

CCD를 이용한 미세렌즈의 MTF 측정

이운우 · 조현모 · 이인원

한국표준과학연구원, 광학그룹

박태호 · 윤성균 · 서형원

삼성코닝(주) 연구소

(1994년 8월 23일 받음)

미세렌즈 배열의 실시간 분해능 평가를 위하여 CCD를 이용한 MTF 측정장치를 제작하였다. 현미경 대물렌즈로 상을 확대한 후 CCD를 사용하여 직접 광세기 분포함수를 측정하였으며 사용된 CCD의 화소 크기와 간격, 그리고 감도의 균질성 등을 고려하여 측정된 MTF를 보정하였다. 마이크로 컴퓨터를 사용하여 측정자동화 하였으며 자세한 보정방법과 측정장치에 대하여 설명하였다.

I. 서 론

복사기나 팩스의 이미지 주사를 위한 CIS(Contact Image Sensor), CCD(Charge Coupled Device)나 액정 투사 TV의 개구효율을 향상시키기 위한 집속렌즈, 그리고 광섬유나 LED 배열간의 다중연결소자 등에 사용되는 미세렌즈는 보통 직경이 0.1~1 mm이고 물체와 상 사이의 거리는 10~60 mm 이내인 초소형 배열렌즈이다.^[1] 이러한 렌즈는 시각적 정보를 전기적 신호로 전환하거나 혹은 전기적 신호를 시각적 정보로 표시해주는 정보처리용 광입출력장치로서 정보산업에 대한 수요 확대 추세에 따라 수요가 급격히 증가하고 있다. 현재 미세렌즈를 제작하기 위하여 여러가지 방법들이 사용되고 있지만 국내에서는 굴절률 분포렌즈 기술과 감광성 유리를 이용한 이온교환방법, 그리고 광리소그래피 기술을 이용한 Fresnel 유대판을 이용한 방법 등을 사용하고 있다.^[2,3] 렌즈의 규격과 성능은 사용목적에 따라 다르지만 제작된 미세렌즈의 성능은 주로 MTF(Modulation Transfer Function)와 초점심도(Depth of Focus)를 측정하여 평가한다.^[1] 그러나 미세렌즈의 초점깊이가 매우 짧고 주로 배열형이기 때문에 기존의 주사형 OTF 측정장치를 사용하여 많은 수의 렌즈를 실시간에 평가하기에는 구조적인 어려움이 있었다.^[4]

본 연구에서는 CIS용 미세렌즈 배열의 성능을 실시간에 평가하기 위하여 CCD(Charge Coupled Device)를 사용한 MTF 측정장치를 개발하였다. 렌즈와 상간 거리

가 매우 짧기 때문에 현미경 대물렌즈로 상을 전송, 확대한 후 CCD를 사용하여 직접 광세기 분포함수를 측정하였다. 사용된 CCD의 화소 크기와 간격, 그리고 감도의 균질성 등을 고려하여 측정된 MTF를 보정하였으며 마이크로 컴퓨터를 사용하여 측정자동화 하였다.

II. CIS용 미세렌즈의 사양과 특징

팩스 입력장치나 이미지 스캐너에서 원고의 시각적 정보를 배열검출기에 1:1 비율로 결상시키는 CIS는 그림 1과 같은 구조를 가진다. 즉 빛을 발하여 원고를 조명하는 LED(Light Emitting Diode)와 원고로부터

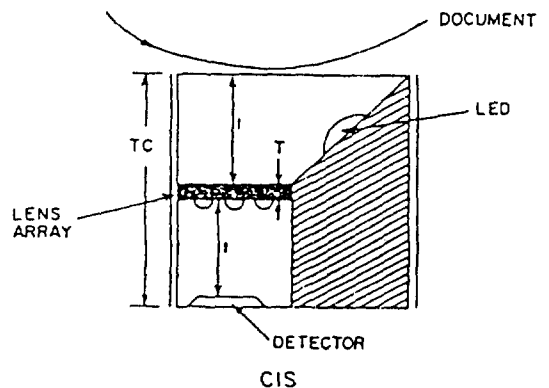


그림 1. CIS(Contact Image Sensor)의 구조.

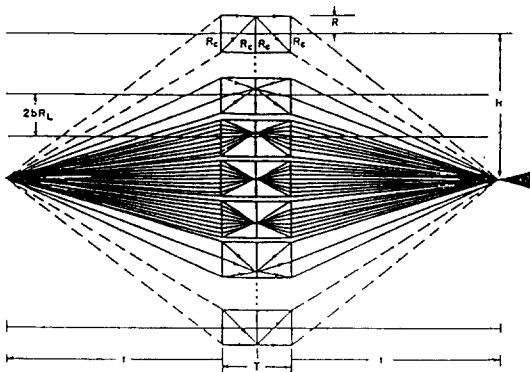


그림 2. 미세렌즈 배열의 광선추적 그림. (R_c : 렌즈의 반지름, $2bR_L$: 두 렌즈의 중심간격, R_c : 렌즈의 곡률반경, T : 렌즈의 두께, t : 전면과 후면 working 거리, k : 최대 field 높이).

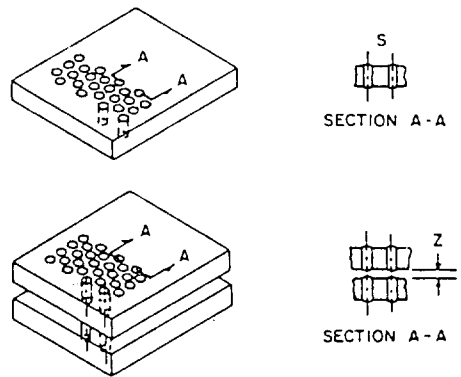


그림 3. 단면 및 양면 미세렌즈 배열판.

반사된 빛을 결상하는 미세렌즈 배열, 빛신호를 전기신호로 변환시켜주는 광감지기 배열로 구성된다. 현재 사용되고 있는 CIS의 경우 물체와 상간거리(TC)는 14.4 mm이며 초점심도(DOF)는 0.3 mm이고 길이는 실제 사용되는 A4 용지의 한변의 길이보다 약간 큰 228 mm이다.^[5] CIS의 분해능은 주로 미세렌즈 배열에 의하여 영향을 받지만 구조적으로 광감지기 배열의 공간주파수에 의하여 결정된다. 일반적인 광감지기 배열의 해상력은 200 DPI(Dot Per Inch)로서 milimeter 단위로 환산하면 8 dot/mm이다. 그러므로 이러한 광감지기로 contrast를 판별할 수 있는 원고의 최대 공간주파수는 4c/mm이며 이때의 MTF는 50% 이상을 요구하고 있다. 그러나 본 연구에서는 국산 사무자동화 기기의 소형화 및 고품질화를 목적으로 국내에서 개발한 상간거리가 7.8 mm이고 MTF는 70% 이상이며 초점심도는 0.5 mm 이상인 미세렌즈 배열을 성능평가 하려고 한다.

그림 2는 본 연구에서 개발한 미세렌즈 배열의 광선추적 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 물체와 상간거리(TC), 렌즈의 두께(T)와 곡률반경(Rc)의 관계는 다음과 같이 주어진다.^[3]

$$TC = 2t + T \quad (1)$$

$$t = TRc / [T(n-1) - 2nRc] \quad (2)$$

여기서 t 는 렌즈 표면에서부터 물체 혹은 상 까지의 거리(Working Distance)이며 n 은 감광성 유리의 굴절률이다. 위 식에서 TC 와 n 은 알고 있으므로 제작과정에서 렌즈의 곡률반경을 조절함으로써 원하는 렌즈를 제작할 수 있다. 그리고 그림에서 여러개의 렌즈가 한개의 상을 맺는데

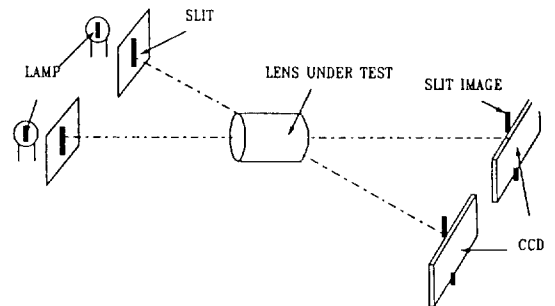


그림 4. CCD를 이용한 렌즈의 MTF 측정원리.

기여함을 알 수 있다. 본 연구에서 개발한 미세렌즈 배열은 감광성유리를 이용하여 노광/열처리 및 이온교환을 통하여 제작하였으며 그림 3과 같이 동일한 곡률반경을 갖는 이중 볼록렌즈이다.^[3] 제작된 렌즈는 직경이 0.2 mm이고 렌즈 간격은 0.22 mm이다. 렌즈기판은 무반사 코팅을 한 후 CIS용으로 알맞은 크기인 2mm×228.6 mm로 절단한 후 두장을 정확히 렌즈의 중심에 맞추어 UV 본드를 사용하여 접착하였다. 결과적으로 미세렌즈 배열은 1:1 정립 실상을 형성하며 렌즈의 성능은 이온교환 시간과 이온교환 원소의 종류에 따라 변하는 렌즈 반구의 곡률반경과 두 렌즈판의 중심을 맞추는 정확도에 영향을 받는다.

III. CCD를 이용한 렌즈의 MTF 측정

1. MTF 측정 이론

렌즈의 MTF 측정방법은 여러가지가 있지만 본 연구에서는 실시간에 미세렌즈 배열의 MTF를 측정하기 위하여 CCD를 사용한 디지털 푸리에 변환방법을 연구하

였다. 그림 4는 측정원리를 나타낸 것이다. 물체는 슬릿이며 상의 광도분포를 측정하기 위하여 일차원 CCD를 사용하였다. 물체는 LED로 균일하게 조명하는 비가간섭 광원이며 슬릿 상의 방향은 화소배열에 정확하게 수직이 되도록 정렬되게 하였다. 렌즈에 의하여 CCD 위에 결상한 슬릿의 상은 각각의 화소들이 광세기에 비례하는 전기신호를 일정한 화소간격으로 출력하므로 매우 짧은 시간에 상의 광세기 분포를 알 수 있다. 물체인 슬릿은 그 폭의 크기에 따른 공간주파수 성분을 가지고 있으며 렌즈는 광세기에 대하여 선형적으로 상을 맺는다. 그러므로 슬릿 상은 슬릿의 공간주파수 성분에 비례하며 또한 렌즈의 성능에 관계하는 공간주파수 성분을 가진다고 볼 수 있다. MTF는 각각의 공간주파수 성분의 비로서 정의되므로 슬릿 및 슬릿 상의 푸리에 변환을 각각 $O(u)$, $I(U)$ 이라 하면 렌즈의 MTF는 다음과 같이 표현된다.

$$MTF = \frac{|I(u)|}{|O(u)|} \tag{3}$$

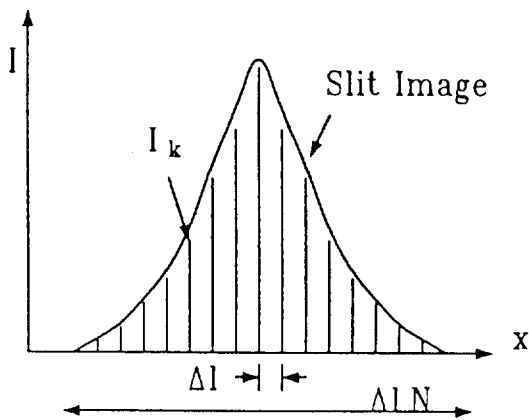
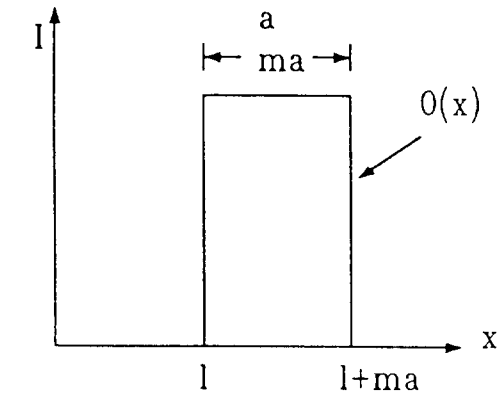


그림 5. 슬릿 및 슬릿 상의 광세기분포.

여기서 u 는 공간주파수이며, 슬릿 폭은 알고 있으므로 $O(u)$ 만 구하면 된다. 즉 시험하는 렌즈의 공간 주파수 영역을 고려하여 슬릿의 폭을 정한 후 슬릿상의 푸리에 변환을 행하면 MTF를 구할 수 있다. 실제 렌즈의 시험에서는 배율을 고려하여야 한다. 만약 슬릿의 폭을 a , 렌즈의 배율을 m , 그리고 CCD의 화소간격을 Δl 이라하면 슬릿과 슬릿 상의 광세기 분포는 그림 5와 같이 나타난다. 상면에서 공간주파수는 렌즈의 배율에 의하여 u/m 으로 정의되므로 각각의 푸리에 변환은 다음과 같이 나타난다.^[6]

$$\begin{aligned} |O\left(\frac{u}{m}\right)| &= \frac{\sqrt{\left(\int_l^{l+ma} I_k \cos \frac{2\pi a}{m} x dx\right)^2 + \left(\int_l^{l+ma} I_k \sin \frac{2\pi a}{m} x dx\right)^2}}{\int_l^{l+ma} I_k dx} \\ &= \frac{\sin(\pi u a)}{\pi u a} \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} |I\left(\frac{u}{m}\right)| &= \frac{\sqrt{\left(\sum_{k=0}^N I_k \cos \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2 + \left(\sum_{k=0}^N I_k \sin \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2}}{\sum_{k=0}^N I_k} \end{aligned} \tag{5}$$

식 (4)와 (5)를 식 (3)에 대입하면 물체 면에서의 공간주파수에 대응하는 렌즈의 MTF $M(u)$ 는

$$\begin{aligned} M(u) &= \frac{\left|I\left(\frac{u}{m}\right)\right|}{\left|O\left(\frac{u}{m}\right)\right|} \\ &= \frac{\pi u a \sqrt{\left(\sum_{k=0}^N I_k \cos \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2 + \left(\sum_{k=0}^N I_k \sin \frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)^2}}{\sin(\pi u a) \sum_{k=0}^N I_k} \end{aligned} \tag{6}$$

이다. 위 식에서 I_k 는 k 번째 화소에 대응하는 슬릿 상의 표본값이다.

2. CCD의 MTF 보정

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. 만약 공간주파수 u 의 sinusoidal 물체가 화소간격과 크기가 Δl , x_1 인 CCD 위에 결상된 경우 상의 위상차에 의하여 공간주파수에 따라 출력의

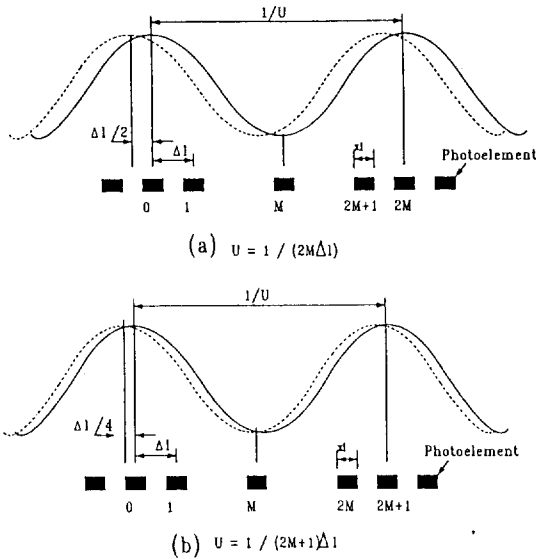


그림 6. 물체의 상에 대한 CCD의 샘플링 출력.

대비도(contrast)가 달라진다. 그림 6에서 정현파의 이미지 중심과 화소 중심 사이의 위상차를 θ 라 하면 CCD의 MTF는 공간주파수에 따라서 다음과 같이 두가지 경우로 나누어 생각할 수 있다.¹⁷⁾

$$\begin{aligned}
 MTF &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \cos \theta & (\text{단 } u = 1/2M\Delta l) \\
 &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \cos\left(\frac{\Delta l}{2} u \pi - \theta\right) \cos\left(\frac{\Delta l}{2} u \pi\right) & (\text{단 } u = 1/(2M+1)\Delta l)
 \end{aligned}$$

위 식에서 두 경우의 최대값과 최소값은 다음과 같다. 즉, $u = 1/2M\Delta l$ (단 $M = 1, 2, \dots$)이면

$$\begin{aligned}
 MTF_{max} &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \\
 MTF_{min} &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \cos(\Delta l u \pi) & (8)
 \end{aligned}$$

그리고 $u = 1/(2M+1)\Delta l$ (단 $M = 1, 2, \dots$)이면

$$\begin{aligned}
 MTF_{max} &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \cos\left(\frac{\Delta l}{2} u \pi\right) \\
 MTF_{min} &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \cos^2\left(\frac{\Delta l}{2} u \pi\right) & (9)
 \end{aligned}$$

이다. 식 (8)과 (9)를 시판되는 CCD(Hamamatsu S3904, 화소간격 $25 \mu\text{m}$, 화소크기 $20 \mu\text{m}$)에 적용하여 계산하면

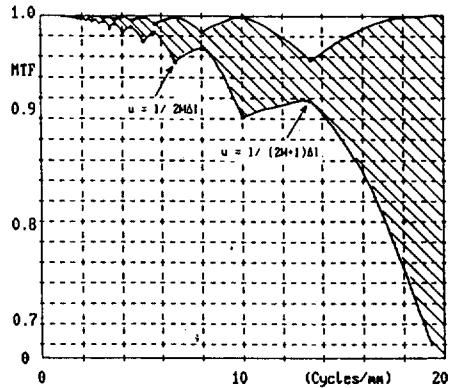


그림 7. CCD(Hamamatsu S3904, 화소간격 $25 \mu\text{m}$, 화소 크기 $20 \mu\text{m}$)의 샘플링 출력에 의한 MTF.

그림 7과 같이 나타난다. 공간주파수 5 c/mm 까지는 MTF 변화정도가 $\pm 2\%$ 이내이지만 5 c/mm 이상에서는 크게 변하며 공간주파수가 화소간격의 짝수배인 경우의 MTF 변화가 큰 것을 알 수 있다.

CCD의 실제 MTF는 그림 7과 같이 최대점과 최소점 사이의 임의의 값을 가지므로 두 경우의 산술평균으로 생각할 수 있다. 그러므로 CCD의 MTF는 식 (9)를 사용하여 계산하면

$$\begin{aligned}
 M(u)' &= \frac{MTF_{max} + MTF_{min}}{2} \\
 &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \cos\left(\frac{\Delta l}{2} u \pi\right) \left(1 + \cos\left(\frac{\Delta l}{2} u \pi\right)\right) \\
 &= \frac{\sin(\pi u x_1)}{\pi u x_1} \cos\left(\frac{\Delta l}{2} u \pi\right) \cos^2\left(\frac{\Delta l}{4} u \pi\right) & (10)
 \end{aligned}$$

이다. CCD의 MTF 값을 보정하여 구한 시험렌즈의 MTF는 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned}
 M(u) &= \frac{\left| I\left(\frac{u}{m}\right) \right|}{\left| O\left(\frac{u}{m}\right) \right|} \cdot \frac{1}{M(u)'} \\
 &= \frac{\pi u a}{\sin(\pi u a)} \cdot \frac{\pi u x_1}{\sin(\pi u x_1) \cos\left(\frac{\Delta l u \pi}{2}\right) \cos^2\left(\frac{\Delta l u \pi}{4}\right)} \\
 &= \frac{\sqrt{\left(\sum_{k=0}^N I_k \cos\left(\frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)\right)^2 + \left(\sum_{k=0}^N I_k \sin\left(\frac{2\pi u \Delta l k}{m}\right)\right)^2}}{\sum_{k=0}^N I_k} & (11)
 \end{aligned}$$

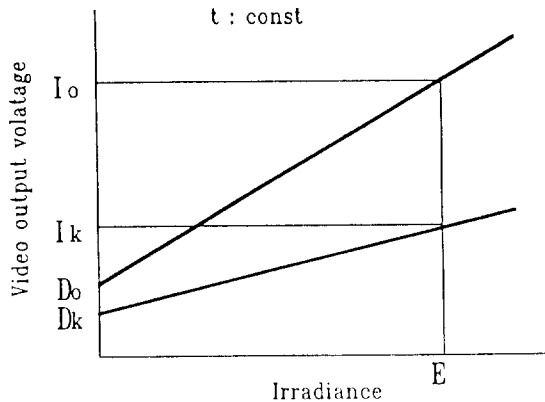


그림 8. CCD의 광전변환 특성.

3. CCD의 광전변환 특성보정

그림 8은 일반적인 CCD의 광전변환 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 a, k 는 기준 화소와 임의의 화소를 나타내는 것이다. CCD 면 위에 균일한 휘도 E 의 광을 시간 t 동안 조명하면 각각의 출력 video 전압 I_0, I_k 는 다음과 같이 나타난다.¹⁷⁾

$$I_0 = (S_0 E + D_0)t, \\ I_k = (S_k E + D_k)t \quad (k=1, 2, \dots) \quad (12)$$

여기서 S_k, D_k 는 각각 화소의 감도와 암전류(dark current)를 나타낸다. 식 (12)에서 E 를 소거한 후 다시 기준화소의 암전류 성분을 제거하면

$$I_k' = (S_0/S_k) \cdot (I_0 - D_0 t) \quad (k=1, 2, \dots) \quad (13)$$

이다. 여기서 I_k' 는 k 번째 화소의 보정출력 전압을 나타내며 (S_0/S_k) 는 균일한 광을 조사하였을 때의 상대적인 감도 보정값이다. 위 식에서 균일한 조명에서는 각각의 화소들의 출력은 기준 화소의 출력 I_0 와 같게 됨을 알 수 있다. 그러므로 식 (13)을 사용하여 측정할 값을 교정함으로써 정확한 측정결과를 얻을 수 있다.

CCD의 화소는 전하 축적모드로 동작하고 있으므로 출력포화 특성을 가지고 있다. 그러므로 출력전압의 다이내믹 영역에는 한계가 있다. 출력전압의 다이내믹 영역은 대개 50 dB 정도이다. 그러나 CCD는 출력이 입사된 빛의 세기와 전하축적 시간의 곱에 비례하므로 입력광에 대해서 전하 축적시간을 바꾸면 다이내믹 영역을 넓일 수 있다.

각각의 화소들의 감도가 다르면 전하 축적시간의 길이에 따라서 출력 신호의 크기가 매우 다르게 되므로 반드시 보정하여야 한다. 그리고 CCD는 주위 온도에

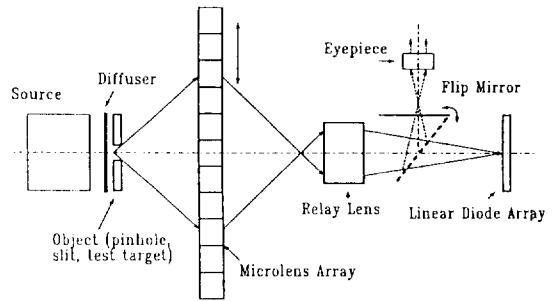


그림 9. 미세렌즈 배열의 MTF 측정장치의 광학 구성도.

매우 민감하므로 가능한 항온 조건을 유지하여야 한다. 그리고 CCD의 검출 가능한 복사조도에는 한계가 있다. 물론 취급할 신호/잡음비에도 달렸지만, 잡음 증가 노광량(암 전류) 출력과 같은 출력전압이 되는 입력 노광량까지가 검출 복사조도 한계가 된다. 또 CCD의 경우 소재의 종류에 따른 분광감도를 고려하여야 한다.

실제로 CCD를 사용하여 렌즈의 MTF를 측정하는 경우에는 물체의 분광분포 뿐만 아니라 시험렌즈의 분광투과율 등에 따라서 CCD의 MTF가 달라진다. 특히 복사기나 팩스 등의 렌즈에는 특정한 파장만 선택하는 경우가 많으므로 반드시 분광특성을 고려하여야 한다.

IV. 미세렌즈 배열의 MTF 측정장치

그림 9는 미세렌즈 배열의 MTF 측정을 위하여 구성한 광학장치도이다. 본 연구에서는 슬릿, 바늘구멍, 그리고 test target(4 c/mm)을 물체로 사용하였으며 사용자가 선택할 수 있게 하였다. 광원은 파장이 570 nm인 LED를 사용하였다. 미세렌즈 배열은 분해능이 $\pm 10 \mu\text{m}$ 인 미세이동장치에 부착되어 광축에 수직방향으로 이동가능하도록 하였다. 미세렌즈 배열에 의하여 맺혀진 상은 현미경 대물렌즈를 사용한 relay 렌즈에 의하여 확대되어 일차원 CCD(Hamamatsu S3904) 위에 전송된다. 그리고 대안렌즈와 flip 거울은 전송된 상이 정확히 CCD 위에 위치하도록 정렬시켜주는 역할을 한다. Relay 렌즈와 CCD는 분해능이 $\pm 1 \mu\text{m}$ 인 미세이동장치에 부착되어 초점심도 측정을 위하여 광축방향으로 미세이동시킬 수 있다. 그림 10은 본 연구에서 제작한 MTF 측정장치이다. 전체장치는 방진 테이블 위에 놓여 있으며 장치의 각 부분은 마이크로미터를 이용한 수동 이동장치가 부착되어 있다. 그리고 물체와 CCD는 Sagittal 및 Tangential 방향에서 측정할 수 있도록 회전할 수 있다. CCD의

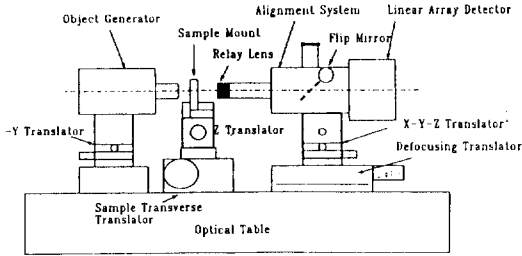


그림 10. 제작된 미세렌즈 배열의 MTF 측정장치.

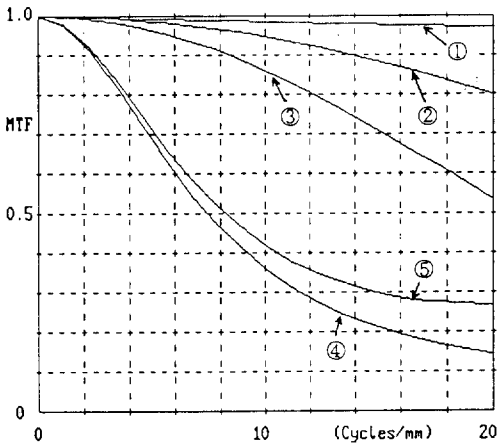


그림 11. CCD와 Relay lens에 의한 렌즈의 MTF 보정.
 (1) Relay 렌즈, (2) 물체, (3) CCD, (4) 렌즈, (5) 보정한 렌즈의 MTF).

출력신호는 고속 12 bit A/D와 DMA(Direct Memory Access) 회로에 의하여 저장되며 이동장치의 모타구동을 포함한 모든 신호처리는 국산 80486 마이크로 컴퓨터를 사용하였다. MTF 측정시간은 한개의 측정점에서 불과 1/30초 이내이므로 실시간에 미세렌즈 배열을 시험할 수 있다.

V. MTF 측정 및 검토

그림 9에서 Relay 렌즈를 사용하여 MTF를 측정하였으므로 미세렌즈의 실제 MTF는 식 (11)을 Relay 렌즈의 MTF로 나누어서 보상하여야 한다. 그림 11은 측정장치에 사용된 물체(슬릿 폭: 20 μm)와 Relay 렌즈(현미경 대물렌즈: 배율 20배), 그리고 CCD에 의한 MTF 보정 결과를 컴퓨터로 계산한 것이다. 물체의 MTF는 측정가능한 시험렌즈의 MTF 범위를 나타내며, 이것은 Relay 렌즈와 CCD에 의하여 다시 보정된다. 본 연구에서 사

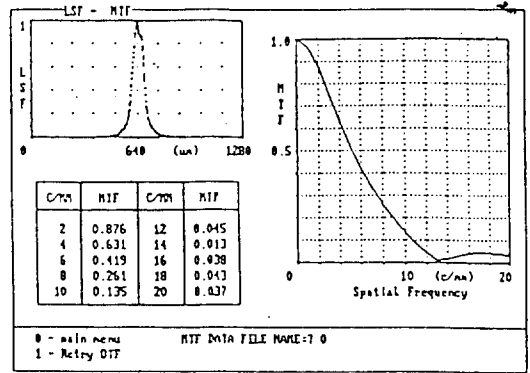


그림 12. CIS용 플라스틱 렌즈의 MTF.

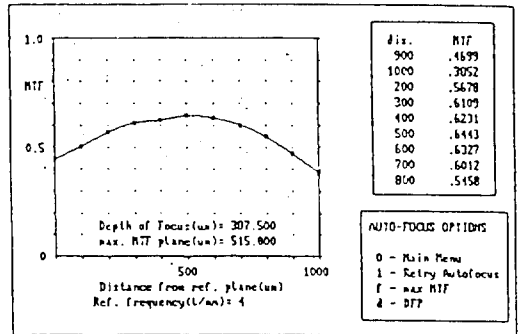


그림 13. CIS용 플라스틱 렌즈의 DOF.

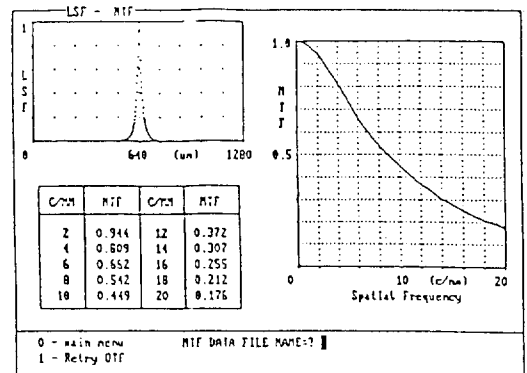


그림 14. 제작된 미세렌즈 배열의 MTF.

용한 Relay 렌즈의 MTF는 CCD 보다 매우 크기 때문에 상대적으로 CCD에 의하여 주로 보정됨을 알 수 있다. 그림에서 공간주파수가 커지면 보정값도 크게 되지만 본 연구에 사용된 미세렌즈의 측정영역인 공간 주파수 4 c/mm에서는 1% 정도 차이가 났다. 두개의 미세렌즈 배

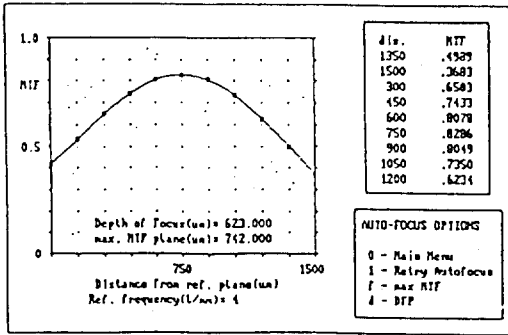


그림 15. 제작된 미세렌즈 배열의 DOF.

열을 접합할 때 두 렌즈의 중심이 일치하는 정도에 따른 측정결과가 매우 다르게 나타난다. 두 렌즈의 중심이 일치하는 경우는 매우 선명하고 광세기 분포가 거의 대칭적인 상이 나타나지만 어긋나면 광세기 분포가 비대칭적이며 광세기도 상대적으로 작은 여러개의 상이 나타난다. 그러므로 MTF를 측정하기 전에 두 미세렌즈 배열의 결합 정확도를 시험하여야 한다.

그림 12와 13은 현재 CIS용 렌즈로 사용되고 있는 일제(미쓰비시 레니온)의 Plastic Rod형 렌즈의 MTF 및 DOF 측정결과이다. 공간주파수 4 c/mm에서 MTF는 63%, DOF는 ±0.39 mm이었다. 그림 14와 15는 국내에서 개발한 TC 7.8 mm의 미세렌즈에 대한 측정결과이다. 공간주파수 4 c/mm 에서 MTF는 81%, DOF는 ±0.65 mm 이었으며 현재 사용되고 있는 미세렌즈 보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

VI. 결 론

미세렌즈 배열의 MTF를 측정하기 위하여 CCD를 이용한 실시간 MTF 측정장치를 개발하였다. CCD를 사

용하는 경우 측정시간이 매우 짧은 장점이 있지만 구조적인 문제 때문에 측정 가능한 공간주파수가 제한되며 CCD의 MTF를 보정해야 한다. 그리고 CCD의 감도가 선형적이 되도록 보정하여야 측정신뢰도를 높일 수 있다. 제작된 측정장치를 사용하여 국내에서 제작한 감광성 유리를 이용한 CIS용 미세렌즈 배열의 성능을 평가 하였으며 외제 미세렌즈 보다 성능이 우수함을 알 수 있었다. 앞으로는 본 연구에서 획득한 CCD를 이용한 MTF 측정기술을 사용하여 CRT, 복사기, 팩스 렌즈 등 대량 생산되는 광학기기의 실시간 성능평가 장치를 개발하려고 한다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 광학부품 제작에 도움을 준 본 연구원의 이희운, 이재협씨에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] N. F. Borrelli, R. H. Bellman, J. A. Durbin, and W. Lama, Applied Optics, **30**, 3633(1991).
- [2] 이정로, 이상원, 한국 광기술의 현황과 전망(제 3회 광기술 워크샵 논문집), 21(1994).
- [3] 서형원, 조규성, 윤성균, 박태호, 한국 광기술의 현황과 전망(제 3회 광기술 워크샵 논문집), 29(1994).
- [4] 이윤우, 조현모, 이인원, 홍경희, 응용물리, **3**, 153 (1990).
- [5] 변대수 외 4인, GRIN Glass 개발에 관한 연구(공업기반기술개발사업 보고서, 상공부), 1992.
- [6] J. C. Dainty and R. Shaw, Image Science (Academic Press, London, 1974), Ch. 2.
- [7] 이인원, 정영봉, 조현모, 이윤우, 정보처리용 광입출력장치 성능평가기술 개발(과학기술처 보고서, KRISS-94-101-IR), 제 3장.

CCD Scanning type MTF Measuring System for Microlens Arrays

Yun-Woo Lee, Hyun-Mo Cho, and In-Won Lee
*Optics Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science,
Taejon 305-606, Korea*

T. H. Park, S. G. Yun, and H. W. Seo
Samsung Corning Co., Ltd., Suwon, Korea

(Received: August 23, 1994)

Real-time MTF measuring system for testing microlens arrays with a linear CCD array is developed. The spread function of slit image that is relayed and magnified by a microscopic object lens can be measured at several times in a second. The signal uniformity and MTF of CCD is also calibrated. The experimental result of microlens arrays developed for contact image sensor is presented.