

LCD 기판 검사 광학계의 MTF 측정장치 제작

홍성목 · 김희남 · 조재홍

한남대학교 이과대학 광·전자물리학과
Ⓞ 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133번지

이윤우[†] · 이회윤 · 양호순 · 이인원

한국표준과학연구원 우주광학연구단
Ⓞ 305-340 대전광역시 유성구 도룡동 1 한국표준과학연구원

정진호

PRO OPTICS

Ⓞ 467-866 경기도 이천시 부발읍 아미1리 475번지

(2006년 11월 27일 받음, 2007년 2월 20일 수정본 받음)

LCD(liquid crystal display) 기판의 표면검사용 광학장치의 성능평가를 위한 변조전달함수 측정장치를 설계하고 제작하였다. 이 장치에는 3개의 막대물체 모양의 USAF(United States Air Force) 해상도 물체와 적분구로 구성된 물체발생장치와 2차원 CCD(charge coupled device)의 상분석 장치를 사용하였다. 시험렌즈의 변조전달함수는 물체와 상의 명암비를 나눈 명암전달함수를 구한 후 변조 전달함수로 보정하여 변환시켰다. 제작된 평가장치를 이용하여 배율 2.6배, F/13.65의 시험 광학계를 평가하였으며, 공간주파수 62.5 lp/mm에서 자오면에 대해서 30.6 %, 구결면에 대해서 26.1 %의 값을 얻었다.

주제어 : CTF, MTF, USAF target.

I 서 론

LCD(liquid crystal display) 등의 생산과정에서 발생하는 결함을 검출하고 결과를 분석하여 생산 공정에 다시 적용함으로써 생산 수율을 향상시키기 위해서 자동광학평가 시스템을 LCD 기판 검사용으로 사용한다.^[1]

현재 사용하고 있는 LCD 기판의 자동광학검사(automated optical inspection: AOI) 장치는 외국에서 전량 수입하여 사용하고 있다. 이들 장치는 일반적으로 LCD 기판뿐만 아니라 다른 회로기판 등을 검사하는 용도로도 사용하는 범용 시스템이다. 이런 이유로 LCD를 생산하는 각 회사들의 LCD 기판에 대한 완벽한 성능평가를 기대하기 힘들다.

외국 장비에 대한 단점을 보완하기 위해서 국내에서는 LCD 기판 전용의 자동광학검사 광학계를 제작하였고, 현장에서 쓰이는 추세이다. 이와 함께 좀 더 향상된 성능의 광학계를 개발하기 위해서 자동광학검사 광학계에 대한 성능평가 장치가 필요하다.

본 논문에서는 LCD 기판 자동광학검사 광학계의 성능평가용 변조전달함수(modulation transfer function: MTF) 측정장치를 설계, 제작하였다. 빠른 측정을 위해서 축상 및 비축상에 USAF(United States Air Force) 해상도 표준물체를 2차원으로 배열한 물체부와 2차원 배열 CCD(charge coupled

device)를 영상분석 장치로 이용하였다.^[2]

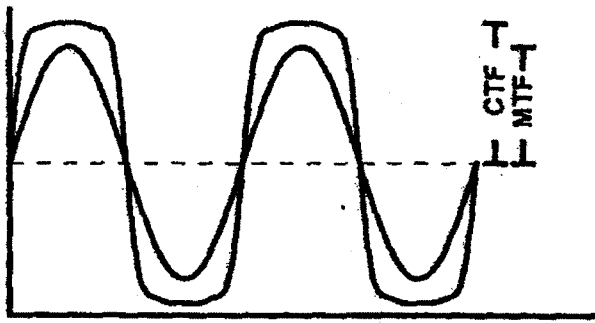
일반적으로 광학계의 성능을 평가하는 방법은 국제적 표준 방법인 광전달함수(optical transfer function: OTF)를 측정하는 것이다.^[3-6] 이것은 물체와 상(image)이 어느 정도의 공액 관계를 갖는지를 나타내는 척도이다. 만약, 광학계가 선(line) 물체를 보고 있다면 결상면에서는 선 물체의 퍼짐정도를 확인할 수 있다. 선 물체의 퍼짐정도를 나타내는 선퍼짐함수를 푸리에 변환한 후 광전달함수를 구할 수 있게 된다. 광전달함수는 진폭부분인 변조전달함수(modulation transfer function: MTF)와 위상부분인 위상전달함수(phase transfer function: PTF)로 나뉘게 되는데, 일반적으로 변조전달함수로서 광학계의 성능을 나타낸다.^[7,8]

광전달함수 측정법은 크게 주사방법과 간접계 방법으로 나눌 수 있다. 주사방법은 다시 공간주파수가 새겨져 있는 물체를 사용하는 직접적인 방법과 물체의 영상을 푸리에 변환함으로써 공간주파수를 알 수 있는 간접적 방법으로 나뉜다.^[9] 본 논문에서는 빠른 측정을 위해서 USAF 해상도 표준 물체를 사용하는 전자의 방법을 택했다. 하지만 이 경우는 명암전달함수를 구하는 것으로서 변조전달함수를 구하기 위한 수학적 보정을 하였다.

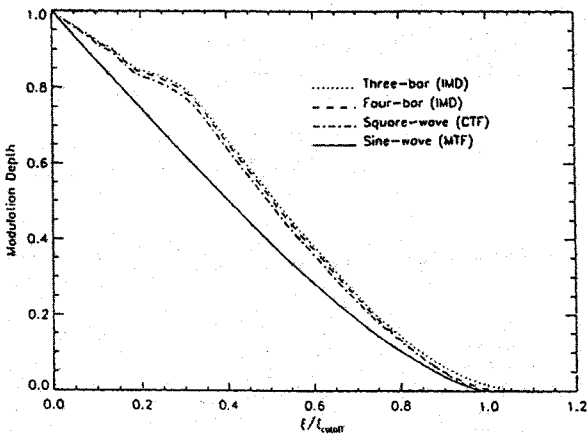
II. 명암전달함수 이론

핀홀을 물체로 사용한 경우 측정광학계를 지난 후의 상인

[†] E-mail: ywlee@kriss.re.kr



(a) sinusoidal 물체와 사각 물체의 변조비.



(b) CTF와 MTF의 변조비 차이.

그림 1. 명암전달함수와 변조전달함수의 비교.

점퍼짐함수(point spread function: PSF) $h(x_i, y_i)$ 와 선물체를 사용하여 결상된 선퍼짐함수(line spread function: LSF) $L(x_i)$ 와는 $L(x_i) = \int_{-\infty}^{\infty} |h(x_i, y_i)|^2 dy_i$ 의 관계를 갖는다. 일차원 $MTF(f_x)$ 는 선퍼짐함수의 푸리에 변환이므로 아래와 같이 표현할 수 있다.^[10]

$$MTF(f_x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} L(x_i) \exp[j2\pi f_x x_i] dx_i}{\int_{-\infty}^{\infty} L(x_i) dx_i} \quad (1)$$

그러나 실제 측정에서는 주사하는 강도분포의 구간이 유한하기 때문에 연속적인 푸리에 변환 대신에 표본을 정하여 계산하는 이산적인 푸리에 변환을 하여야 한다.

식 (1)에서 보는 바와 같이 일반적인 광전달함수의 결과는 sine과 cosine의 형태로 표현할 수 있다. 따라서 이론식과 어울리는 정현파(sinusoidal) 물체를 이용하여 그것에 대한 변조비를 통해서 변조전달함수의 결과를 도출해야만 한다. 하지만 본 논문에서는 사용하고자 하는 MTF를 측정하는 물체로는 막대형태를 가지는 USAF 해상도 표준물체를 사용하기 때문에 직접 변조전달함수를 구할 수는 없다. 보통 사각파

형태의 물체에 대한 시스템 응답은 명암전달함수(contrast transfer function: CTF) 또는 사각파응답(square-wave response: SWR)으로서 표현하는데, 일반적으로는 CTF로서 나타낸다.^[11] 이 CTF도 역시 막대형태 물체의 명암비로 상의 명암비를 나눈 변조비로서 구하며 일반적으로 MTF와의 상대적 결과는 그림 1(b)와 같다.

그림 1(a)에서 알 수 있듯이 명암전달함수는 항상 변조전달함수에 비해서 변조비가 크게 나온다. 그러나 성능평가 장치를 통해서 보고자하는 결과는 변조전달함수이므로 명암전달함수에 대한 변환 과정이 필요하다. USAF 해상도 표준물체의 사각파는 무한 sine wave 또는 cosine wave의 급수로서 표현할 수 있다. MTF는 정현파적인 물체의 명암비로 이 물체의 상에 대한 명암비를 나눈 값으로 나타낼 수 있는데, 본문에서 제시한 USAF 해상도 표준물체의 막대형태의 물체들은 푸리에 급수로 전개할 때에 무한개의 정현파적 항들로 전개되며, 이들 각 항의 MTF 합이 자동적으로 막대형태 물체의 CTF가 되는 것이다.

이러한 논리에서 Coltman은 cosine 표현으로서 막대형태의 물체에 대한 변조비를 나타냈는데, 기본 공간주파수 f_x 의 사각파에 대한 출력은 변조전달함수로 표현되는 입력 코사인 진폭들의 무한 합으로 보고, 이러한 CTF가 MTF로 전개되는 관계를 아래의 식 (2)와 같이 나타내었다.^[12,13]

$$CTF(f_x) = \frac{4}{\pi} \left| \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{MTF[(2k+1)f_x]}{3} \right| \quad (2)$$

만약에 선형이동불변 시스템이라면 위의 식 (2)를 아래의 식 (3)과 같이 CTF의 결과로 MTF를 나타낼 수 있다.

$$MTF(f_x) = \frac{\pi}{4} \left| \sum_{k=0}^{\infty} B_k \frac{CTF(kf_x)}{k} \right| \quad (3)$$

여기에서 k 는 단지 홀수의 값만을 가지며, B_k 는 식 (4)와 같이 1 또는 -1의 값을 갖는다.

$$B_k = (-1)^m (-1)^{\frac{k-1}{2}} \quad \text{단, } r = m \quad (4)$$

식 (4)에서 r 값은 k 에서 다른 소인수들의 수이다. m 은 k 에서 소인수들의 총합으로 인자화 할 수 있다. $r < m$ 일 때는 $B_k = 0$ 이다.

III MTF 성능평가장치 제작

MTF 측정에는 측정에 사용하는 물체에 따라서 물체에 대한 영상을 푸리에 변환하여 공간주파수를 알 수 있는 간접적 방법과 공간주파수가 새겨져 있는 물체를 사용하는 직접적인 방법으로 나눈다. 간접적인 방법은 매우 정확하고 표준적

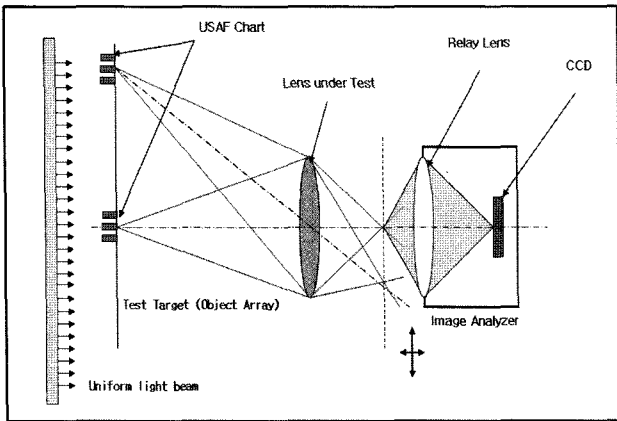


그림 2. 성능평가 장치의 개략도.

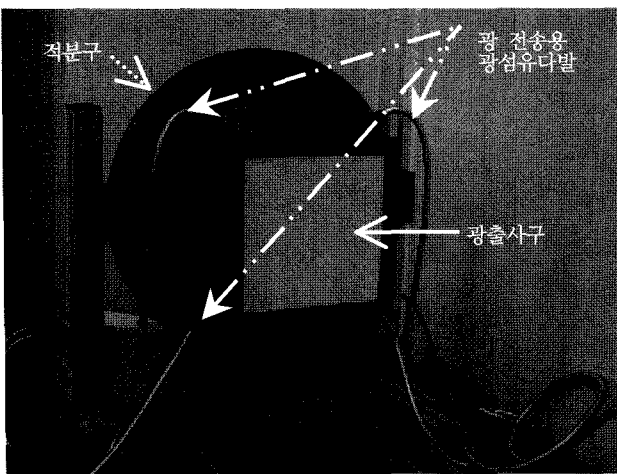


그림 3. 물체부의 광원.

인 방법으로 정착되어 있지만 상대적으로 측정시간이 많이 걸리며 장비가 고가인 것이 단점이다. 반면에 직접적인 방법은 눈으로 대략적으로나마 상의 명암을 확인하여 MTF를 빠른 시간 내에 확인할 수 있다.

그러나 MTF가 아닌 CTF가 측정되므로 정확한 MTF 정의에 의한 값을 구하기가 어렵다는 단점이 있다. 대부분의 생산현장의 공정상에서는 빠른 측정과 측정의 간편성으로 인해서 직접적인 방법으로 측정을 한다.

그림 2는 USAF 해상도 표준물체로 구성된 물체부, 측정하고자 하는 LCD 기판검사용 광학계, 광학계를 지나 결상한 영상을 분석하는 분석부로 이루어진 측정 장치의 개략도이다. 이 측정장치는 직접식 MTF 측정방법으로 구성된 LCD 기판 검사용 AOI 장치의 광학계를 평가한다.

3.1 물체부

물체부는 USAF 해상도 표준물체를 조명하는 광원부와 USAF 해상도 표준물체가 배열된 유리판으로 구성된다. 이들 각 부분들의 구성은 아래와 같다.

그림 3은 광원부로 균일한 조명이 되도록 강화플라스틱

(fiber reinforced plastic: FRP)를 이용하여 적분구 형태로 제작하였다. 보통 금속으로 만들 경우 외부의 광이 100 % 차단되고 매우 견고하기 때문에 많이 사용되나, 이러한 금속 적분구는 무게가 무겁고 제작 과정이 복잡하여 가격이 비싸다는 단점이 있다. 그러나 FRP로 만든 적분구는 제작이 용이하고 무게가 가벼우며 가격이 싸기 때문에 대량생산시 매우 유리하다. 이 때문에 본 논문에서는 FRP를 이용하여 적분구를 제작하였는데, 직경은 400 mm이며, 광출사구의 크기는 150 mm × 150 mm이다.

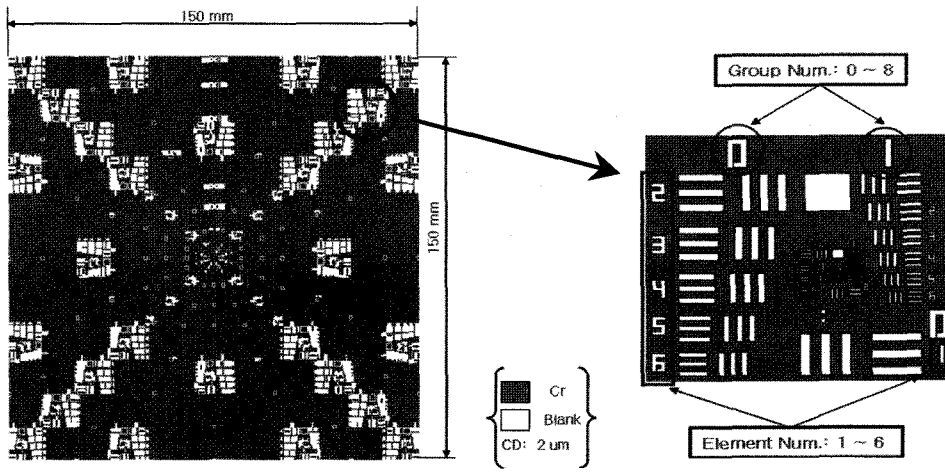
일반적인 경우 출사구의 면적이 적분구의 총 면적에 대해서 2~5 %를 유지하거나 또는 적분구의 직경과 출사구의 직경비가 4:1 이상을 유지할 때 출사구에서의 균일도는 ±0.5 % 보다 작아진다.^[14] 본 적분구에서는 출사구 면적이 적분구 면적의 4.4 %이므로 이 적분구에 의한 광출사구의 균일도는 ±0.5 % 정도로 추정할 수 있다. 이때 적분구 내벽의 코팅은 확산반사도가 99 %인 황산바륨(BaSO₄) 수성페인트로 발라서 확산이 거의 완벽하게 일어나도록 하였다. 광원은 할로겐 램프(LS-F150HS, Light Banck사) 2개에서 나온 광을 각각 다시 두 가닥의 직경 4 mm인 광섬유 다발(EKE 21 V/50 W, USHIO사)로 전송하여 그림 3에서 보는 적분구의 4곳을 통하여 적분구 내부를 조명하였다.

그림 4는 물체부인 USAF 해상도 표준물체들이 배열된 측정 유리판을 보여준다. 그림 4(a)에서 보듯이 150 mm × 150 mm 크기의 측정 유리판은 USAF 해상도 표준물체를 중심에서 대각선의 4 방향으로 각각 4개씩 배열하였으며 그 외로 첫 번째 대각선 방향의 USAF 해상도 표준물체를 따라서 동일 거리상에 십자로도 설치하였다. 그리고 가장자리를 따라서 2 개씩 더 설치하였으며, 물체 유리판 중앙부분도 USAF 해상도 표준물체를 그려 넣었다. 이것은 측정 광학계의 광축 뿐만 아니라 비축에 대한 측정도 가능하게 하기 위해서이다. 측정 유리판은 1500 Å 두께의 크롬 코팅된 유리판을 리소 그라피 기술을 이용하여 CD(critical dimension)가 1 μm인 마스크를 제작한 후 이것을 접촉 프린트하는 기법으로 측정 유리판을 만들었다. 이 측정 유리판의 CD는 2 μm이다.

그림 4(b)에서 보는 측정 유리판 한 개의 USAF 해상도 표준물체에는 막대형태의 그림이 0~8 그룹이 있으며 각각의 그룹에는 1~6까지의 요소들로 나누어진다. 하지만 CD의 한계 때문에 8 그룹의 경우 라인들 사이의 간격에 오차가 심해서 측정에는 사용하지 않았다. USAF 해상도 표준물체에 있는 막대의 짧은 길이와 긴 길이의 비율은 1:1.5이며 가로방향 막대와 세로방향 막대 사이의 간격은 막대 짧은 길이의 두 배이다. USAF 해상도 표준물체의 그룹과 요소별 공간주파수는 표 1에서 보듯이 최대 250 lp/mm에서 최소 1 lp/mm을 가지고 있다. 그림 4(c)는 그림 3의 광원부와 그림 4(a)의 측정 유리판을 조립하여 물체부를 구성한 사진이다.

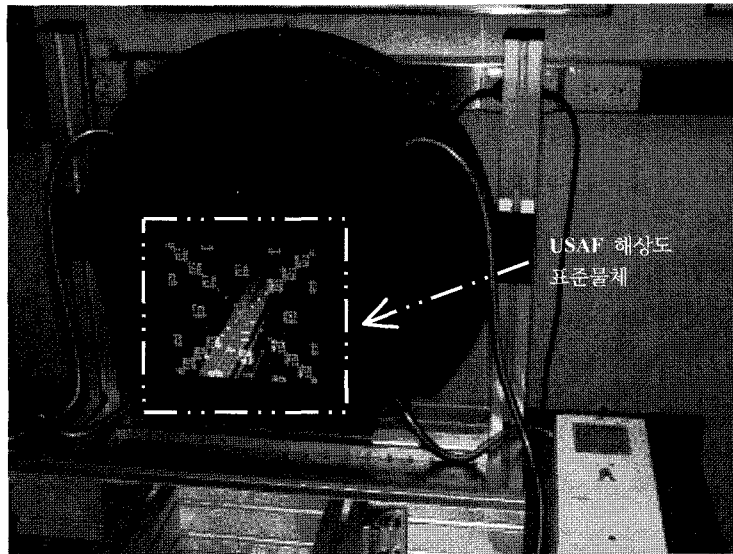
3.2. LCD 기판 자동검사광학계의 광학계

본 논문에서 측정하고자 하는 광학계는 LCD 기판을 대상



(a) USAF 해상도 표준물체.

(b) (a)의 일부를 확대.



(c) 광원과 USAF 해상도 표준물체.

그림 4. 물체부의 USAF 해상도 표준물체.

표 1. USAF 표적의 그룹 및 요소들의 공간주파수.

요 소	그 룹 (그룹/요소별 공간주파수)							단위: lp/mm
	0	1	2	3	4	5	6	
1	1.000	2.000	4.000	8.000	16.12	31.25	62.50	125.0
2	1.120	2.240	4.460	8.930	17.86	35.70	71.40	142.9
3	1.260	2.250	5.050	10.00	20.00	41.67	83.30	166.7
4	1.410	2.820	5.620	11.40	22.73	45.45	90.90	166.7
5	1.590	3.180	6.330	12.80	25.00	50.00	100.0	200.0
6	1.780	3.750	7.140	14.30	27.80	55.56	125.0	250.0

으로 하는 AOI 시스템의 광학계이다. 측정 광학계는 (주)프로옵틱스에서 자체 제작하여 제공하였다. 그림 5는 광학계에 대한 사진(그림 5(a))과 광학계의 광학구성도(그림 5(b))이다. 광학계에 대한 자료는 표 2에 나타내었다. 측정 광학계는 줌 광학계로서 1.8x, 2.6x, 5.4x의 줌 위치를 갖는다. 광학계의 줌 이송은 기어방식이며, 구동부의 기어비는 240:1이다. 또

한 광학계의 주된 사용 배율은 2.6x이며, 성능평가를 위하여 같은 줌 위치에서 MTF를 측정하였다.

그림 6은 측정광학계의 2.6x 위치에서의 설계 MTF를 나타낸다. 광축과 광축으로부터 임의의 비축(4.315 mm, 7.343 mm, 9.446 mm, 10.38 mm)에서의 자오면과 구결면에 대한 값이다. 10.38 mm 위치의 자오면에 대한 결과값만을 제외하고는 대부분 광축에서의 결과와 같은 값을 나타내고 있다. 하지만 USAF 해상도 표준물체를 사용할 경우 자오면 측정값과 구결면 측정값이 같지 않다. 그 이유는 자오면 표적과 구결면 표적이 같은 위치가 아니라 일정부분 떨어져 있기 때문이다.

3.3. MTF 측정부

측정부는 그림 2에서 보듯이 릴레이 렌즈와 2차원 CCD로 구성된 영상분석기 및 이 영상분석기를 이동시키는 초정밀 이송장치로 이루어져있다. 초정밀 이송장치는 다시 비축이송장치와 자동초점용 이송장치로 나누어 구성하였다. 이렇게

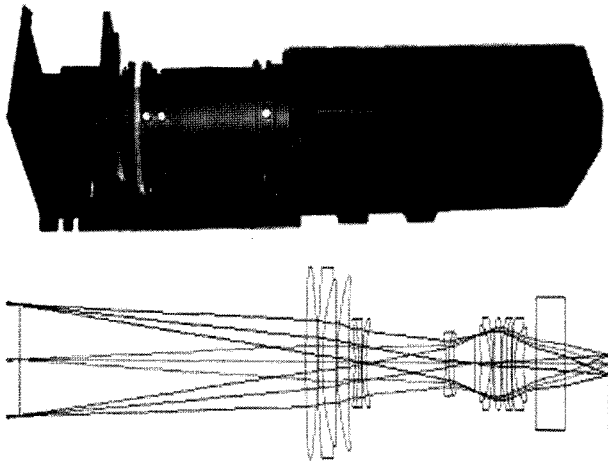


그림 5. LCD 기판의 표면검사용 광학계. 조립된 광학장치와 설계도.

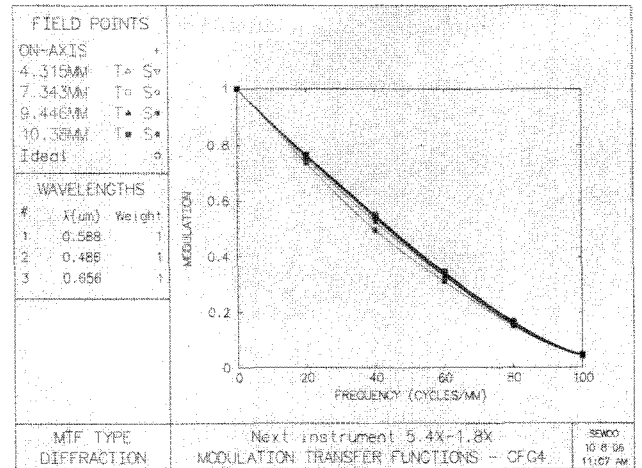


그림 6. 측정 광학계의 2.6x 줌 위치에 대한 설계 변조전달함수.

표 2. 측정 광학계의 설계 사양.

항 목	사 양
배율	1.8x~5.4x (3x Zoom), 주 사용 배율 2.6x
MTF	69lp/mm @1.8x
	100lp/mm @2.6x
	208lp/mm @5.4x
FOV 폭(mm)	30mm @1.8x
	20.77mm @2.6x
	10.0mm @5.4x
DOF (μm)	100μm 이상 (모든 배율 영역에서)
왜곡수차	1 % 이하 (모든 배율 영역에서) 0.2 % 이하 (@2.6x)
working distance	36mm (기구적 거리)
사용파장	가시광선영역 (450~680nm)
초점거리	236 mm @1.8x
	246 mm @2.6x
	88.3 mm @5.4x
F-number	18.94 @1.8x
	13.65 @2.6x
	2.33 @5.4x
줌, iris 구동방법	기어방식 (조리개기어비 [194:1] 구동부기어비 [240:1])

제작한 이유는 물체부의 측정 유리판이 측정 테이블로부터 20 cm 이상 위쪽에 위치하기 때문에 비축 이송모터의 경우 이송구간이 길어야 하기 때문이다. 비축이송장치는 위치정밀도 0.015 mm 이하, 위치반복도 0.006 mm 이하, backlash 0.005 mm 이하의 사양을 갖는다. 반면에 자동초점을 위한 이송장치는 비축이송장치에 비하여 위치정밀도 0.005 mm 이하, 위치반복도 0.003 mm 이하, backlash 0.003 mm 이하인 것을 사용하였다. 또한 위치정밀도 등의 성능을 1 μm 이하로 개선하기 위하여 이 모터들을 구동하는 장치에 펄스 분할 장치를 삽입

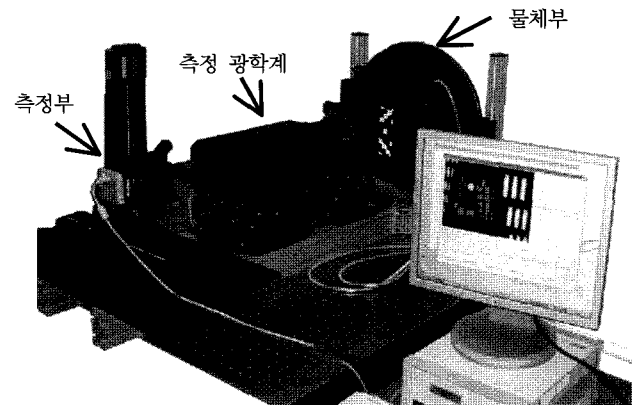


그림 7. LCD 기판 검사용 광학계의 성능평가 장치.

하여 사용하였다.

영상분석 장치는 IEEE 1394 규격을 채택한 2차원 배열의 1/3-inch interline 방식의 CCD(오규비전, IMB-81FT)를 사용하였다. 픽셀 크기는 4.65 μm x 4.65 μm로서 정사각형 형태이며 노출시간, 이득 등을 사용자가 바꿀 수 있다. 이 밖에도 IEEE 1394 규격의 CCD 카메라를 사용할 경우 별도의 frame grabber가 필요하지 않다는 장점도 있다.

IV. 측정결과

그림 7은 3장에서 논의한 물체부, LCD 기판 검사용 AOI 시스템의 광학계, MTF 측정부를 조립하여 제작한 LCD 기판 검사용 광학계의 MTF 성능 평가장치이다. 측정장치의 구동 및 MTF 측정프로그램은 Visual Basic 언어를 이용하여 개발하였으며, 그림 7의 오른쪽 아래의 모니터에서 그 결과를 볼 수 있다.

USAF 해상도 표준물체의 2차원 배열로 이루어진 측정물체를 광학계가 결상하고 측정부에 의해 모니터에 표시된다. 그림 8은 그림 6의 1번 요소의 영상을 마우스로 끌기 한 것

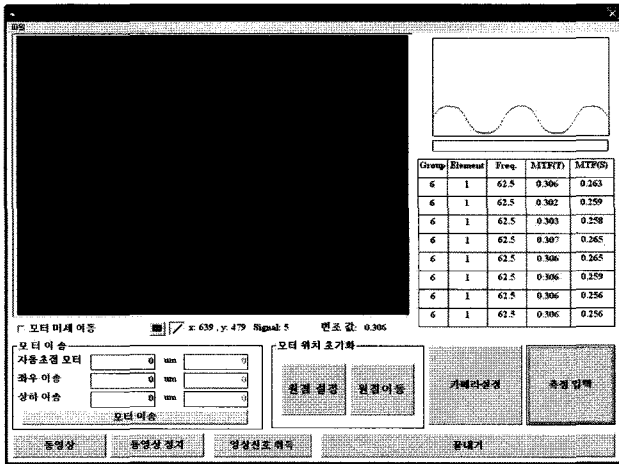


그림 8. 축상 표적물체를 이용한 동일 공간주파수에 대한 8회 반복 측정결과.

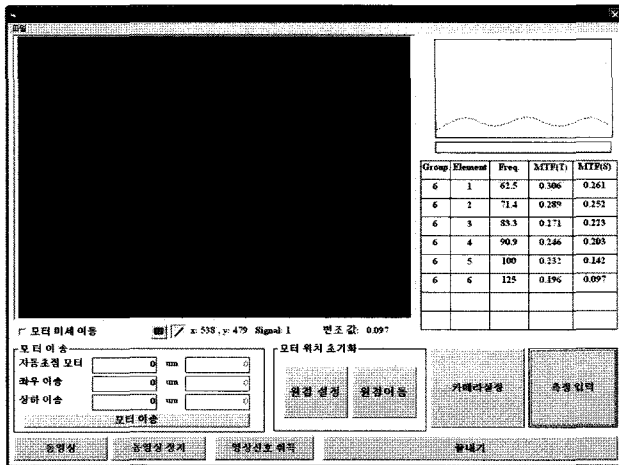


그림 9. 축상 표적물체를 이용한 동일 그룹의 개별 요소들에 대한 변조전달함수의 측정결과.

이다. 해당 위치에 선이 표시되고 그 선을 중심으로 상하 또는 좌우로 일정 폭 만큼의 영상의 명암신호를 취득하여 변조값을 구한다. 이러한 이산적인 공간주파수들에 대한 CTF 값을 토대로 식 (3)으로부터 MTF를 구했다. 동일 공간주파수에 대한 8회 반복 측정 후 모집단에 대한 평균과 표준편차를 구한 결과 공간주파수 62.5 lp/mm에 대하여 구결면의 MTF는 30.5 %였으며 $\pm 0.1\%$ 의 오차를 보였다. 이 8회의 측정 결과는 그림 8의 오른쪽 중간 표에 입력된다. 그리고 동일 그룹의 다른 요소들에 대한 자오면과 구결면의 측정도 병행하였다. 그 결과는 그림 9에서 볼 수 있다. 공간주파수 62.5 lp/mm에서는 자오면 MTF는 30.6 %, 구결면 MTF는 26.1 %의 값을 얻었다.

그림 9의 결과는 그림 6에서 줌 렌즈 광학계의 설계 MTF와 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 아울러 한국표준과학연구원의 MTF 측정 표준장치를 이용하여 측정시료의 구결면에 대한 성능평가를 하였다. 그 결과는 표 3과 같다.

표 3. MTF 측정 표준장치를 이용한 측정시료의 측정결과.

공간주파수 (mm-1)	변조전달함수	공간주파수 (mm-1)	변조전달함수
5	0.958	30	0.599
10	0.897	35	0.527
15	0.818	40	0.458
20	0.744	45	0.394
25	0.673	50	0.337

USAF 해상도 표준물체를 이용한 측정 결과는 공간주파수가 60 lp/mm에 대한 것이고 표준장치를 이용한 결과는 최대 공간주파수가 50 lp/mm이다. 표준장치에 의한 결과를 컴퓨터 응용프로그램을 이용하여 공간주파수 60 lp/mm에서의 변조전달함수를 구해보면 약 27 % 정도의 값이 나온다. 이 값은 우리가 제작한 장치와 비교했을 때 오차가 크지 않음을 나타낸다.

V. 결 론

LCD 기판의 표면 상태 등을 검사하기 위한 LCD 기판 AOI 장치의 광학계에 대한 MTF 성능을 평가하는 장치를 설계, 제작하였다. 측정 시간을 단축하기 위하여 USAF 해상도 표준물체를 배열한 측정 유리판을 사용하였다.

성능평가 장치는 고정밀도 이송모터를 사용하여 측정 정확도를 향상시켰으며 영상 획득 시에 frame grabber를 사용하지 않는 IEEE 1394 규격의 2차원 CCD를 사용하였다. 또한 측정 표판의 상에 대한 변조비를 구함으로써 명암전달함수를 구하고 간단한 수식을 도입하여 변조전달함수로 변환하였다.

제작된 평가장치를 사용하여 자동광학검사장치의 MTF를 측정하였으며 공간주파수 62.5 lp/mm에서 자오면 MTF는 67.5 %, 구결면 MTF는 64.9 %이었다. 또한 표준장치로 측정한 결과와 비교했을 때 오차가 크지 않음을 확인하였다. 그리고 측정 결과의 오차는 영상의 막대에 대한 끝가 과정에서 앞에서 끝냈던 부분이 아닌 다른 부분을 선택함으로써 생기는 것이며, 이에 대한 개선도 앞으로 연구를 해야 할 필요가 있다고 판단한다.

LCD 기판의 표면상태 검사용 AOI 장치의 MTF 측정장치는 고해상도 검사 광학계의 성능을 자체적으로 평가함으로써 관련업체의 품질인증과 기술개발능력 향상에 핵심역할을 할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] Dietz, K. "An overview of AOI applications", CircuiTree, Vol.16 no.4, pp.54-61, 2003.
 [2] Military Standard, "Military Standard Photograph Lenses", (MIL-STD-150A), 1959.

- [3] International Standard, "Optics and optical instrument - Optical transfer function - Principles and procedures of measurement", ISO 9335.
- [4] 송중섭, 조재홍, 홍성목, 이운우, "다색광전달함수를 사용한 칼리 LCD 모니터의 광학적 상평가법", 한국광학회지, 16(1), 63-70 (2005).
- [5] 송중섭, 조재홍, 홍성목, 이운우, 송재봉, "후면투사식 CRT 고화질 텔레비전용 광학엔진의 변조전달함수 측정을 위한 후방검사 변조전달함수 측정법", 한국광학회지, 16(1), 56-62 (2005).
- [6] 이지영, 송중섭, 조재홍, 장수, 임천석, 이운우, 이인원, "카메라 렌즈 평가용 nodal slide형 실시간 OTF 측정장치", 한국광학회지, 13(2), 92-97 (2002).
- [7] G. D. Boreman, *Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical System*, (SPIE Press, Washington USA, 2001), pp7-15.
- [8] 이운우, 송재봉, 양호순, 이회윤, 이재협, "광학시험 및 평가기술 II", (한국표준과학연구원, 대전, 한국, 2005), pp.41-47.
- [9] C. S. Williams, O. A. Becklund, *Introduction to the Optical Transfer Function*, (SPIE Press, Washington, USA), pp. 23-62.
- [10] T.L.Williams, *The Optical Transfer Function of Imaging Systems*, (Sira Electro-Optics Ltd, Kent, UK, 1999). pp. 24-53.
- [11] Gerald C. Holst, *Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems*, (SPIE Press, Bellingham, USA, 1998), pp.296-303.
- [12] J. W. Coltman, "The Specification of Imaging Properties by Response to a Sine Wave Input", *J. Opt. Soc. America*, vol. 44, no. 6, pp. 468-471.
- [13] 김형수, 전영세, 이종용, 김성호, "주기적인 선물체에 대한 Contrast Transfer Function의 수치계산", 한국광학회지 9(6), pp. 396-402 (1998).
- [14] Casimer DeCusatis, *Handbook of Applied Photometry*, (AIP Press, New York, USA, 1997), pp. 250-254.

MTF Measuring Equipment of Optical System for LCD Substrate Inspection

Sung Mok Hong, Hee Nam Kim and Jae Heung Jo

Dept. of Applied Optics and Electromagnetics, Hannam University, Ojung-dong 133, Daejeon 306-791, Korea

Yun Woo Lee[†], Hoi Youn Lee, Ho Soon Yang and In Won Lee

Space Optical Research Center, Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong-gu, Daejeon 305-600, Korea

Jin Ho Jung

PRO OPTICS No. 475, Ami 1-ri, Bubal-eup, Icheon-si, Gyeonggi-do, Korea

[†] E-mail: ywlee@kriss.re.kr

(Received November 27, 2006, Revised manuscript February 20, 2007)

We developed the equipment to measure the MTF(modulation transfer function) of an optical system for automatically inspecting the surface condition of an LCD substrate. We have made an object generator with USAF(United States Air Force) targets of three bar patterns and an integrating sphere, and an image analyzer with a 2 dimensional CCD(charge coupled device) and a relay lens. The MTF of the lens under test was obtained by correcting the measured CTF(contrast transfer function) which is the ratio of the contrast in the image of the USAF target to the contrast in the object. We have measured an optical system of F/13.65 (2.6x), the MTF are 30.6 % tangential plane and 26.1 % sagittal plane at 62.5 lp/mm.

OCIS code : 110.4850, 120.4800.