

## 6면 프리즘 렌즈가 장착된 Lensmeter에서 시험 렌즈의 편심 위치 계산

Maria Lin, 박종대, 조창호, 김현규\*  
배재대학교 전산전자물리학과, \*(주)토피스

## Determination of the Decenter Position of a Test Lens in a Six-Sided Prism Lens Lensmeter

Maria Lin, J. D. Park, C. H. Cho, and H. K Kim\*  
Dept. of Computational Electrical Physics, Pai-Chai Univ. \*Topins

### 요 약

6면 프리즘 렌즈가 장착된 렌즈메터에서 상점의 위치로부터 시험렌즈의 편심의 위치를 알아낼 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 6개의 프리즘에 의해 형성되는 6개의 상점은 시험렌즈의 편심의 극좌표에 의해 변하게 되며, 비틀린 광선 추적으로 계산할 수 있다. 광학 설계 프로그램인 Code V를 사용하여 렌즈메터 광학계를 분석하고, 시험렌즈의 위치에 따른 상점의 위치 변화를 함수로 나타내서 역으로 상점의 위치로부터 시험렌즈의 편심의 위치를 알아낼 수 있는 방법을 개발하였다.

### Abstract

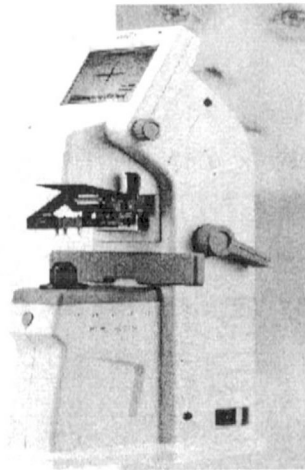
We have developed an algorithm to determine the decenter position from the image points in a lensmeter with 6-sided prism lens. The positions of the image points which are formed by six prisms depends on the decenter position of a test lens and can be calculated by skew ray tracing. The optical

characteristics of the lens meter was analyzed using the Code V program and the positions of the image points was expressed as a function of the decenter position of the test lens. By minimizing the expectation error, we can determine the decenter position of a test lens from the image positions.

Keywords : lensmeter, ray tracing, optical system design

## I. 서 론

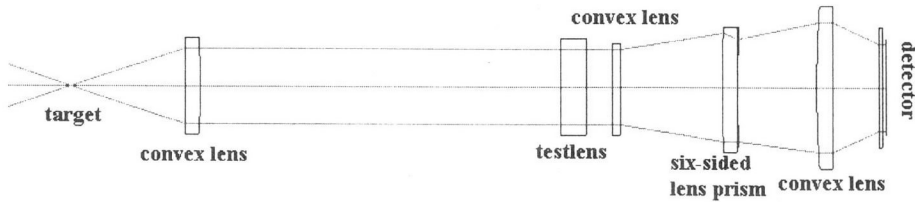
렌즈미터는 렌즈의 굴절능, 초점거리 등을 측정하기 위한 장비이다(사진 1). 렌즈미터에서 정확한 초점거리의 측정은 매우 중요하다. 상용으로 판매되는 렌즈미터는 측정 정밀도가 0.01 디옵터이고 측정 범위는 -25 디옵터에서 +25 디옵터까지이다. 종래에는 수동으로 광원의 거리를 조정하여 초점거리등을 측정하였으나 최근에는 렌즈미터가 자동화되어 가고 있는 추세이다. 측정 자동화의 한 방법으로 렌즈미터에 6개 조각으로 되어 있는 프리즘 렌즈를 장착하여 초점 거리를 자동으로 측정하고 렌즈미터의 성능을 개선하고자 하는 연구가 진행되었다.[1-6]



본 연구에서는 6개의 프리즘렌즈와 6개의 조리개를 사용하여 6개의 상점을 만들고, 상점간의 거리를 CCD센서로 측정하여 렌즈의 굴절능 및 초점 거리를 측정하는 렌즈미터에 대한 광학계를 설계하였다. 그리고 시험렌즈의 편심이 굴절능 측정에 미치는 영향을 Code V 를 사용한 광선추적으로 조사하고, 6개의 상점의 위치로부터 시험렌즈의 편심위치를 파악할 수 있는 방법을 개발하였다.

## II. 본 론

본 연구에서 사용한 6개의 프리즘 렌즈가 장착된 렌즈미터에서 대략적인 배치도는 그림 1과 같다.



[그림 1] 렌즈미터에서 광학계 배치도

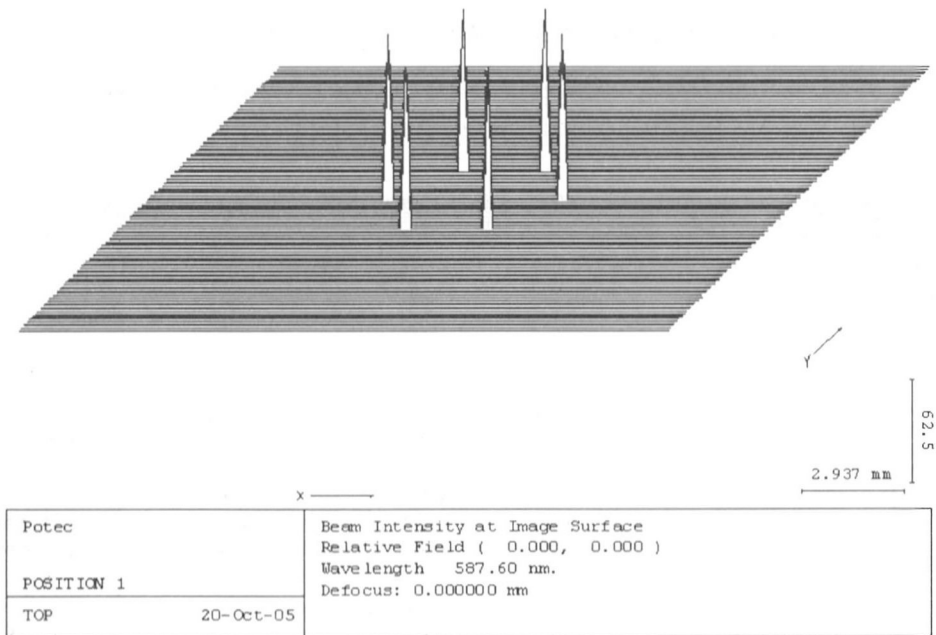
Target은 LED 광원을 사용하였고, 프리즘 렌즈는 성형의 편리성을 위하여 플라스틱재질인 E48R을 사용하였다. 광선 추적은 상용화된 프로그램인 Optical Research 사의 Code V 프로그램을 사용하였다. 그림 2는 Code V에 사용된 광학계 입력 데이터들이다.

Surface #	Surface Name	Surface Type	Y Radius	Thickness	Glass	Refract Mode	Y Semi-Aperture
Object		Sphere	Infinity	3.7000		Refract	0
Stop		Sphere	Infinity	20.0000		Refract	0.3000
2		Sphere	Infinity	3.2000	BK7_SCHO	Refract	1.9216
3		Sphere	-13.4000	74.9900		Refract	2.0837
4		Sphere	20.6700	4.9000	BK7_SCHO	Refract	2.0690
5		Sphere	Infinity	4.5700		Refract	1.9041
6		Sphere	Infinity	1.7500	SF10_SCH	Refract	1.6657
7		Sphere	32.0000	21.0000		Refract	1.6117
8		Sphere	Infinity	1.0000		Refract	0.3000
9		Sphere	21.0000	3.0000	'E48R'	Refract	1.2729
10		Sphere	Infinity	0.0000		Refract	1.1808
11		Sphere	Infinity	0.0000	'E48R'	Refract	1.1808
12		User Defined	Infinity <sup>V</sup>	16.7300		Refract	1.1792
13		Sphere	13.8000	3.2000	BK7_SCHO	Refract	0.8171
14		Sphere	Infinity	9.8700		Refract	0.7075
15		Sphere	Infinity	0.6000	BK7_SCHO	Refract	0.5494
16		Sphere	Infinity	0.7600		Refract	0.5533
Image		Sphere	Infinity	0.0000		Refract	0.5606

End Of Data

[그림 2] 렌즈미터 광선추적을 위한 입력 데이터

근축광선 추적을 하지 않고, Code V를 사용하여 광선 추적을 한 것은 테스트 렌즈의 편심 효과와 프리즘 렌즈에 의해 점광원에 의한 광선이 skew 광선이 되기 때문이다. Skew ray의 경우에는 해석적으로 근축광선 추적하는 것이 복잡하다. 본 연구에서는 직접 Code V를 사용하여 광선추적을 수행하였다. 그림 3은 광선 추적 결과이다. 6개의 프리즘에 의해 광선이 6갈래로 나누어지게 된다. 원점에서 6개의 상점까지의 거리는 시험 렌즈의 초점거리의 함수가 되므로 이들 거리를 ccd 센서로 측정하여 시험렌즈의 초점거리를 환산해 낼 수 있다. 렌즈미터는 일반적으로 -25디오퍼터에서 +25디오퍼터를 측정할 수 있어야 하고, 분해능이 0.01 디오퍼터가 되어야 한다. ccd 센서를 사용하는 경우, ccd 센서의 외형적 크기 및 픽셀의 유한한 크기에 의해 렌즈미터의 분해능이 정해진다. 센서의 크기가 크다면 넓은 범위의 굴절능과 분해능 측정이 가능하다. 그러나 ccd 센서의 크기는 제한이 있으므로 광원의 위치를 바꿀 수 있게 하여 굴절능 측정 범위를 확장하는 한편, 분해능도 유지 할 수 있도록 광학계를 설계하는 것이 필요하다.



[그림 3] 6개 프리즘 렌즈가 있는 렌즈미터의 상면에서의 빔의 세기

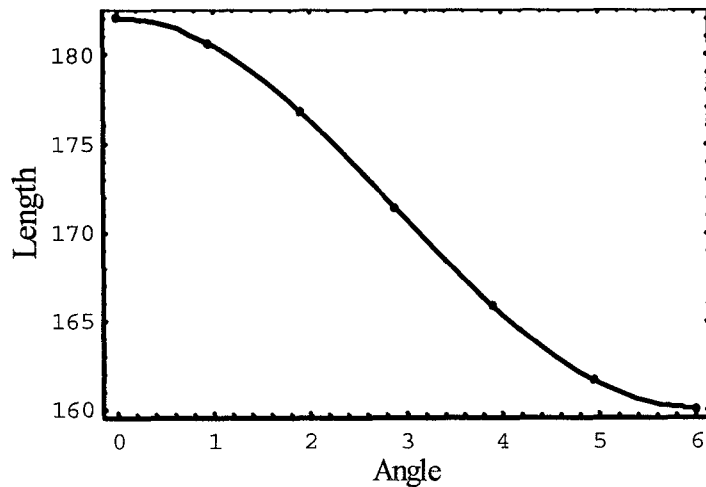
렌즈미터는 렌즈등의 센터링 등에도 이용될 수 있다. 센터링이라 함은 안경 등의 렌즈에서 안경테에 맞게 테두리 모양을 절단할 때 광학계의 광축이 눈과 일치되도록 할 때 필요하다. 만일 시험렌즈를 장착할 때 편심이 존재하게 되면 프리즘렌즈가 장착된 렌즈미터에서는 원점에서 6개 상점까지 거리가 달라지게 된다. 센터링을 하기 위해서는 원점에서 6개 상점까지의 거리가

같도록 시험렌즈의 위치를 바꾸어 주면 된다. 센터링 작업을 자동화하기 위해서는 상의 위치로부터 시험렌즈의 편심을 정확히 계산해 낼 수 있어야 한다. 시험 렌즈의 편심의 위치를 계산해 낼 수 있어야, 스텝모터 등을 이용하여 테스트 렌즈의 위치를 바꿀 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 상점의 위치로부터 시험 렌즈의 편심의 위치를 계산해 낼 수 있는 방법을 개발하였다. 우선 Code V를 사용하여 x축과 y축으로 시험렌즈가 1mm 편심된 경우에 대하여 광선추적을 통하여 6개 상점의 위치를 계산한다. 원점에서 6개 상점의 좌표는 극좌표를 사용하여 표시한다. 그림 4는 시험렌즈가 x축과 y축으로 1mm 편심된 경우 상점의 좌표 데이터를 합성하여 얻는 것이다. 여기서 각도는 6개의 상면의 위치에 해당하는 각도를 표시한 것이다. 원점에서 상점까지의 거리가

$$\rho_i = 170.725 + 10.9987 \cos(\phi_i) + 0.354369 \cos^2(\phi_i), i = 1 \dots 6 \quad (1)$$

로 잘 피팅됨을 알 수 있다. 상점까지의 거리가 각도에 대하여 우함수이어야 한다는 것은 대칭성을 고려하면 쉽게 알 수 있다.

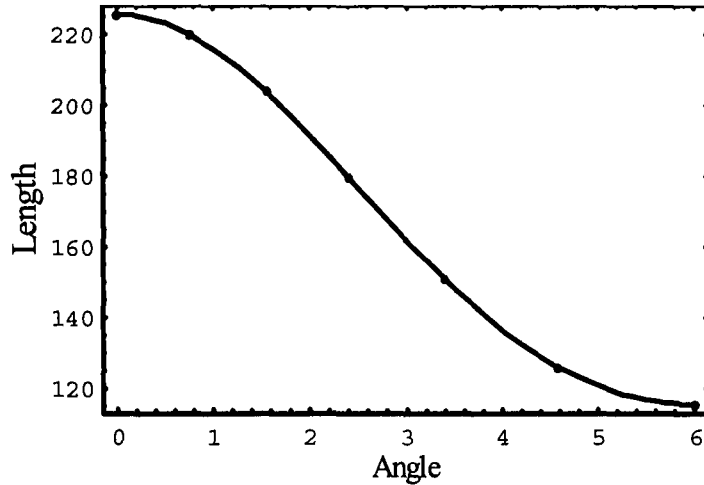


[그림 4] 시험렌즈가 x 축 혹은 y 축으로 1mm 편심된 경우 상점까지 거리(픽셀 수)와 상점의 각도 (단위 30도)

그림 5는 시험렌즈가 x축과 y 축으로 5mm 편심된 경우 6개 상점의 위치와 상점의 각도를 표시한 것이다. 원점에서 상점까지의 거리가

$$\rho_i = 161.89 + 55.0715 \cos(\phi_i) + 8.85168 \cos^2(\phi_i), i = 1 \dots 6 \quad (2)$$

로 피팅이 잘 됨을 볼 수 있다.



[그림 5] 시험렌즈가 x축 혹은 y 축으로 5mm 편심된 경우 상점까지 거리(픽셀 수)와 상점의 각도 (단위 30도)

편심까지 거리는 이와 같이 시험렌즈의 편심 위치 반경의 함수이므로 편심의 위치가  $(r, \theta)$  인 경우 원점에서 상점까지의 거리는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho_i = f(r) + g(r)\cos(\phi_i - \theta) + h(r)\cos^2(\phi_i - \theta), \quad i = 1 \dots 6 \quad (3)$$

만일 Code V를 사용한 계산으로  $f(r)$ ,  $g(r)$ ,  $h(r)$  함수를 알아내면 측정 상점의 위치로부터 시험렌즈의 편심의 위치를 계산해 낼 수 있다. 이를 검증하기 위하여 시험렌즈가 각각 x축과 y 축으로 5 mm씩 편심된 경우 Code V 를 사용하여 상점의 위치를 계산하고, 상점의 위치로부터, 위에서 피팅한 함수를 사용하여 편심의 위치를 추출해 낼 수 있는지 조사하였다.

시험 렌즈가  $(r, \theta) = (5\sqrt{2}, 45)$  인 경우 계산된 상점의 위치는 다음과 같았다.

[표 1] 편심의 위치를 계산하기 위한 상점에 대한 시험 데이터

	1	2	3	4	5	6
거리	232.2887	246.4692	205.2801	128.1127	97.25287	168.5153
각도/30	0.23884	0.965625	1.718941	2.694063	4.39934	-0.58252

시뮬레이션으로부터 구한 함수  $f(r)$ ,  $g(r)$ ,  $h(r)$  는 다음과 같았다.

$$f(r)=171.0+0.095r-0.384r^2 \quad (4)$$

$$g(r)=0.020+10.97r+0.007r^2 \quad (5)$$

$$h(r)=0.091-0.102r+0.371r^2 \quad (6)$$

실제 ccd 센서에서는 정수단위의 픽셀로만 측정이 가능하기 때문에 표 1에서 거리에서 소수 점 이하는 반올림하여 정수로 만들고, 각도의 측정 한계를 고려하여 유효 숫자 2자리만 남겨 가상 실험 데이터를 만들었다. 이 데이터와 식 (4)-(6)을 사용하여 오차를 최소화시켜서 편심의 위치를 복구한 결과 시험 렌즈 편심의 위치는  $(r,\theta)=(7.07971,44.883)$ 이 되었다. 따라서 오차는 매우 적음을 알 수 있었다.

### Ⅲ. 결 론

6개의 프리즘 렌즈가 장착된 렌즈메터에서 시험 렌즈의 편심위치를 정확히 알아낼 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 모의시능 결과 편심의 위치를 1%이하 까지 정확하게 계산해 낼 수 있었다.

### IV. 참고문헌

- [1] W. Smith, J. Modern Optical Engineering, New York, McGraw-Hill p.38, 1990.
- [2] W. James, Howard, Applied Optics, Vol. 24, No. 23, Optical Society of America. 1985
- [3] C. J. Barth and D. Oepts, Applied Optics, Vol. 27, No. 18. p.15 September 1988.
- [4] V. Greco and G. Molesini Characterization of test lenses for calibration of focimeters Meas. Sci. Tech. 10, p.583, 1999.
- [5] V. N. Mahajan, Optical Imaging and Aberrations, Part I, Ray Geometrical Optics, SPIE, Bellingham, 1998.
- [6] Paul K. et al., Applied Optics Vol. 42, No. 25, p.1, 2003.