

## 2차원 CCD를 이용한 복사기 렌즈의 실시간 MTF 측정

조현모 · 이운우 · 이인원

한국표준과학연구원 광학그룹

김태희 · 최옥식

영남대학교 물리학과

이 환 규

부원광학주식회사

(1995년 10월 16일 받음)

렌즈의 실시간 성능측정을 위하여 MTF 측정장치에 CCD를 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 2차원 CCD를 복사기 렌즈의 실시간 MTF 측정장치에 사용했을 때 CCD에 의한 각종 MTF 특성을 분석하였다. CCD로 측정한 복사기 렌즈의 MTF는 2차원 CCD의 shift register가 배열된 방향과 셔터 속도, 광신호 증폭회로의 증폭률에 따라 다른 특성을 나타내었다. 광원의 밝기에 의한 MTF 값의 변화를 줄이기 위하여 측상면 및 비측상면에서 복사조도가 균일한 광원장치를 제작하였으며 MTF 값이 측정된 표준렌즈를 사용하여 복사기 렌즈용 실시간 MTF 측정장치를 교정하였다.

### I. 서 론

OTF 측정방법은 결상계의 성능평가 방법중 가장 종합적이며 정량적인 평가방법으로 인정되고 있으며 각종 광학계용 OTF 측정장치들이 개발되어 왔다.<sup>[1-5]</sup> 지금까지 개발된 OTF 측정장치는 한개의 시준장치와 상분석 장치를 이용하여 측상에서 측정상평면을 결정한 다음 이 상면에서 측상 및 비측상 OTF를 측정하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 복사기나 팩스 렌즈와 같이 다중 광축에서 실시간 MTF 특성을 측정해야 하는 광학계는 기존에 개발된 OTF 측정장치를 사용하는데 어려움이 있다. 복사기나 팩스 렌즈의 경우 측정상평면이 측상 및 여러개의 비측상에서 MTF를 측정했을 때 전체적으로 가장 높은 MTF 값을 나타내는 상면이며 이 측정상평면을 측정하기 위해서는 여러개의 비측에서 동시에 MTF를 측정할 수 있는 장치가 요구된다. 본 연구실에서는 여러개의 십자선 물체를 사용하고 미세이동장치 위에 부착된 세개의 2차원 CCD를 사용하여 디지털 주사함으로써 radial 및 tangential MTF를 측상과 비측상에서 동시에 측정할 수 있는 복사기 및 팩스 렌즈용 실시간 MTF 측정장치를 개발하였으며 배율, 편심, 회전각도에 따른 최적방향 등의 여러 변수들도 매우 신

속하게 자동으로 측정할 수 있도록 하였다.<sup>[6]</sup> 그러나 2차원 CCD의 각종 특성 때문에 나타나는 여러가지 문제점들을 발견하였다. CCD는 charge coupling 방법을 이용하여 각각의 화소에 빛에너지의 세기에 따라 축적된 전하를 shift register를 이용하여 측정하는 장치이며 전하 전달효율에 따라 shift register 내에 잔류 전하가 발생할 수 있다. 이러한 잔류 전하가 많이 발생할 수록 전하 전달효율이 나빠지며 CCD의 MTF 값이 변하게 된다. 파장에 따른 분광감응도와 전하전달 효율 등이 CCD의 설계, 제작 방법에 따라 달라지기 때문에 MTF 측정장치 등에 CCD를 이용할 경우 CCD의 MTF 특성을 반드시 측정하여야 한다. 본 연구에서는 이미 제작된 MTF 측정장치의 성능을 개선하기 위하여 복사기 렌즈의 MTF 측정시 2차원 CCD의 각종 특성을 측정하였으며 자동 미세이동장치와 광원부, 시험렌즈 고정부, MTF 측정 컴퓨터 프로그램 등을 개선하였다. 또한 개선된 MTF 측정장치의 성능을 평가하기 위하여 본 연구실이 보유하고 있는 칼날주사형 OTF 측정장치를 사용하여 복사기 렌즈의 MTF를 비교 측정하였으며 교정된 복사기 렌즈용 실시간 MTF 측정장치를 이용하여 복사기 렌즈의 MTF 특성을 측정하였다.

II. CCD를 이용한 복사기 렌즈의 MTF 측정 이론

그림 1은 복사기 렌즈의 축상 및 비축상 MTF를 실시간에 측정하기 위하여 구성한 측정장치의 개략도를 나타내며 그림 1에 나타난 렌즈는 본 연구에서 측정된 복사기 렌즈의 대략적인 형태를 보여준다. 물체면에 radial 방향과 tangential 방향으로 배열된 여러개의 슬릿에 의해 상면에 맺힌 상의 분포함수를 3개의 CCD로 측정한다. 다음 푸우리에 변환하여 MTF를 계산한다. 만약 슬릿의 폭을  $a$ , 렌즈의 배율을  $m$ , CCD의 화소간격을  $\Delta l$ , 그리고 공간주파수를  $u$ 로 나타내면 렌즈의 MTF  $M(u)$ 는 상면에서 배율에 의한 슬릿의 이상적인 광세기분포와 실제 상의 광세기 분포함수에 대한 푸우리에 변환 값의 비이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[7]</sup>

$$M(u) = \frac{\pi u a}{\sin(\pi u a)} \cdot \frac{\sqrt{\left(\sum_{k=0}^B I_k \cos \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2 + \left(\sum_{k=0}^B I_k \cos \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2}}{\sum_{k=0}^N I_k} \quad (1)$$

여기서  $I_k$ 는 CCD의  $k$ 번째 화소에 대응하는 슬릿 상의 표본값이다. 윗식의 우변에서  $\text{sinc}(\pi u a)$  함수는 슬릿의 MTF를 나타내며 렌즈의 배율에 관계없이 슬릿 폭의 크기에 의해서만 표현됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 폭  $20 \mu\text{m}$ 의 슬릿을 물체로 사용하였으며 CCD 화소간격은 가로  $9.9 \mu\text{m}$ 와 세로  $9.6 \mu\text{m}$ 이다. 슬릿 상의 광세기 분포를 측정하는 CCD는 화소크기와 간격이 일정하게 고정되어 있으므로 물체의 공간주파수에 따라 MTF 값이 달라진다. 그러므로 CCD를 사용할 경우에는 물체와 시험렌즈의 공간주파수 영역을 고려하여 보정하여야 한다.

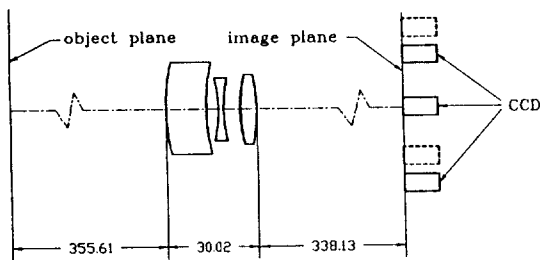


그림 1. 여러개의 CCD를 이용한 복사기 렌즈의 실시간 MTF 측정 원리 (단위: mm).

만약 공간주파수  $u$ 의 sinusoidal 물체가 화소간격과 크기가  $\Delta l$ ,  $x_1$ 인 CCD 위에 결상된 경우 상의 위상차에 의하여 공간주파수에 따라 출력의 대비도(contrast)가 달라진다. CCD의 MTF 값을 보정하여 구한 시험렌즈의 MTF는 다음과 같이 나타난다.<sup>[7]</sup>

$$MTF = \frac{\pi u a}{\sin(\pi u a)} \cdot \frac{\pi u x_1}{\sin(\pi u x_1) \cos\left(\frac{\Delta l u \pi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta l u \pi}{4}\right)} \cdot \frac{\sqrt{\left(\sum_{k=0}^B I_k \cos \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2 + \left(\sum_{k=0}^B I_k \cos \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2}}{\sum_{k=0}^N I_k} \quad (2)$$

III. 측정장치 및 MTF 측정 컴퓨터 프로그램 개선

1. 측정장치 개선

그림 2는 MTF 측정장치의 개략도를 나타내며 본 연구에서는 자동 미세이동장치와 광원부, 시험렌즈 고정부 등을 개선하였다. 복사기 렌즈의 측정상면은 축상 및 비축상에서 전체적인 MTF값이 가장 높은 상면을 측정해야 하므로 물체, 렌즈, 삼각출기의 이동정밀도를 높이기 위하여 그림 2의 자동미세이동장치에서 M1, M2, M3 스테핑 모터의 정밀도를  $10 \mu\text{m}$ 에서  $5 \mu\text{m}$ 로 개선하였다. 복사기 렌즈의 광원부는 물체와 물체를 조명하기 위한 조명장치로 구성된다. 처음 제작된 복사기 렌즈용 물체는  $20 \mu\text{m}$  폭의 십자선 물체를 A3, A4 등의 용지크기와 비축상 물체 높이에 따라 각각 다르게 제작된 알루미늄판 위에 배치하였으나 알루미늄판의 휨을 방지하고 광축정렬을 정확하게 하기 위하여 알루미늄판 대신 전체 유리판 위에 직접 물체를 리소그래픽 방법으로 제작하였다. 처음 제작된 물체는 광축을 중심으로 좌우 최대 상높이를 각각  $-h'_{\max}$ ,  $+h'_{\max}$ 라 할 때 복사기 렌즈의 경우 광축과  $\pm 0.75h'_{\max}$ ,  $\pm 1.0h'_{\max}$ 인 비축각도에, 팩스렌즈인 경우 광축과  $\pm 0.7h'_{\max}$ ,  $\pm 1.0h'_{\max}$ 인 비축각도에 물체를 배치하였다. 그러나 최근에 제작된 복사기 렌즈는 광축과  $\pm 0.7h'_{\max}$ ,  $\pm 0.9h'_{\max}$ 에서 MTF 측정결과를 요구하는 경우도 있어 비축상면에서 상의 높이를 다양화하기 위하여 광축과  $\pm 0.7h'_{\max}$ ,  $\pm 0.75h'_{\max}$ ,  $\pm 0.9h'_{\max}$ ,  $\pm 1.0h'_{\max}$ 인 비축각도에 물체를 배치하였으며 그림 3은 제작된 물체를 보여준다. 물체를 조명하기 위한 광원은 텅스텐 필라멘트 램프를 물체면에 여러개 배치하였으나 여러개의

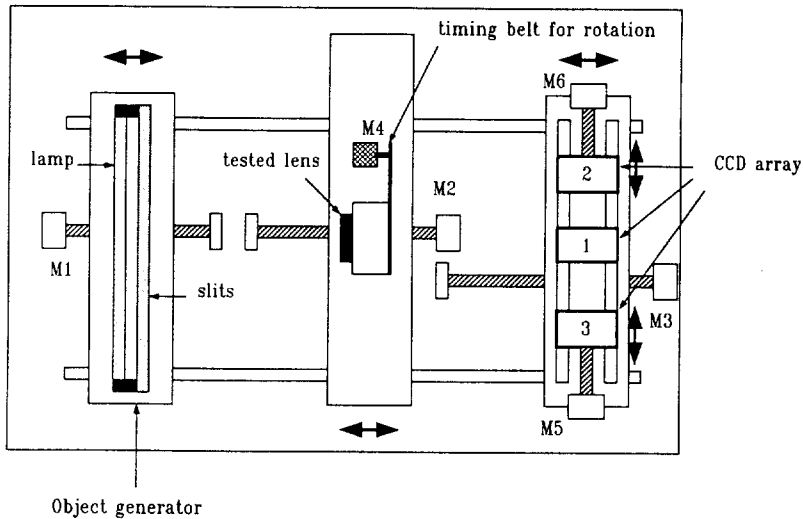


그림 2. 제작된 복사기 렌즈의 실시간 MTF 측정장치 개략도.

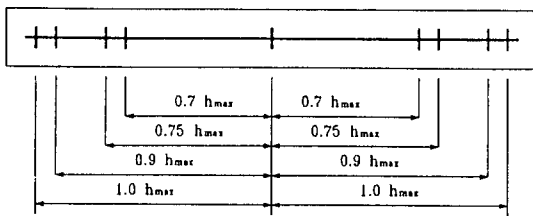


그림 3. MTF 측정장치의 복사기 측정용 물체.

비측각도에서 균일한 조명을 할 수 없었으며 2차원 CCD로 측정된 렌즈의 MTF 측정값이 상면의 복사조도에 따라 다른값을 나타내어 측정에 어려움이 있었다. 본 연구에서는 텅스텐 필라멘트 램프 대신 2개의 형광등을 직류전원에 연결하고 반사판과 여러개의 확산판(diffuser)을 이용하여 물체면의 밝기를 균일하게 조명하였다.

**2. MTF 측정 컴퓨터 프로그램 개선**

상면에서 슬릿상의 복사조도 분포를 실시간에 측정하기 위하여 측상에 1개, 비측상에 2개의 2차원 CCD를 사용하였다. 그림 4는 2차원 CCD를 이용한 슬릿상의 수평 및 수직주사 방법을 나타낸다. 그림 4(a)에 나타난 것처럼 주사선이 슬릿상과 겹칠 경우 수직주사에서는 수평성분에 의한 복사조도 분포가 첨가되고 수평주사에서는 수직성분에 의한 복사조도 분포가 겹쳐서 측정오차를 유발할 수 있다. 측상과 4개 비측상에서 MTF를 측정할 때 수직과 수평성분으로 나누면 10가지의 복사조도 분포를 얻어야 하며 광축정렬을 주의해서 하더라도

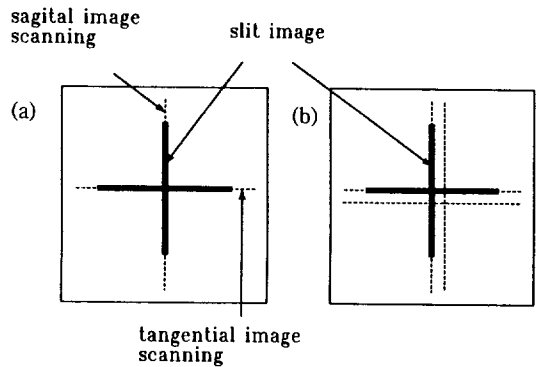


그림 4. CCD에서 슬릿 이미지의 수직 및 수평 주사.

한 두개의 위치에서 이러한 겹치는 현상이 나올 수 있다. 본 연구에서는 슬릿상이 주사선과 겹치는 경우 그림 4(b)와 같이 50개의 화소만큼 이동된 주사선을 선택해서 슬릿상의 복사조도를 측정하도록 컴퓨터 프로그램을 개선하였으며 한개의 주사선 대신 5개의 주사선을 읽어 평균함으로써 측정정밀도를 향상시켰다.

**IV. MTF 측정장치 교정**

**1. 칼날주사방법에 의한 복사기 렌즈의 MTF 측정**

복사기용 실시간 MTF 측정장치를 교정하기 위하여 본 연구실이 보유하고 있는 칼날주사형 OTF 측정장치로 복사기 렌즈의 MTF를 측정하였다. 본 연구실이 보유하고 있는 칼날주사형 OTF 측정장치는 점 혹은 슬릿을 물체로

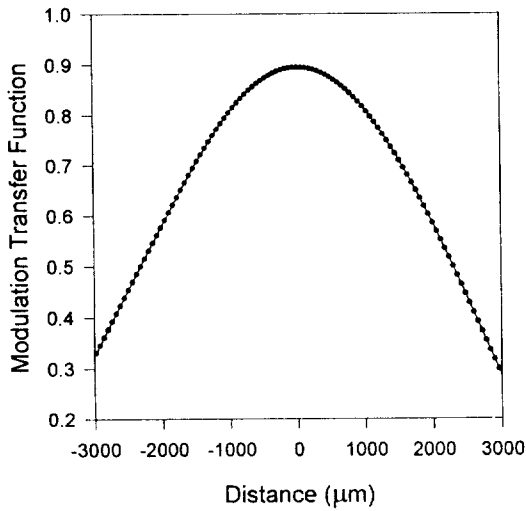


그림 5. 칼날주사형 OTF 측정장치로 측정된 복사기 렌즈의 defocus에 의한 MTF

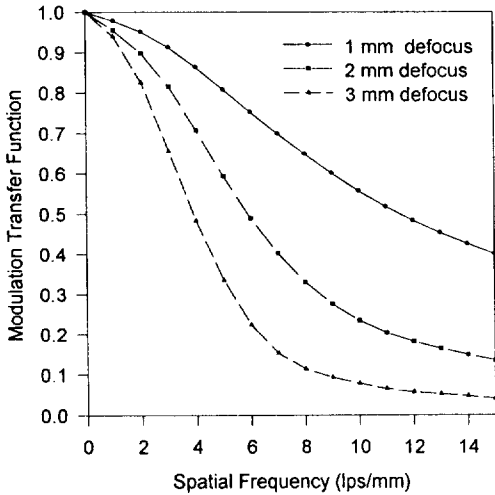


그림 6. 축상의 최적상평면과 최적상평면에서 1 mm, 2 mm, 3 mm defocus된 상면에서 측정된 MTF 값.

사용하고 광신호 검출은 광전자증배관을 사용하며 스테핑 모터에 부착된 칼날로 최소  $0.1 \mu\text{m}$  간격으로 상면의 복사조도 분포를 정밀하게 측정할 수 있다. 이 칼날주사형 OTF 측정장치의 측정불확도는 비축상에서  $\pm 0.04$ , 축상에서  $\pm 0.03$ 이며 카메라를 비롯한 정밀광학계의 OTF 측정에 주로 사용된다. 그림 5는 칼날주사형 OTF 측정장치로 측정된 복사기 렌즈의 defocus에 의한 MTF이며 그림 6은 축상의 최적상평면과 최적상평면에서 1 mm, 2 mm, 3 mm defocus된 상면에서 측정된

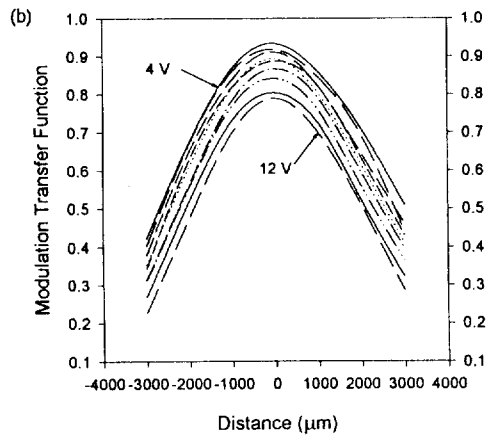
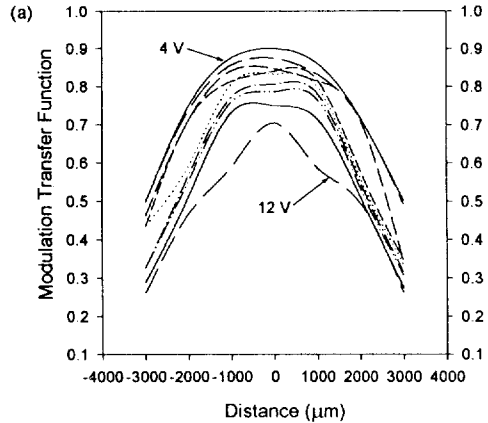


그림 7. 12V, 50W 텅스텐 필라멘트 램프의 입력전압에 따른 MTF의 변화특성. (a) tangential MTF, (b) radial MTF.

MTF값들을 보여준다.

## 2. 2차원 CCD를 이용한 복사기 렌즈의 MTF 측정 및 교정

본 연구에서는 3개의 2차원 CCD(삼성항공 BW-360 ED)를 사용하였으며 광축과 일치하는 상면에 고정된 1개의 CCD를 배치하고 2개의 CCD는 스테핑 모터가 부착된 translator 위에 설치하여 측정을 원하는 비축상점으로 이동할 수 있도록 하였다. 사용된 2차원 CCD의 화소수는  $682 \times 492$ 이며 단위화소의 간격은  $9.6 \times 9.9 \mu\text{m}$ 이다. Relay 렌즈로 상을 확대하지 않고 직접 상면에 2차원 CCD를 설치하여 복사기 렌즈의 MTF를 측정할 경우 단위화소의 간격이 크기 때문에 카메라와 같은 고급 광학계의 성능평가에는 사용할 수 없다. 본 연구에 사용된 복사기 렌즈의 경우에도 축상의 최적상평면에서는

정확한 line spread function을 측정하는데 오차를 발생시킬 수 있다. 본 연구에 사용된 복사기 렌즈의 경우 최적상평면에서 line spread function의 FWHM 공간선 폭이 15  $\mu\text{m}$  정도이므로 10  $\mu\text{m}$  정도의 단위화소로는 정확한 line spread function을 직접 측정하기 어렵고 보조광학계를 사용하여 상의 크기를 확대해야 한다. 그러나 복사기 렌즈는 축상 및 비축상면에서 전체적으로 가장 높은 MTF를 가지는 면에서 실제로 사용되기 때문에 이 측정상평면에서 line spread function의 FWHM 공간선 폭은 50  $\mu\text{m}$  이상이므로 충분한 정밀도로 line spread function을 CCD로 직접 측정할 수 있다. 본 연구에서 측정된 복사기 렌즈의 경우 측정상평면이 대체적으로 축상의 최적상평면으로부터 2 mm 근방에 있었다. 따라서 축상의 최적상평면으로부터 2 mm defocus된 상면에서 복사기 렌즈의 MTF를 측정하였으며 칼날주사방법에 의한 OTF 측정장치로 측정된 MTF 값을 이용하여 2차원 CCD를 이용한 실시간 MTF 측정장치를 고정하였다. 그림 7은 광원의 밝기에 따른 MTF 측정값의 변화를 보여준다. 그림 7은 12V 50W 텅스텐 필라멘트 램프를 광원으로 사용하고 광원에 공급되는 전압을 4~12V로 변화시키면서 복사기 렌즈의 MTF를 축상에서 측정한 결과이며 상면에서 촛점심도에 따라 광축방향으로 6 mm defocus에 의한 MTF 값을 보여준다. 그림 7에서 광원에 공급되는 전압이 12V에서 가장 낮은 MTF 값을 나타내고 전압이 낮아수록 점차적으로 MTF 값이 커지며 4V일 때 가장 높은 MTF 값을 나타냄을 알 수 있다. 또한 radial과 tangential 방향의 MTF 특성이 광원의 밝기에 따라 다르게 나타남을 알 수 있었다. 이는 CCD의 구조와 광신호처리 방법에 의해 나타나는 현상이다. 전하전달 효율 등이 CCD의 설계, 제작 방법에 따라 달라지며 CCD 각 화소에 저장될 수 있는 신호전하에 제한이 있기 때문에 포화 노출 이상의 빛에너지가 CCD에 입사할 때 상이 번지는 현상이 나타나서 MTF값이 작아지게 된다. 본 연구에 사용된 CCD의 경우 가로 방향의 주사선을 따라 CCD의 shift register가 배열되어 있으며 한 화소에서 강한 빛에 의해 포화된 전하나 제작특성에 의해 발생한 잔류전하가 가로방향에 있는 인접한 다른 화소에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 세로 방향의 화소들은 서로 독립적이며 한 화소에서 발생한 전하가 세로 방향의 다른 화소의 빛에너지 검출특성에 직접 영향을 미치지 않는다. 따라서 가로방향으로 배열된 화소로 슬릿상을 측정할 경우 세로 방향으로 배열된 화소들에 비해 광원의 밝기에 따른 MTF값의 변화가 크게 나타나며 특히 CCD면의 복사조도가 높을 때 더욱 심하게 나타남을 알

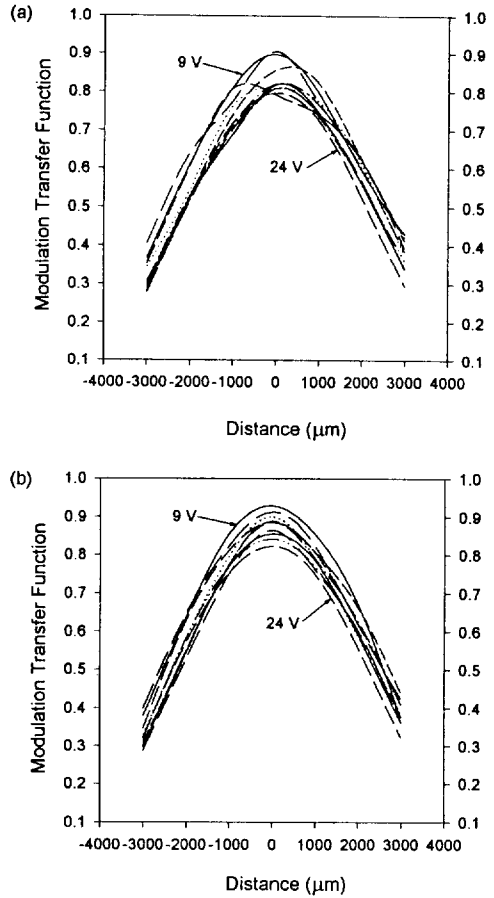


그림 8. 24 V, 20 W 형광등의 입력전압에 따른 MTF 변화특성.  
(a) tangential MTF, (b) radial MTF.

수 있다. CCD로 복사기 렌즈의 MTF를 측정할 때 셔터 속도와 광신호 증폭회로의 증폭률에 따라서도 MTF값에서 다른 특성을 나타내었다. 광신호 증폭회로의 증폭률이 클수록 MTF 측정값이 칼날주사형 OTF 측정장치로 측정된 값보다 더 작은 값을 나타내었으며 쉽게 포화 특성을 나타내었다. 그러나 낮은 증폭률에서는 광원의 밝기에 따른 MTF 측정값의 변화가 비교적 작게 나타남을 알 수 있었다. 측정장치의 광원으로 여러개의 텅스텐 필라멘트를 물체면에 배열하고 diffuser를 사용했을 때 상면에서 균일한 복사조도의 분포를 얻기 어려웠으며 상면의 복사조도 변화가 클수록 더 큰 MTF 측정오차를 나타내었다. 본 연구에서는 광신호 증폭회로의 증폭률을 최소로 하고 셔터 속도는 1/100초로 하였으며 CCD면의 복사조도가 높고 축상 및 비축상면에서 균일하도록 형

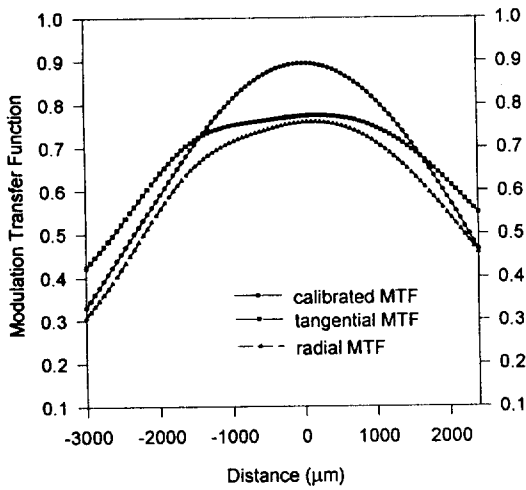


그림 9. 측정상평면 근방에서 MTF의 교정.

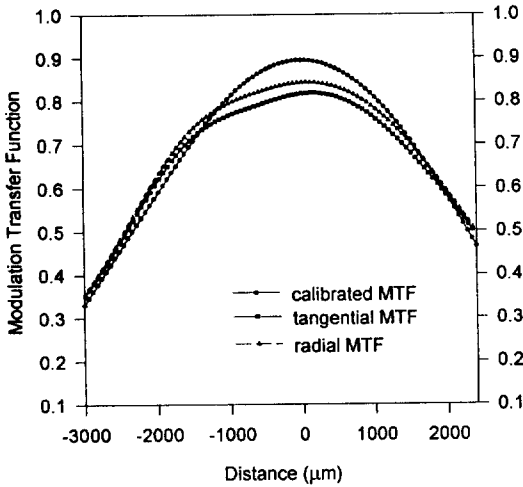


그림 10. 보정후에 측정상평면 근방에서 defocus에 의한 MTF

광등을 이용한 광원장치를 제작하였다. 형광등을 광원으로 사용했을 때 텅스텐 필라멘트 램프에 비해 공급되는 전압의 변화에 의한 복사조도의 변화폭이 크지 않았으며 상면전체의 밝기를 비교적 균일하게 조정할 수 있었다. 그림 8은 2개의 24V 20W 형광등을 광원으로 사용하고 광원에 공급되는 전압을 9~24V로 변화시키면서 측정한 복사기 렌즈의 MTF 특성을 radial과 tangential 에서 보여준다. 텅스텐 필라멘트 램프에 비해 광원에 공급되는 전압변화에 의한 MTF값의 변화가 심하지 않음을 알 수 있다. MTF 측정오차를 최소화 하기 위해 형광등에 공급되는 직류 전압을 일정하게 하고 측상 및 비측상면의

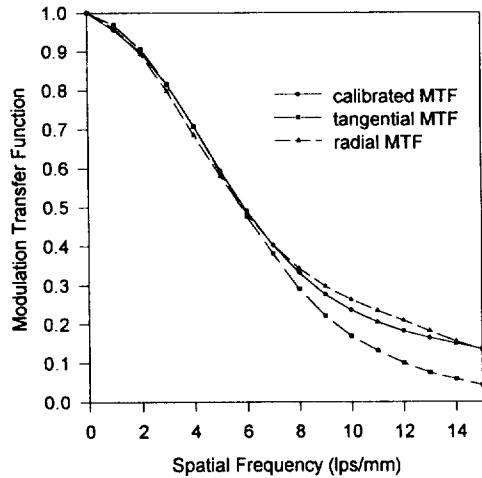


그림 11. 초점이동에 따른 MTF의 변화.

밝기를 최대한 균일하도록 diffuser를 배치한 다음 칼날 주사형 OTF 측정장치로 MTF 값이 측정된 복사기 렌즈의 MTF를 비교 측정하여 측정장치를 교정하였다. 복사기 렌즈의 MTF는 측정에 사용된 CCD에 따라 약간의 차이가 있었으며 그림 9는 측정상평면 근방에서 측상에 있는 CCD로 측정된 복사기 렌즈의 MTF를 칼날주사형 OTF 측정장치로 측정된 값과 비교해서 나타내고 있다. 그림 9에 나타난 것처럼 2차원 CCD로 측정한 복사기 렌즈의 MTF는 칼날주사형 OTF 측정장치로 측정된 결과와 측상의 최적상평면 근방에서는 큰 측정오차를 나타내고 있으나 최적상평면으로부터 1 mm 이상 떨어진 상평면에서는 10% 정도의 오차를 나타내었으며 실제값과 일치시키기 위해 MTF 값의 보정이 필요함을 알 수 있다. 그림 10은 보정후에 측정상평면 근방에서 defocus에 의한 MTF를 보여주며 그림 11은 측상의 최적상평면으로부터 2 mm defocus된 상면에서 측정된 MTF 값을 칼날주사형 OTF 측정장치와 비교하여 보여준다.

### V. 복사기 렌즈의 MTF 측정

복사기 렌즈에서 실제 사용될 상면은 측상에서 MTF 값이 최대인 평면이 아니고 상면의 MTF 값이 주어진 공간주파수에서 전체적으로 높은 면으로 선택된다. 본 실험에서는 광축과  $\pm 0.7h'_{max}$ ,  $\pm 0.75h'_{max}$ ,  $\pm 0.9h'_{max}$ ,  $\pm 1.0h'_{max}$ 인 비측각도에서 MTF를 측정하였으며 렌즈의 특성에 따라 측상과 2개의 비측각도에서 측정상평면을 측정하였다. 그림 12는 측상과  $\pm 0.7h'_{max}$ ,  $\pm 0.9h'_{max}$ 에서 전체적으로 최대의 MTF값을 나타내는 상면을 구하기

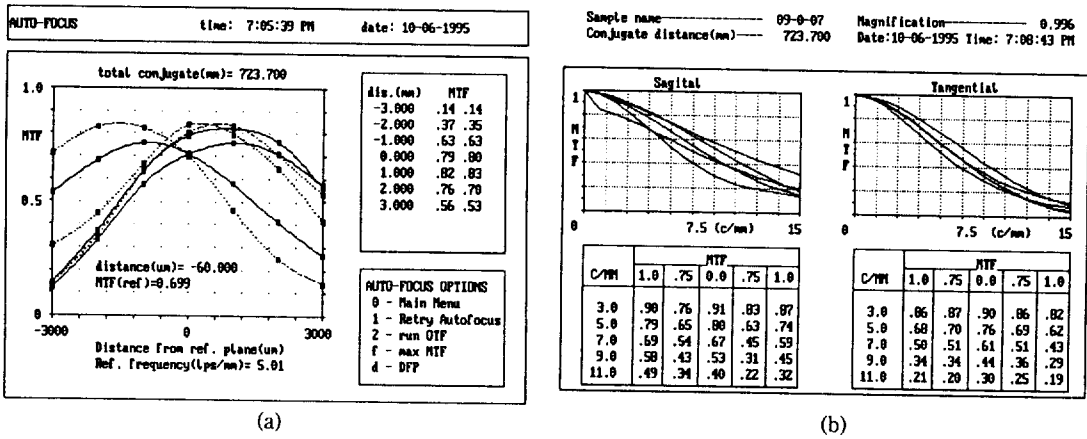


그림 12. (a) 축상과  $-0.9h'_{max}$ ,  $+0.7h'_{max}$ 에서 최대의 MTF를 나타내는 평면을 측정된 결과, (b) 측정상평면에서 공간주파수 변화에 따른 MTF.

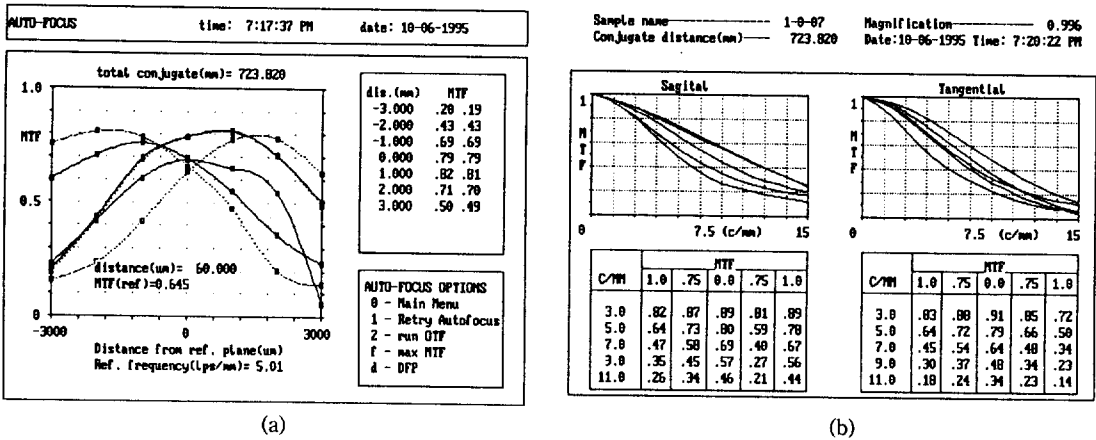


그림 13. (a) 축상과  $-1.0h'_{max}$ ,  $+0.75h'_{max}$ 에서 전체적으로 최대의 MTF값을 나타내는 상면, (b) 측정상평면에서 공간주파수 변화에 따른 MTF.

위해 초점심도에 따라 공간주파수 5 lps/mm에서 MTF를 측정된 결과이다. 그림 12(a)는 축상과  $-0.9h'_{max}$ ,  $+0.7h'_{max}$ 에서 최대의 MTF를 나타내는 평면을 측정된 결과이며 그림 12(b)는 이 측정상평면에서 공간주파수 변화에 따른 MTF를 나타낸다. 같은 방법으로 축상과  $-0.7h'_{max}$ ,  $+0.9h'_{max}$ , 축상과  $-0.9h'_{max}$ ,  $+0.9h'_{max}$ 에서 측정상평면을 측정된 결과는 그림 12(a)의 경우와 약간의 차이를 나타내었다. 이와 같이 비축각도의 선택에 따라 측정상평면이 약간씩 다른 이유는 광축정렬 오차나 렌즈의 편심에 의해 나타날 수 있다. 그림 13은 축상과  $-1.0h'_{max}$ ,  $+0.75h'_{max}$ 에서 전체적으로 최대의 MTF값을 나타내는 상면을 구하기 위해 그림 12에서와 같은 방법으로 초점심도에 따라 공간주파수 5 lps/mm에서

MTF를 측정된 결과와 이 상평면에서 측정된 MTF를 나타낸다. 그림 13에서 복사기 렌즈의 MTF값은 그림 12에 나타난 값보다 작은 값을 나타내며 측정상평면은 비축각도의 선택방법에 따라 각각의 경우에 대하여 약간의 차이를 볼 수 있었다.

## VI. 결 론

2차원 CCD를 이용한 다중광축 MTF 측정장치의 성능을 개선하기 위하여 복사기 렌즈의 MTF 측정시 2차원 CCD의 각종 특성을 측정하였으며 자동 미세이동장치와 광원부, 시험렌즈 고정부, MTF 측정 컴퓨터 프로그램 등을 개선하였다. CCD로 측정된 복사기 렌즈의 MTF는

광원의 밝기, 셔터 속도, 광신호 증폭회로의 증폭률에 따라 다른 특성을 나타내었으며 shift register가 배열된 가로방향과 이에 수직인 세로방향에서 다른 특성을 나타내었다. 광신호 증폭률을 최소로 했을 때 광원의 밝기에 의한 MTF값의 변화가 작았으며 측정 및 비측상면에서 균일한 복사조도를 얻기 위해 형광등과 반사판을 이용한 광원장치를 제작하였다. 또한 개선된 MTF 측정 장치의 성능을 평가하기 위하여 본 연구실이 보유하고 있는 칼날주사형 OTF 측정장치를 사용하여 복사기 렌즈의 MTF를 비교 측정하였으며 교정된 복사기 렌즈용 실시간 MTF측정장치를 이용하여 복사기 렌즈의 MTF 특성을 측정하였다.

**감사의 글**

본 연구를 수행함에 있어 광학 및 기계부품 제작에 도움을 준 본 연구원의 이회윤, 이재협씨에게 감사드립니다

니다.

**참 고 문 헌**

- [1] E. Ingelstam, E. Djurle and B. Sjogren, J. Opt. Soc. Am., **46**, 707(1956).
- [2] L. R. Baker, J. Appl. Phys. Japan, 4, Supplement 1, 146(1965).
- [3] 砂金 光記, O plus E, 8월호, 67(1982).
- [4] K. H. Hong, I. W. Lee, H. M. Cho, and Y. W. Lee, Appl. Opt. **26**, 4423(1987).
- [5] 이윤우, 조현모, 이인원, 홍경희, 응용물리, **3**, 153 (1990).
- [6] 이윤우, 조현모, 이인원, 한국광학회지, **6**, 8(1995).
- [7] 이윤우, 조현모, 이인원, 박태호, 윤성균, 서형원, 한국광학회지, **5**, 364(1994).

**Real time MTF Measurement of Copy Lenses by two-dimensional CCDs**

Hyun Mo Cho, Yun Woo Lee and In Won Lee

*Optics Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600, Korea*

Tae Hee Kim and Ok Shik Choe

*Youngnam University, Dept. of Physics, Kyungsan 712-749, Korea*

Hwan Kew Lee

*Boowon Optical Co. Ltd., Buchon 422-040, Korea*

(Received: October 16, 1995)

Charge-coupled device(CCD) array detectors are widely used in real time modulation transfer function(MTF) measurement systems. This paper presents the characteristics of two-dimensional CCDs used in a real time MTF measurement system for copy lenses. The MTF characteristics of a copy lens measured by this equipment show different results according to the direction of shift register, shutter speed and the amplifier gain of CCDs. An object generator is fabricated to reduce the variation of MTF values for the irradiance nonuniformity in on-axis and off-axis image plane and this MTF equipment is calibrated by using a standard lens.