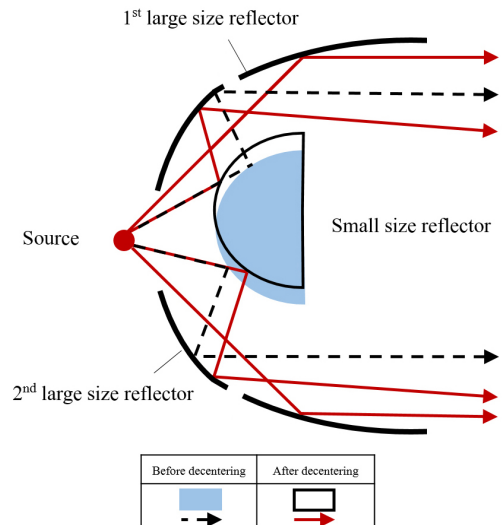


Fig. 5. Decentering spherical small size reflector.

2.5. 오차 영향이 적은 불꽃감지기용 테스트램프 반사경 설계

본 논문에서는 기존 불꽃감지기용 테스트램프의 소형 반사경 고정이 어려운 문제점을 해결하기 위해 구 형태의 소형 반사경을 선정하였고 1차, 2차 대형 반사경과 구체의 소형 반사경 설계를 진행하였다.

2.5.1. 1차 대형 반사경 설계

불꽃감지기용 테스트램프 광학계는 먼 거리에서 충분한 광량을 얻기 위해 평행광을 형성해야 한다. 따라서 포물선 형상을 이용한 반사경 설계를 통해, 광원을 초점에 위치하게 함으로써 8000 mm 떨어진 조사거리에 도달할 수 있도록 한다⁷⁾. 식 (1)은 (p, 0)를 초점으로 하고 x = -p를 준선으로 하는 포물선의 방정식이다.

$$y^2 = 4px \quad (\text{단, } p \neq 0) \quad (1)$$

할로겐 램프는 광원 자체의 크기가 크고, 구동을 위한 PCB가 추가로 필요하기 때문에 광원이 반사경 밖에 위치해야 한다. 할로겐 램프 광원에 알맞은 PCB 기판을 사용할 경우, 광원으로부터 17 mm 떨어진 지점에서 반지름 25 mm를 갖는 원기둥 형태 안쪽으로 60°의 빔만 진행 가능하다. 따라서 주어진 거리에 맞게 초점거리 17 mm, 포물선 방정식 $y^2 = 68x$ 인 포물 반사경을 설계하였다⁸⁾. 이러한 형태의 반사경은 1차 대형 반사경으로, 그림 6에서 확인할 수 있다.

테스트램프 광학계의 광원으로 사용되는 할로겐 램프가 1차 대형 반사경 밖에 위치하기 때문에 광원에서 0~60°로 발산하는 빔만 진행이 가능하다. 더불어 발산각이 작은 빛을 수용하기 위해서 반사경의 길이가 커져야 하므로 최적의 반사경 길이를 찾는 작업이 필요하다.

표 3에 따르면 광원에서 발산하는 빛의 각도가 작아질수록 반사경 길이 값이 기하급수적으로 커지는 것을 확인할 수 있다. 휴대 가능한 크기의 소형화된 테스트램프를 설계하기 위해서 적정 효율을 판별하여 반사경의 크기를 제한할 필요가 있다. 따라서 범위 길이에 따른 효율이 40% 이상인 42~60°의 빛만을 조절할 수 있도록 포물 반사경 길이를 16.50 mm로 설계하였다. 이때 1000 mm × 1000 mm 조사영역에서는 291 lux의 최대 조도를 가지며 그림 7과 같은 조도 분포를 보인다.

2.5.2. 구 소형 반사경과 2차 대형 반사경 설계

광학계 제작 시 오차 영향이 적은 불꽃감지기용 테스트램프를 설계하기 위해 그림 8과 같이 구체의 소형 반사경을 이용하여 광학계를 구성하였다.

8000 mm의 조사거리까지 빛이 도달하기 위해서 출사각이 작은 광학계를 구성하는 것이 필요하다. 따라서 소형 반사경에 반사된 빛을 제어하는 2차 대형 반사경은 포물선 형상을 가져야 한다. 이를 위해 2차 대형 반사경을 설계한 다음, 이에 맞는 구 소형 반사경 설계를 진행하였다.

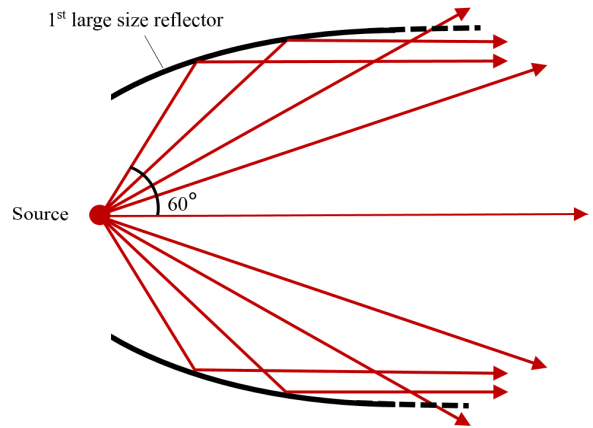


Fig. 6. 1st large size reflector shape with outside light source.

Table 3. Reflector length by emission angle and efficiency per range

	Parabola reflector length	Efficiency by range length
60~57°	7.19 mm	100%
57~54°	8.31 mm	86%
54~51°	9.70 mm	74%
51~48°	11.44 mm	62.7%
48~45°	13.65 mm	52.5%
45~42°	16.50 mm	43.5%
42~39°	20.26 mm	35.4%
39~36°	25.30 mm	28.3%
36~33°	32.24 mm	22.2%
33~30°	40.78 mm	17.6%
30~27°	57.76 mm	12.4%
27~24°	78.46 mm	9.1%

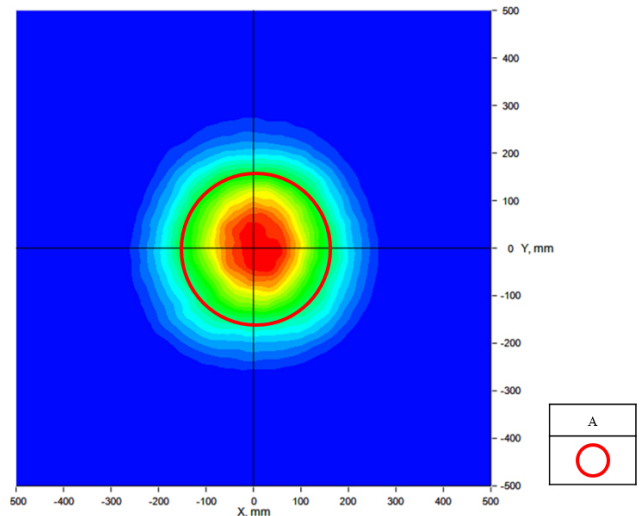


Fig. 7. Illuminance distribution of 1st large size reflector.

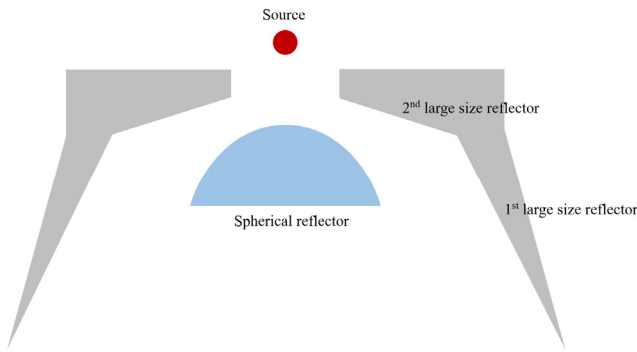


Fig. 8. Spherical small size reflector layout.

최적의 2차 대형 반사경은 식 (2)로 나타낼 수 있으며 그림 9(a)의 그래프 형태를 보인다. 그림 9(b)는 반사경 곡면으로, fitted curve를 통해 포물선 형상을 구현하였다.

$$y + 13 = \frac{-x^2}{4(36.925)} \quad (2)$$

광원에서 작은 각도로 발산한 빛은 소형 반사경을 통해 포물선 형상의 2차 대형 반사경에 도달하게 되고, 출사각이 작은 광을 형성하기 위해서는 광원이 2차 대형 반사경의 초점에 있도록 해야 한다. 따라서 초점에 맞는 광원의 위치를 선정하고 구 소형 반사경을 설계해야 한다. 그림 10은 2차 대형 반사경에 맞는 구 소형 반사경의 그래프이다. 구 소형 반사경의 곡률 반경은 약 24 mm로 초점의 위치에서 발산한 광이 평행광으로 진행하도록 설계하였다.

구 소형 반사경을 사용한 테스트램프의 성능 파악을 위해 시뮬레이션을 진행한 결과, 광학계를 지난 빛은 조사영역에

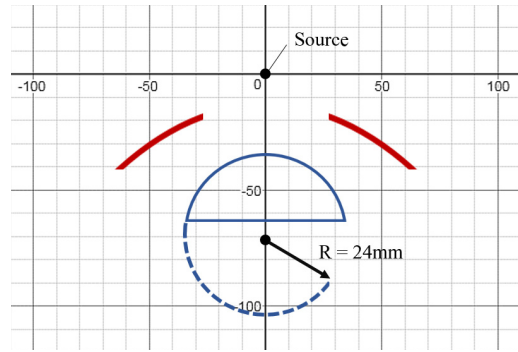


Fig. 10. 2nd large size reflector and spherical small size reflector.

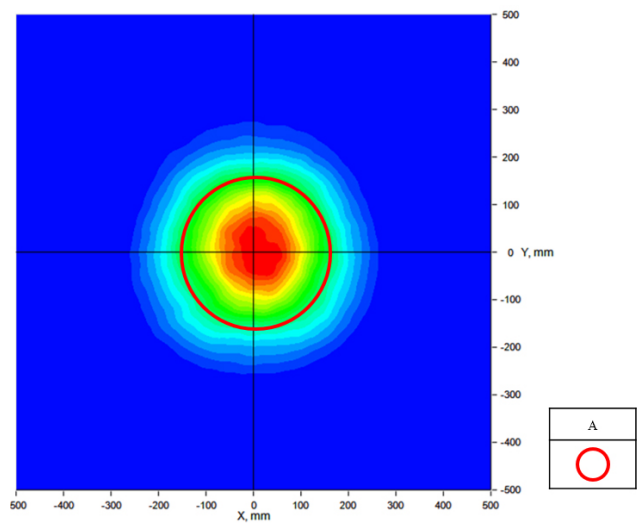
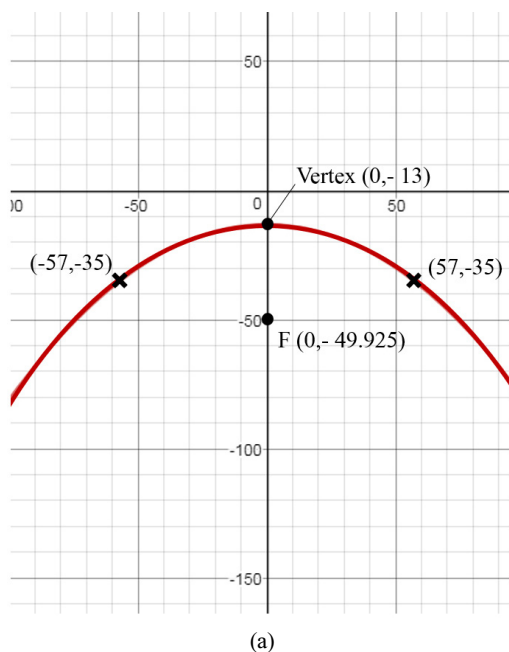
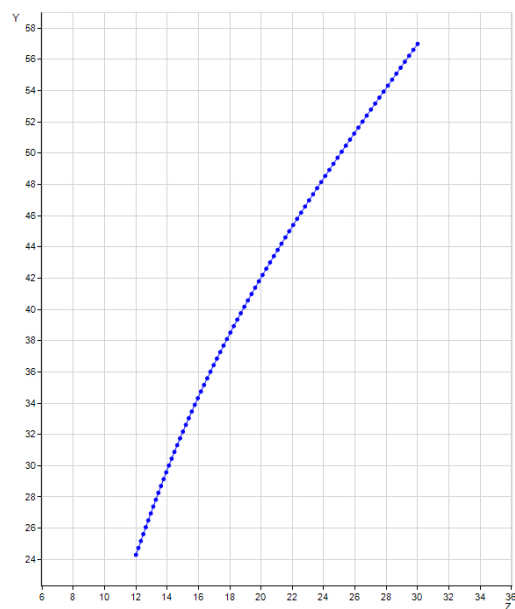


Fig. 11. Illuminance distribution of test lamp using spherical small size reflector.



(a)



(b)

Fig. 9. 2nd large size reflector shape. (a) Parabolic equation, (b) Reflector designed with a fitted curve.

약 2.05°로 입사한다. 이 때 1000 mm × 1000 mm 조사영역에서는 740 lux의 최대 조도를 가지며 그림 11과 같은 조도 분포를 보인다. 이 때, 조도 분포는 1차 대형 반사경만을 사용한 분포와 비슷하지만 더 높은 조도 값을 가진다.

2.6. Lens 형태의 추가 설계

본 논문에서는 발산각이 작은 빛을 제어하여 평행광에 가까운 형태로 진행할 수 있도록 소형 반사경을 설계하였다. 설계된 소형 반사경의 형상을 분석한 결과 구 소형 반사경이 틸트와 위치변화의 영향을 가장 적게 받는다는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제시한 구 소형 반사경을 제외하고, 또 다른 곡면 형태의 광학계를 이용하여 최적의 형상을 도출하기 위해 렌

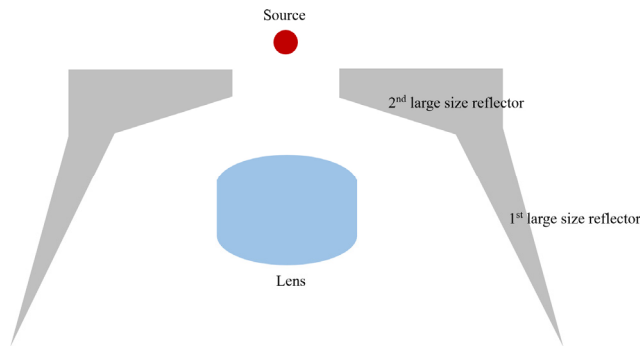


Fig. 12. Optical system using lens layout of test lamp.

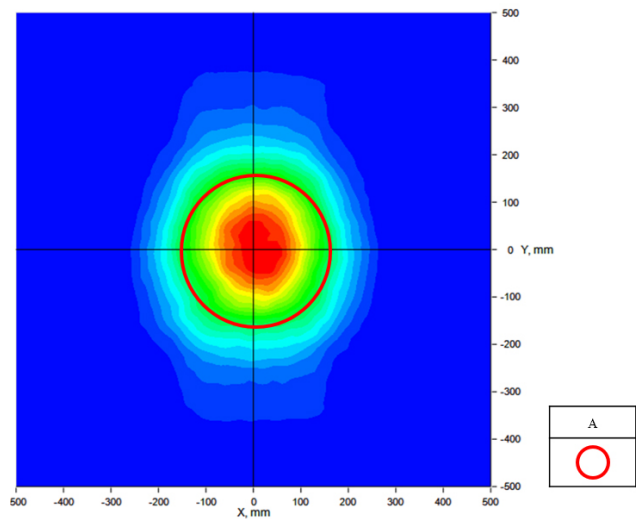


Fig. 13. Illuminance distribution of test lamp using lens.

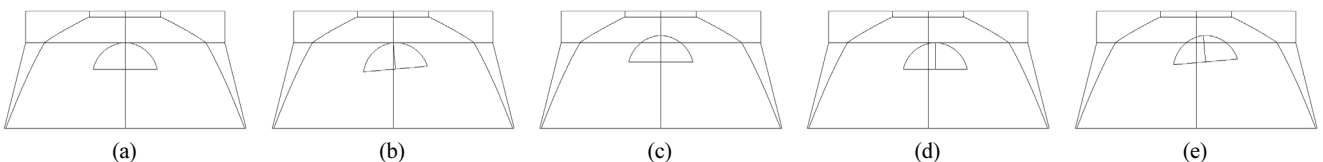


Fig. 14. Small size reflector type of analysis. (a) Accurate position, (b) Alpha 5° tilt, (c) Up 5 mm decenter, (d) Side 5 mm decenter, (e) Tilt and decenter.

즈 형태의 설계를 추가로 진행했다. 그림 12는 테스트램프의 소형 반사경 대신 렌즈를 사용하여 추가로 설계한 광학계의 레이아웃이다. 소형 반사경 자리에 렌즈를 사용하여 목표사양에 도달할 수 있도록 렌즈의 곡률을 조정하며 설계하였다.

소형 반사경 대신 렌즈를 사용한 테스트램프의 시뮬레이션 결과, 광학계를 지난 빛은 조사영역에 약 2.49°로 입사한다. 이 때 1000 mm × 1000 mm 조사영역에서는 743 lux의 최대 조도를 가지며 그림 13과 같은 조도 분포를 보인다. 렌즈형상의 경우 원뿔형상의 소형 반사경보다 최대 조도 값이 높지만, 상하로 빛이 퍼지는 형태의 조도 분포를 나타내어 실제 틸트 및 디센터 시 손실되는 광량이 많다.

III. 설계 분석

3.1. 소형 반사경 설계 분석

제작 시 발생하는 공차를 고려하기 위해 설계한 반사경의 위치를 임의로 변경하여 분석을 진행하였다. 2가지 유형의 소형 반사경과 1가지 유형의 렌즈를 이용해 설계한 불꽃감지기용 테스트램프를 그림 14와 같이 정확한 위치, 알파 5° 틸트, 위 5 mm 디센터, 옆 5 mm 디센터, 틸트와 디센터가 복합된 형태에 대해 분석을 진행했다. 표 4는 시뮬레이션을 통해 얻은 유형별 조도 값에 대한 데이터와 효율 오차이다⁹⁾.

표 5는 구 형태의 소형 반사경이 불확실한 위치에 존재할 때, 조도를 분석한 결과이다. 최대 조도의 값이 사양보다 높으므로 구 형태의 테스트램프는 불꽃감지기용 테스트램프로 사용 가능하다.

그림 15는 알파 5° 틸트와 위 5 mm 디센터, 옆 5 mm 디센터에 대한 소형 반사경의 조도를 비교한 그래프이다. 가장 큰 차이를 보이는 원뿔 소형 반사경의 경우 약 85.66%의 효율을 갖는다. 가장 작은 차이를 보이는 구 소형 반사경의 경우 약 96.35%의 효율로 약 3.65의 작은 오차를 갖는다.

구 형태의 소형 반사경을 가지는 불꽃감지기용 테스트램프의 최대 조도값은 740 lux이다. 1차 대형 반사경만 존재하여 발산각이 작은 빛을 조절하지 못할 경우, 최대 조도값은 그보다 약 61% 하락한 291 lux이다. 이는 테스트램프의 광량 확보에 있어 소형 반사경이 매우 중요한 역할을 하는 것을 의미한다. 불꽃감지기 테스트램프의 반사경 제작 시 오차를 확인하기 위해 공차 영역에서 광학계가 이동했을 때 가장 높은 효율을 보이는 형상을 선별하였다.

여러 소형 반사경 형상 중 가장 높은 효율을 보이는 것은 구 형상으로, 5% 이하의 광 손실률을 보인다. 이는 광학계

Table 4. Illuminance according to compact reflector and lens shape

	Accurate position	Tilt	Decenter			Error efficiency (Tilt and decenter/Base)
		Alpha 5°	Up 5 mm	Side 5 mm	Tilt and decenter	
Cone	732 lux	682 lux	712 lux	703 lux	627 lux	85.66%
Spherical	740 lux	734 lux	732 lux	733 lux	713 lux	96.35%
Lens	743 lux	699 lux	720 lux	712 lux	649 lux	87.35%

Table 5. Analysis of an inaccurately positioned spherical small reflector test lamp

Parameter	Specification	Inaccurately positioned spherical small size reflector test lamp
Detecting distance	8000 mm	8000 mm
Average illuminance	>280 lux	319 lux
Maximum illuminance	>650 lux	713 lux

IV. 결 론

본 논문에서는 불꽃감지기용 테스트램프의 반사경 형상에 대해 제작 시 오차를 줄일 수 있는 설계 방법 연구를 진행하였다. 테스트램프는 실제 화재에 가까운 빛을 내기 위해 많은 광량이 확보되어야 하지만 광원에서 나오는 광량의 약 40%에 해당하는 빛을 받는 소형 반사경의 경우, 틸트 및 디센터에 대한 오차가 매우 크기 때문에 설계 분석 시 성능이 크게 떨어지는 문제가 발생할 수 있다.

이를 해결하기 위해 할로겐 광원을 초점으로 하는 포물선 형상의 1차 대형 반사경을 이용하여 광원에서 42~60°로 발산하는 빛이 평행으로 진행하도록 설계하였다. 또한 내부 소형 반사경을 원뿔 형상이 아닌 구 형상을 가지도록 하여 틸트와 디센터 발생 시 성능 저하를 최소화하는 방향으로 설계를 진행하였고, 소형 반사경에 반사된 빛이 조사 영역에 출사각이 작은 평행광 형태로 진행할 수 있도록 포물선 형상으로 2차 대형 반사경을 설계하였다.

또한 내부 소형 반사경을 원뿔 형상이 아닌 구 형상을 가지도록 하여 틸트와 디센터 발생 시 5% 미만의 광 손실률을 가지는 방향으로 설계를 진행하였다. 기존 원뿔 형상의 소형 반사경을 사용한 경우, 정확한 위치에서 732 lux의 최대 조도를 갖지만 틸트와 디센터된 위치에서의 최대 조도는 627 lux로 약 86%의 광량만 유지된다. 반면에 구 형상의 소형 반사경을 사용한 경우, 정확한 위치에서 740 lux의 최대 조도를 가지며 틸트와 디센터된 위치에서의 최대 조도는 713 lux로 약 3.7%의 광 손실량을 보이는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 조사거리 8000 mm, 조사영역 1000 mm × 1000 mm에 대하여 소형 반사경 알파 5° 틸트, Y-Z 축 5 mm 디센터 시에도 최대 조도 650 lux 이상의 값을 만족하도록 설계를 진행하였고, 설계 분석 결과에 따라 광학계 제작 시에도 오차 영향이 적은 소형 반사경으로 구 형상을 제시하였다.

References

1. J. Penny, "The roles of flame detection in AFD," *Fire Surveyor* **15**, 25-26 (1996).
2. G. W. Mulholland, "SFPE handbook of fire protection engineering," National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 3rd Edition (2002).
3. Ministry of government administration and home affairs' Notification, "National fire safety code of automatic detection

Tilt and decenter

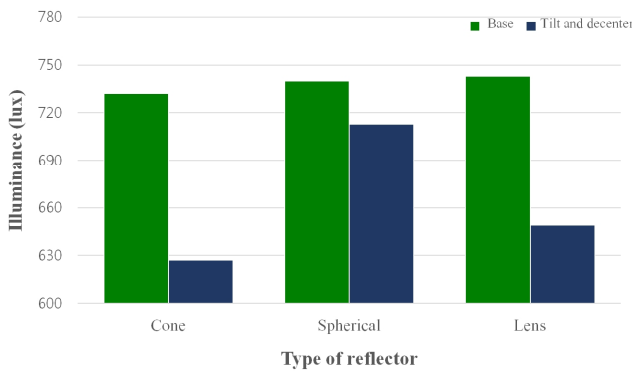


Fig. 15. Illuminance of tilt and decenter with small size reflector shape.

제작 시 정확한 고정이 어려운 소형 반사경의 내부 흔들림 발생 시에도 충분한 광량을 확보해 목표성능을 만족할 수 있음을 나타낸다.

구 형상은 다른 형상과는 달리 틸트 시에도 빛이 닿는 면적의 곡률이 변하지 않는다. 일반적으로 소형 반사경의 틸트 혹은 디센터가 일어날 시 광원에서 나오는 빛이 소형 반사경에 입사하는 각도가 달라지는 문제점이 발생하고, 그로 인해 2차 대형 반사경에 입사하는 각도까지 변화되어 결과적으로 평행광 형성에 어려움이 생긴다. 출사각이 작은 광을 형성하여 8000 mm의 조사거리까지 빛을 전달해야 하는 테스트램프로서 광량에 큰 손실이 일어나게 되는 것이다. 따라서 구 형태로 회전 시에도 입사각이 변하지 않는 특성을 가지고 있는 구 형상의 소형 반사경 설계를 통해 틸트 및 디센터 발생 시 일어나는 광 손실량을 줄일 수 있다.

- system,” No. 2004-20 (2004).
4. B. H. Lim, “A study on the improvement of the characteristic of ultraviolet infrared flame detector for fire detection,” Dept. of Control and Instrumentation Eng., Graduate School of Chosun University (2006), p. 1.
 5. J. H. Jung, M. S. Kim, H. S. Lim, and Y. S. Kim, “A study on accelerated life test of halogen lamps for medical device,” J. Korean Soc. Qual. Manage. **41**, 659-672 (2013).
 6. J. S. Park and S. H. Yi, “Speculation of optical cavity for improving optical gas sensor’s characteristics,” J. Korean Inst. Gas **12**, 63-64 (2008).
 7. M. S. Cho, “Development of 3D reflector design method for compact metal halide street lighting,” Dept. of Electrical Engineering Graduate School, Kangwon National University (2007), p. 10.
 8. H. Haber, “Focusing properties of spherical and parabolic mirrors,” Santa Cruz Institute for Particle Physics (2009), pp. 2-3.
 9. J. H. Kim, “Optical system design of mobile phone camera for sensitivity analysis,” Dept. of Physics, Graduate School, Kookmin University, Seoul (2009), p. 17.