

직접 및 간접 다색광전달함수 측정방법의 보정 연구

Correction of direct and indirect polychromatic optical transfer function measurement method

홍성목, 이윤우*, 이회윤*, 조재홍
 한남대학교 물리학과, *한국표준과학연구원 광도영상그룹
mornmist@hannam.ac.kr

우주를 관측하는 대구경 망원경에서부터 미세현상을 관찰할 수 있는 현미경에 이르기 까지 광학장비를 이용해 정보를 얻어내는 것은 이미 우리의 생활 전반에 걸쳐 일반화되어 있다. 이런 광학장비들의 고급화를 위해서는 정밀 측정이 수반되어야 한다. 현재 산업현장에는 결상능력의 평가를 위해서 분해능 표판 등을 사용하고 있으며 1997년도에 Hopkins⁽¹⁾에 의해 광전달함수(OTF-Optical Transfer Function)에 대한 기초 이론이 확립된 이후 OTF는 광학계의 성능 평가에 기준이 되었고 ISO 9335 등에 그 측정 이론 및 측정 방법 등을 소개하고 있다. 그러나 현재의 광학계 측정은 단색광을 이용해 이루어지고 있는데 반해 대다수의 광학장비들은 태양광에서 사용하고 있으므로 단색광을 기준으로 광학계의 성능을 평가하는 것은 실제의 사용 환경과는 다소 다른 값을 나타낸다. 이것을 해결하기 위해 다색광을 이용한 광학계평가 이론^(2,3) 및 다색필터를 이용한 실시간 다색광전달함수(POTF-polychromatic OTF)의 측정과 응용연구⁽⁴⁾가 활발하게 이루어지고 있다. 본 연구에서는 다색필터를 이용한 POTF의 측정(간접측정)과 실제 사용 환경에 맞는 백색광을 사용한 POTF의 측정(직접측정)을 통해 백색광에서의 보정 값을 찾고자 한다.

다색광원에서 사용되도록 설계된 광학계의 성능을 평가하기 위해서는 광원과 광학계 그리고 detector 등의 분광특성을 고려한 POTF를 측정해야 한다. POTF를 측정하는 방법에는 크게 두 가지로 볼 수 있는데 영상의 최종 감지부가 사람의 눈일 경우(human vision)와 그렇지 않은 경우(machine vision) 즉, 필름이나 CCD 등을 사용한 경우로 나누어 측정한다. 후자의 경우는 detector의 분광 감응특성을 고려하여 측정한다. 그러나 디스플레이 광학계와 같은 사람의 눈을 통하여 감지하는 시스템일 경우에는 결상계의 PMTF와 사람의 눈에 의한 CSF(contrast sensitivity function)로부터 얻어진다. 본 연구에서는 machine vision 시스템을 이용하였고 다음 식은 전체 광학계의 분광특성을 고려하여 보정하기 위한 광원과 측정하고자 하는 광학계 그리고 detector의 분광 특성을 나타낸다.

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

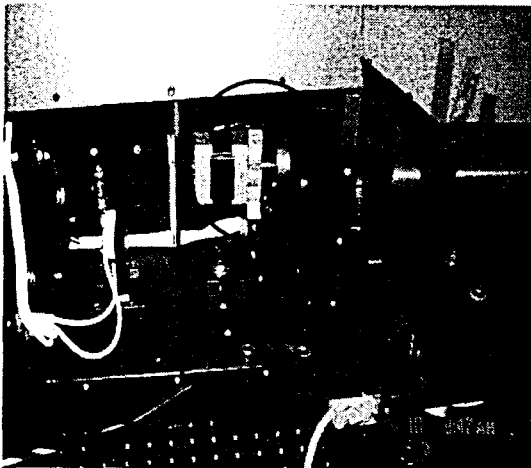
$R(\lambda)$: 전체 광학계의 분광특성, $N_{source}(\lambda)$: 광원의 분광스펙트럼, $R_{det}(\lambda)$: detector의 파장별 민감도, $T_{opt}(\lambda)$: 시험 광학계의 파장별 투과특성 그리고 $T_{filter}(\lambda)$: 측정에 사용되는 필터의 분광 특성을 나타낸다. 다음과 같은 방법으로 광학계의 각 파장별 선분포함수(LSF-Line Spread

Function)를 측정하여 진폭변조함수(MTF-Modulation Transfer Function)를 구한 다음 전체 광학계의 분광특성을 고려한 보정 값을 곱하여 PMTF를 구한다.

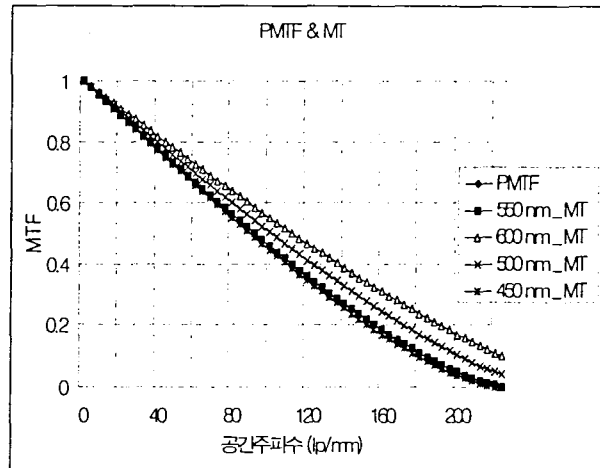
$$MTF(\lambda_i, f_x) = \left| \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} LSF(\lambda_i, x_i) \exp(-2\pi i f_x x_i) dx_i}{\int_{-\infty}^{+\infty} LSF(\lambda_i, x_i) dx_i} \right|$$

$$PMTF(f_x) = \frac{\sum_{i=1}^n MTF(\lambda_i, f_x) R(\lambda_i)}{\sum_{i=1}^n MTF(\lambda_i, 0) R(\lambda_i)}$$

본 실험에서는 표준렌즈를 대상으로 450 nm ~ 650 nm 까지 5 nm 간격의 색필터 5 개를 가지고 간접적으로 POTF를 측정하였고, 이른 바탕으로 백색광하에서 POTF를 측정하여 그 보정 값을 찾고자한다. 그림1. 에는 실험에 사용한 색필터 장비를 나타내고 있고 그림2.에서는 다색광과 단색광에서의 MTF 차이를 모의 실험해 본 것이다.



<그림1. 색필터 장비>



<그림2. 다색광과 단색광에서의 MTF>

참고문헌

1. H. H. Hopkins, Proc. Roy. Soc., 217, pp. 428 (1997).
2. R. Barnden, "Calculation of axial polychromatic optical transfer function", Optica Acta, vol. 21, no. 12, pp. 981-1003 (1974).
3. R. Barnden, "Extra-axial polychromatic optical transfer function", Optica Acta, vol.23, no. 11, pp. 1-24 (1976).
4. 송종섭, "실시간 다색광전달함수의 측정 및 응용연구", 한남대학교, 2003.