

# 비균일 개구변조가 광학계 MTF에 미치는 영향 - II

## Inhomogeneous Aperture Modulation Effects on the MTF of Optical System - II

홍 경 희, 이 윤\*

육군사관학교 물리학과, 군사과학대학원 재료과학과

비균일한 강도분포, 특히 Gaussian 분포로 조명되었을 때 최적 상평면 상에서 광학계의 MTF가 어떻게 변화하는가를 조사하였다. 이론적으로는 계산에 의해 무수차계 및 특정한 Seidel 제1차 수차항이 주어졌을 때 Gaussian 상평면 상에서 MTF의 영향을 조사한 결과가 발표되었다<sup>[1,2]</sup>. 본 연구에서는 국산 쌍안경 대물경을 시험렌즈로 하여 실험적으로 조사하였다. Gaussian 강도분포로 조명하기 위해서 균일하게 시준된 광속에 의해 조명되는 시험렌즈 앞에 진폭변조판을 두어 이를 투과하도록 하였다. 진폭변조판은 미국 Edmund사에서 유리판을 기판으로한 홀로그래픽 필름에 감광시켜 가운데는 투과도가 높고 외곽으로 갈수록 투과도가 낮도록, 즉 Gaussian 분포의 투과도를 갖도록 제조한 것이다. 그 반대는 기존품을 사진필름과 접촉하여 노출, 감광 및 현상하여 제작하였다. 시험렌즈는 유효경 37.5mm, 초점거리 128.04mm인 국산 이중렌즈이다. 렌즈의 수차특성은 시계각, 0°, 1° 그리고 2°에 대하여 초점이동에 따른 spot diagram을 계산하여 그림으로 제시하였다(그림1).

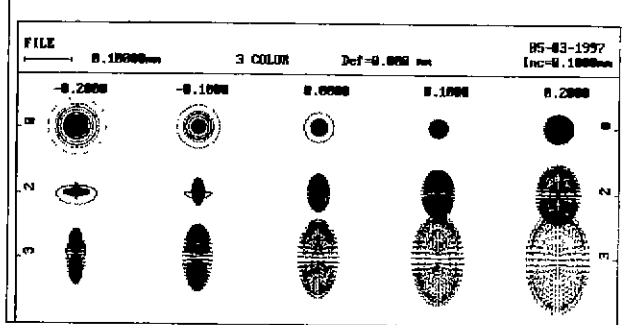


그림1. spot diagram of the lens undertest.

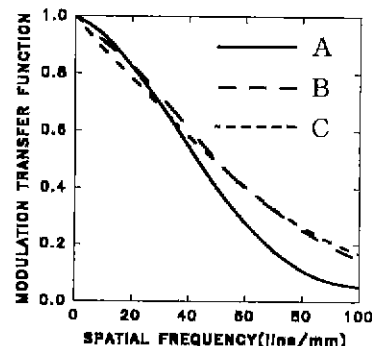
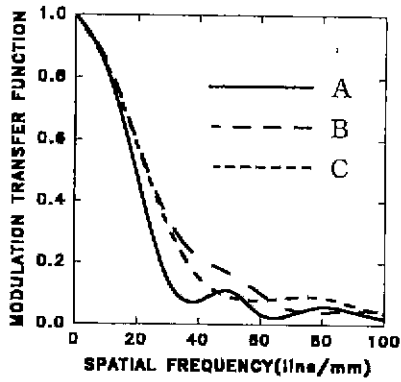


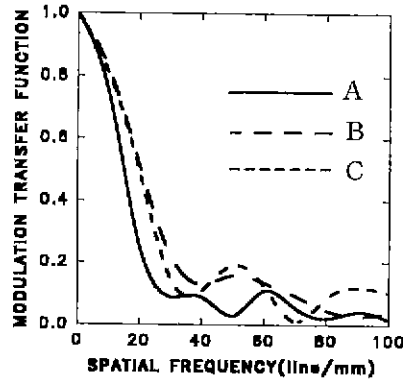
그림2. MTFs on axis.

진폭변조시 광학계의 MTF를 조사하기 위해 주사형 OTF 측정장치를 이용하여 시준광으로 조명되는 시험렌즈 앞에 거의 접촉될 만큼의 위치에 진폭변조판을 위치시켜 MTF를 측정하였다. 축상에서와 시계각 1° 그리고 2°에서 sagittal MTF와 tangential MTF를 측정하여 변조하지 않은 경우의 MTF와 서로 비교하였다.

축상 MTF의 특성은 변조되지 않은 경우(A)가 저주파 영역에서는 가장 높은 값을 가지며 Gaussian 분포의 진폭변조시(B)는 20line/mm 근처부터 그리고 negative Gaussian 분포의 진폭변조시(C)는 약 30 line/mm 이상부터 더 높은 MTF 값을 보여 주었다(그림2). 시계각이 1°에서는 sagittal MTF 값의 특성을 보면 Gaussian 분포의 진폭변조를 실시한 경우 전반적으로 변조하지 않은 경우보다 많이 증가하였고 bump가 별로 나타나지 않고 있다. negative Gaussian 분포의 진폭변조한 경우에는 저주파 영역에서는 약간 변조하지 않은 때보다 낮은 값을 보이고 있지만 10 line/mm 이상의 고주파로 갈수록 전반적으로 변조하지 않은 경우보다 높은 MTF 값을 나타내고 있다. tangential MTF의 특성을 살펴보면 Gaussian 분포의 진폭변조시 변조하지 않은 경우보다 전반적으로 높은 MTF 값을 보여주고 있으며 negative Gaussian 분포의 진폭변조한 경우에는 전반적으로 변조하지 않은 때보다 높은 MTF 값을 보여줄 뿐만 아니라 고주파 영역에서 큰 bump가 나타나서 공간주파수 여과 특성을 잘 나타내주고 있다(그림3).

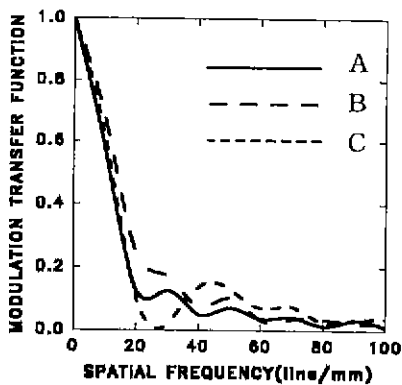


(a) sagittal MTFs

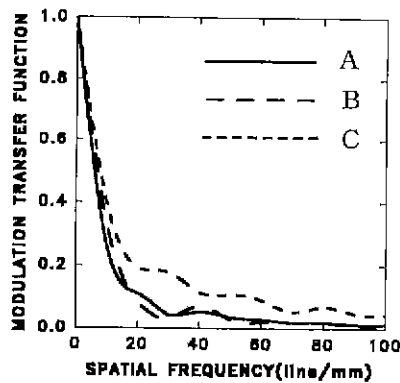


(b) tangential MTFs

그림 3. 시계각 1°일 때의 MTF 특성.



(a) sagittal MTFs



(b) tangential MTFs

그림 4. 시계각 2°일 때의 MTF 특성.

시계각 2°에서도 sagittal MTF의 특성을 살펴보면 Gaussian 분포의 진폭변조시 전반적으로 변조하지 않은 경우보다 크게 증가한 것을 알 수 있다. negative Gaussian 진폭변조시에는 25 line/mm 근처의 주파수 영역에서 깊은 골짜기가 나타나며 45 line/mm 근처에 매우 현저한 bump가 나타나서 공간주파수역과 효과가 현저하게 나타난다. tangential MTF의 특성을 살펴보면 sagittal MTF의 경우와 달리 bump가 별로 크게 나타나지 않고 있다. 그러나 Gaussian 분포의 진폭변조시 전반적으로 변조하지 않은 경우보다 약간 증가한 것을 알 수 있다. negative Gaussian 진폭변조시에는 변조하지 않은 경우에 비해 전반적으로 높은 MTF 값을 보여주고 있으며 30 line/mm 근처에서는 매우 현저한 MTF 값의 증가현상을 보여주고 있다(그림4). 이상으로 보아 Gaussian 진폭 또는 negative Gaussian 진폭변조를 적절히 실시하여 최적 상평면에서 결상하면 광학계의 성능을 크게 향상시킬 수 있다고 확신한다.



참고문헌

1. Chang S. Chung and Harold H. Hopkins, Appl. Opt., 28, 1244-1250 (1989.March).
2. Sang H. Sim and Chang S. Chung, Proc. 16th Congress of the ICO, 9-13 Aug. 1993, Budapest, Hungary, pp 149-150 (1993).