

비균일 위상변조가 광학계의 최적상면 MTF에 미치는 영향

Inhomogeneous Phase Modulation Effects on the MTF of Optical System at the Best of Focus

홍 경 희, 이 윤*

육군사관학교 물리학과, *군사과학대학원 재료과학과

leeyun@kma.ac.kr

본 연구에서는 비균일 위상변조 특히 포물면 형태의 위상변조가 광학계의 최적상면 MTF에 미치는 영향을 연구하였다. 앞의 연구와 같은 시험평가 렌즈를 사용하였으며⁽¹⁾, 매 측정시 최적상면을 찾는 auto focussing을 사용하여, MTF를 측정하였다. 위상변조는 시험렌즈 앞에 근접하여 위상변조판을 위치함으로 이루어지며, 위상변조판은 두께 차이로 위상지연을 가하여 위상변조되도록 제작하였다. 위상변조를 실시한 경우와 하지 않은 경우 각각의 축상과 시계각 1° 및 2° 인 비축에 대해 MTF를 측정해서 그 값을 서로 비교하였다. 그 동안 선행된 연구에서는 실제 수차가 큰 국산 쌍안경 대물경에 대해서도 개구 상에서 annular형태로 위상변조를 실시한 경우 광학계 MTF에 미치는 영향에 대해서 연구한 결과 공간주파수 여과효과는 크게 나타나지 않았지만 수차 보정효과는 잘 나타났다⁽²⁾. 수차특성중 spot diagram은 각 시계각에 대하여 defocusing effect까지 고려하여 계산하였고 그 결과를 그림 1에 제시하였다.

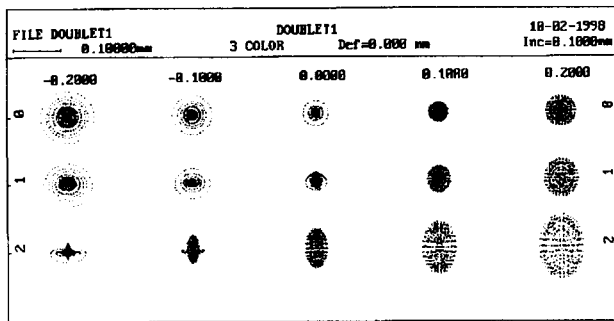


그림 1. spot diagram of the lens undertest.

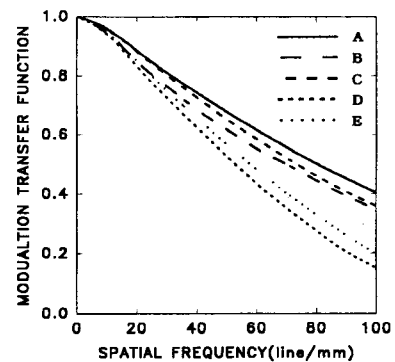


그림 2. 축상 MTFs

본 연구에서도 광학계 MTF에 미치는 영향을 조사하기 위해서 주사형 OTF 측정장치를 이용하였다. 그림 2에서부터 그림 4까지에서 실선은 위상변조하지 않은 경우(A)이고 점선의 길이가 큰 순서로부터 곡률 반경 2000mm positive 포물면 위상변조(B), 4000mm positive 포물면 위상변조(C), 2000mm negative 포물면 위상변조(D), 4000mm negative 포물면 위상변조(E)의 경우이다.

축상 MTF 특성에 있어서 그림 2에서 보는 바와 같이 전반적으로 위상 변조한 경우 MTF값이 낮게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그림 3과 그림 4는 비축 MTF 특성을 보여주고 있다. 그림 3(a)에서 시계

각 1°에서의 sagittal MTFs를 보면 B와 C의 MTF증진 효과가 매우 두드러지게 나타남을 볼 수 있다. 또한 D와 E의 경우도 60line/mm 이후의 영역에서 MTF의 증진이 있음을 볼 수 있다. 그림 3(b)는 시계각 1°에서의 tangential MTFs인데, B,D,E의 경우 50line/mm까지의 저주파 영역에서 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있고, 그 이후에는 크고 작은 값들이 교차하고 있다. 그림 4(a)는 시계각이 2°일 때의 sagittal MTFs인데 여기서도 약 50line/mm 이하의 저주파 영역에서 D,E의 경우 MTF 증진이 있음을 볼 수 있다. 또한 특징적으로 90line/mm 이상의 영역에서 C의 경우 높은 MTF를 보이고 있다. 마지막으로 시계각 2°에서의 tangential MTFs를 나타낸 그림 4(b)의 경우 C를 제외한 나머지의 경우에 전반적인 MTF값의 증진을 볼 수 있으며, 20line/mm 조금 지난 영역에서 모든 경우의 값이 거의 비슷한 값을 나타내고 있는 것이 특징적이다.

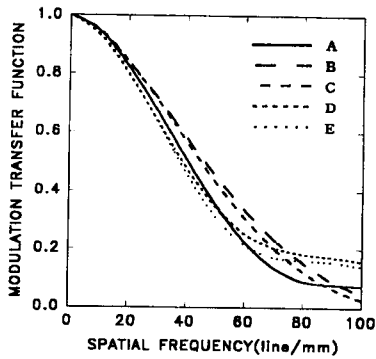


그림 3(a). 시계각 1°의 sagittal MTFs

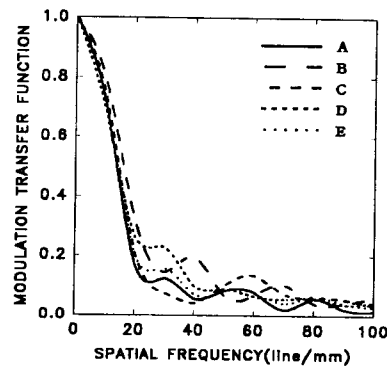


그림 3(b). 시계각 1°의 tangential MTFs

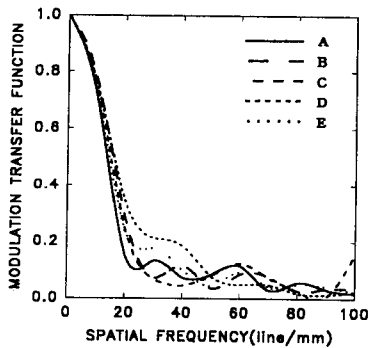


그림 4(a). 시계각 2°의 sagittal MTFs

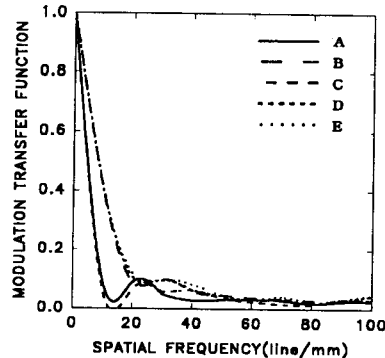


그림 4(b). 시계각 2°의 tangential MTFs

결론적으로 본 연구를 통해 비균일 위상변조 특히 비축상의 저주파 공간주파수 영역에서 negative 포물면 위상변조의 경우 MTF증진이 있음을 보았고, 이에 따라 위상변조의 적절한 사용이 광학계의 결상능력을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- (1) 홍경희, 한국광학회지, 10, 10-11 (1999)
- (2) Kyung Hee Hong, JKPS, 28, 746 (1995)

