

## 백색광원을 이용한 광학계의 polychromatic OTF 측정

### Polychromatic OTF measurement of an optical system using a white light source

송중섭, 이운우\*, 조현모\*, 이인원\*, 조재홍, 장수, 임천석  
 한남대학교 광·전자물리학과, \*한국표준과학연구원 광도·영상그룹  
 jssong@kriss.re.kr

카메라, 망원경 등의 일반 광학제품 뿐만 아니라 야시경, 열상장비 등의 적외선 결상장치, 수중이나 항공기에서 사용되는 첨단 광학기기들은 종류나 용도가 아주 다양하여 사용목적에 적합한 광학계를 설계하거나 새로운 광학계를 개발하기 위해서는 그 성능을 정확하게 평가하는 것이 매우 중요하다. 현재까지 많은 경우에 있어서 렌즈나 광학계는 다색광원(polychromatic illuminant)에서 사용되도록 설계되어지고 있고 또한 광학계를 통해 맺혀지는 상도 색감각을 갖는 반응체(사람의 눈, 필름 등)에 의해 평가되어진다. 그러나 Hopkins에 의해 기본 이론이 확립된 이후 광학계의 성능을 평가하는 방법들 중 가장 객관적이며 신뢰도가 높은 평가 방법으로 인정받고 있는 OTF(Optical Transfer Function) 측정 방법도 현실적으로는 단색광원, 색감각이 없는 반응체(color blind receiver)를 가정하여 평가하고 있다. 그러므로 다색광원에서 사용되도록 설계된 광학계의 성능을 평가하기 위해서는 광원과 광학계 그리고 detector 등의 분광특성을 고려한 polychromatic OTF를 측정해야 한다.

본 연구에서는 광학계의 polychromatic OTF를 측정하기 위하여 광원으로는 텅스텐 할로겐 전구와 grating type의 spectrophotometer, 그리고 적분구를 사용하였다. 반사경계는 광학계를 투과하지 않으므로 각 파장에 따른 굴절률의 차이로 인한 광학계의 색수차를 고려하지 않아도 되는 장점을 지니고 있기 때문에 다색광원을 시준시키기 위하여 비축 포물경을 이용하였다. 그리고 P.M. tube나 2차원 CCD array를 통하여 얻은 광학 신호를 이용하여 광학계의 monochromatic LSF(Line Spread Function)와 polychromatic LSF를 각각 측정하였다.

다음의 식에서 보여주듯이 전체 광학계의 분광특성을 고려하여 보정하기 위한 광원과 측정하고자 하는 광학계 그리고 detector의 분광 특성을 측정하였다.

$$R(\lambda) = N_{source}(\lambda) R_{det}(\lambda) T_{opt}(\lambda) T_{filter}(\lambda) \quad (1)$$

여기에서  $R(\lambda)$ 는 전체 광학계의 분광특성을 나타내며,  $N_{source}(\lambda)$ 는 광원의 분광특성,  $R_{det}(\lambda)$ 는 detector의 분광특성,  $T_{opt}(\lambda)$ 는 시험 광학계의 분광특성,  $T_{filter}(\lambda)$ 는 측정에 사용되는 필터의 분광특성을 나타낸다.

다음과 같은 방법으로 광학계의 각 파장별 monochromatic LSF를 측정하여 monochromatic OTF를 구한 다음 전체 광학계의 분광특성을 고려한 보정값을 곱하여 polychromatic OTF를 측정하였다.

$$OTF(\lambda_i, f_x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} LSF(\lambda_i, x_i) \exp(-2\pi i f_x x_i) dx_i}{\int_{-\infty}^{\infty} LSF(\lambda_i, x_i) dx_i} \quad (2)$$

$$OTF(f_x) = \frac{\sum_{i=1}^n OTF(\lambda_i, f_x)R(\lambda_i)}{\sum_{i=1}^n R(\lambda_i)} \quad (3)$$

또한 각 파장별 광학계의 monochromatic LSF을 측정하고 전체 광학계의 분광특성을 고려한 보정값을 곱하여 polychromatic LSF를 얻고 이것을 Fourier 적분하여 polychromatic OTF를 측정하였다.

$$LSF(x) = \frac{\sum_{i=1}^n LSF(\lambda_i, x)R(\lambda_i)}{\sum_{i=1}^n R(\lambda_i)} \quad (4)$$

$$OTF(f_x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} LSF(x_i) \exp(-2\pi i f_x x_i) dx_i}{\int_{-\infty}^{\infty} LSF(x_i) dx_i} \quad (5)$$

식(4)에서 LSF들은  $\int_{-\infty}^{\infty} LSF(\lambda_i, x_i) dx_i = 1$  와 같이 규격화된다.

위에서의 두가지 방법으로 polychromatic OTF를 각각 측정하고 그 결과들을 서로 비교하고 그 차이를 분석하였다. 여기에서 중요한 것은  $LSF(\lambda, x)$ 을 측정할 때 어느 정도의 파장 대역폭을 갖는 spectrophotometer나 필터들을 사용할 것인가와 그 때의 보정값들을 어떻게 정할 것인가 하는 문제이다. 앞으로 이러한 문제들에 대한 적당한 해결방법과 측정시간을 더욱 단축시킬 수 있는 측정 방법에 관한 연구를 계속해서 해 나갈 것이다.

#### 참고문헌

1. H. H. Hopkins, Proc. Roy. Soc (London) A. 217, 408 (1953).
2. T. L. Williams, The Optical Transfer Function of Imaging Systems, Institute of Physics Publishing, London (1999).
3. K. R. Barnes, The Optical Transfer Function, American Elsevier Publishing Company, Inc. New York (1971).
4. M. W. McDowel, D. N. W. Chinnery and E. Theron, Optik Vol. 44, No. 1, pp. 79-88 (1975).
5. M. Subbarao, Appl. Opt. Vol. 29, No. 4, pp. 554-558 (1990).
6. W. D. Furlan, G. Saavedra, Optics Communications Vol. 96, pp. 208-213 (1993).
7. 김재범, 박성중, 심상현, 정창섭, 새물리, Vol. 35, No. 3, pp. 304-311 (1995).