

비균일 개구변조가 광학계 MTF에 미치는 영향

Inhomogeneous Aperture Modulation Effects on the MTF of Optical System

홍 경 회, 송 준 호*

육군사관학교 물리학과, 군사과학대학원 재료과학과

비균일한 강도분포, 특히 Gaussian 분포로 조명되었을 때에 광학계의 MTF가 어떻게 변화하는가를 조사하였다. 이론적으로는 계산에 의해 무수차계 및 특정한 Seidel 제1차 수차항이 주어졌을 때에 MTF의 영향을 조사한 결과가 발표되었다^[1,2]. 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 Edmund 사에서 유리판을 기판으로 한 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 Gaussian 상평면 상에서 ray-fan을 계산하여 그림으로 제시하였다(그림1). 진폭변조시 광학계의 MTF를 조사하기 위해 주사형 OTF 측정장치를 이용하여 시준광으로 조명되는 시험렌즈 앞에 거의 접촉될 만큼의 위치에 진폭변조판을 위치시켜 MTF를 측정하였다. 측상에서와 시계각 1° 그리고 2°에서 sagittal MTF와 tangential MTF를 측정하여 변조하지 않은 경우의 MTF와 서로 비교하였다.

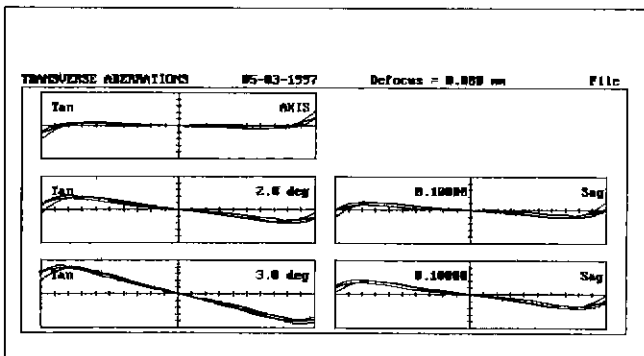


그림 1. ray-fan of the lens under test.

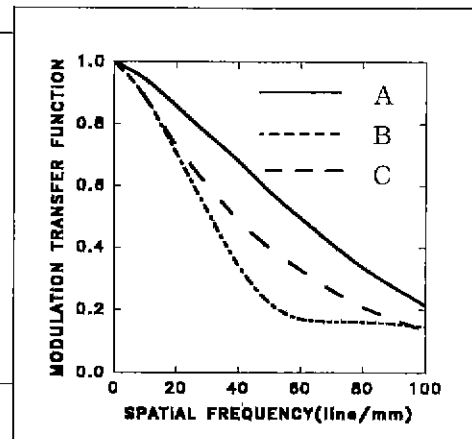


그림2. 측상 MTF 특성.

측상 MTF의 특성은 변조되지 않은 경우(A)가 가장 높은 값을 가지며 Gaussian 분포의 진폭변조시(B)가 중간 정도 그리고 negative Gaussian 분포의 진폭변조시(C)가 가장 낮은 MTF 값을 보여 주었다(그림2). 시계각이 1°에서는, sagittal MTF 값의 특성을 보면 50 line/mm까지는 변조하지 않은 경우가 가장 높은 값을 가지며 그 이후에는 Gaussian 분포의 변조시 더 높은 MTF 값을 가지는 것으로 나타났다. negative Gaussian 분포의 진폭변조를 실시한 경우에는 전체적으로 낮은 MTF 값을 보여 주었고 약 20 line/mm 이상의 고주파에서는 3 군데의 bump가 나타났다. 그러나 tangential MTF의 특성은 40 line/mm 이하의 저주파에서는 Gaussian 분포의 진폭변조시 변조하지 않은 경우보다 더 높은 MTF 값을 보여 주었고, 중간 bump의 위치도 고주파 쪽으로 이동 되었으며, 마지막 bump도 80 line/mm 근처에서

진폭변조하지 않은 경우 보다 더욱 높은 값을 보여 주었다. negative Gaussian분포의 진폭변조를 실시

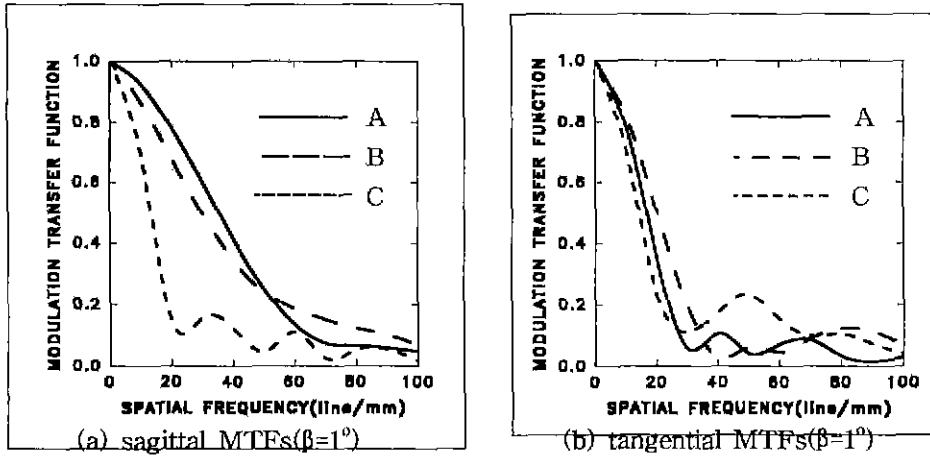


그림 3. 시계각 1일때의 MTF 특성.

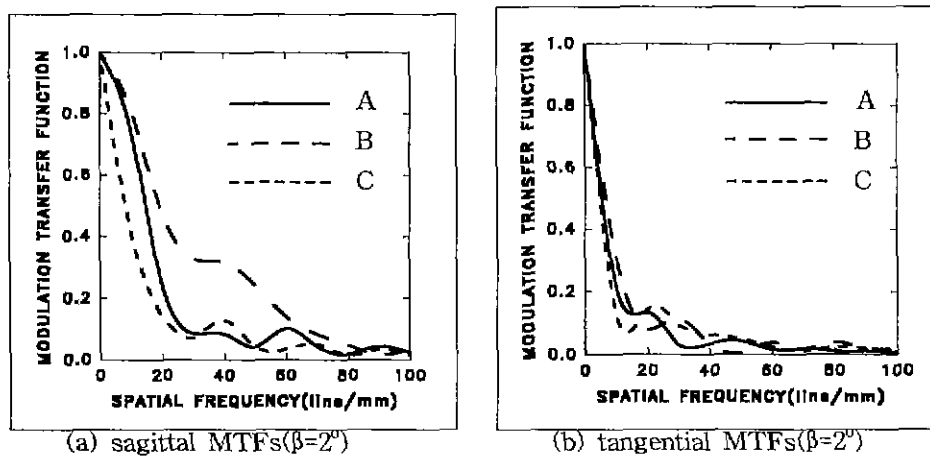


그림 4. 시계각 2°일때의 MTF 특성.

한 경우는 저주파 쪽에서는 진폭변조하지 않은 경우보다 저조한 MTF 값을 나타내었지만 약 50 line/mm 근처에서는 매우 높은 MTF 값의 bump 형태를 보여 주었다. 전반적으로 30 line/mm 이상의 고주파 영역에서 진폭변조하지 않은 경우보다 많은 MTF 증진현상을 보여 주고 있다(그림3). 시계각 2°에서도 sagittal MTF의 특성을 살펴보면, Gaussian 분포의 진폭변조시 전반적으로 변조하지 않은 경우보다 크게 증가한 것을 알 수 있고 90 line/mm 이상의 고주파 영역에서 만 조금 낮아지는 것을 볼 수 있다. negative Gaussian 진폭변조시에는 40 line/mm 근처의 주파수 영역을 제외하고는 전반적으로 변조하지 않은 경우보다 저조한 MTF 값을 보여주고 있다. tangential MTF의 특성을 살펴보면, sagittal MTF의 경우와 유사하게 전반적으로 Gaussian 분포의 진폭변조한 경우는 변조하지 않은 경우보다 크게 증가한 것을 알 수 있고, 골짜기 위치도 고주파 쪽으로 이동한 것을 볼 수 있다. negative Gaussian 진폭변조시에는 변조하지 않은 경우에 비해 20 line/mm 이하의 저주파에서는 저조하고, 그 이상에서는 더 높은 값을 보여주고 있으며, 골짜기 위치도 고주파 쪽으로 이동한 것을 볼 수 있다(그림4).

이상으로 보아 Gaussian 진폭변조를 실시하는 경우가 대체로 시계각이 클 수록 MTF 특성이 향상되는 것으로 판단되며 특히 고주파 영역에서 향상되는 것을 볼 수 있었다.

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).

