

후면투사식 CRT 고화질 텔레비전용 광학엔진의 변조전달함수 측정을 위한 후방검사 변조전달함수 측정법

송중섭

(주)삼성전기* 광사업부 광모듈사업팀 광모듈개발그룹
Ⓣ 443-743 경기도 수원시 영통구 매탄3동 314

조재흥[†] · 홍성목

한남대학교 광·전자물리학과
Ⓣ 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133

이윤우 · 송재봉 · 이희운 · 이인원

한국표준과학연구원 광도영상그룹
Ⓣ 305-600 대전광역시 유성구 도룡동 1

(2004년 11월 2일 받음, 2004년 12월 16일 수정본 받음)

후면투사방식의 CRT(Cathod Ray Tube) 고화질 텔레비전용 광학엔진은 큰 화면과 굵은 필드 때문에 일반적인 전방검사 MTF(modulation transfer function)로는 측정이 어렵다. 이러한 광학엔진의 MTF를 측정하기 위하여 광학엔진이 놓인 물체면과 상분석기의 위치를 서로 바꾸는 후방검사 MTF방법을 제안하고 이에 따른 MTF 측정장비를 구성하였다. 이러한 CRT HDTV용 광학엔진을 위한 후방검사 MTF측정법은 작은 수치개구(NA), 낮은 분해능, 긴 초점심도들 때문에 정밀도가 낮아지는 전방검사 MTF 측정법보다 사용하기가 훨씬 더 좋으며, 정렬이 매우 용이하고 측정반복성이 매우 좋다. 이 방법으로 측정된 MTF값과 설계된 MTF를 비교함으로써 이 방법의 신뢰성을 확인하였다.

주제어 : MTF measurement, HDTV, optical engine.

I. 서 론

비디오 상영이나 컴퓨터 모니터 대응으로 사용하는 대형스크린 투사기(large-screen projector)는 집에서 TV 대신에 사용할 뿐만 아니라 학술대회의 발표용 장비로도 편리하게 사용한다. 또한 최근에는 투사식(projection) TV에서는 보다 더 밝고 분해능이 좋은 화면을 위하여 CRT(cathode ray tube) 투사기(projector)나 LCD(liquid crystal display) 투사기를 사용한다. 이 중에서 CRT는 LCD보다 훨씬 더 많은 화소들로 디스플레이하기 때문에 분해능도 더 좋고 더 밝다. 투사기는 투사식 TV의 가장 중요한 부분이며 이 투사기의 핵심인 CRT앞에 설치된 렌즈는 CRT상에 생긴 상을 확대하여 대형스크린 상에 이를 결상한다.

CRT 투사기로 사용하는 CRT 배치방법은 3가지가 있다. 첫 번째 방법은 적색, 청색, 녹색의 형광막을 한꺼번에 갖고 있는 하나의 컬러 CRT관에 하나의 투사렌즈로 스크린 상에 컬러 영상을 디스플레이하는 방식이다. 두 번째 방법으로는 하나의 흑백 CRT를 사용하되, CRT관과 투사렌즈 사이에 적색, 녹색, 청색의 3색 컬러 필터를 설치한 고속회전판을 설치

하여 스크린 상에 투영된 일련의 연속적인 3가지 색의 영상들의 잔상이 뇌에 남도록 빠르게 바꾸어서 컬러영상이 보이게 하는 것이다. 마지막으로 적색, 녹색, 청색을 내는 3개의 CRT 관 앞에 독립적인 3개의 렌즈를 설치하여 이들 3색의 영상이 스크린 상에서 하나의 컬러영상이 되도록 정밀하게 정렬하는 방식이다. 이 중에서 경제성과 구조의 단순성 때문에 첫 번째 방식이 널리 사용되며, 본 논문에서도 이러한 방식의 CRT 투사기를 대상으로 연구하였다.^[1] 그리고 투사하는 방향에 따라 스크린 전방에서 투사하고 투사시킨 방향에서 보는 전면투사식(front projection)과 스크린 뒤에서 투사하고 투사방향의 반대면에서 보는 후면투사식(rear projection)이 있다. 전자는 학술회의에서 발표용 장치로 많이 사용하는 투사기에서 사용하며, 후자는 가정용 대형 투사식 TV에서 사용하는 방식이다. 본 연구에서는 고화질 TV에서 사용하는 후면투사식 CRT 광학엔진에 관심을 집중하고자 한다.^[1,2]

투사기의 광학적 분해능은 투사용 CRT, 투사렌즈, 스크린들의 대역폭과 광학적 상 분해능 특성에 의해서 결정된다. 이러한 분해능은 보통 그 광학계의 변조전달함수(MTF : modulation transfer function)로 나타내는데, 이 투사광학계의 광학특성들이 선형인 범위 내에서는 이 투사광학계의 전체 MTF는 이 광학계의 각 부품들의 각각의 MTF들의 곱으로

[†]E-mail: jhjo@hannam.ac.kr

표현할 수 있다. 특히 투사렌즈의 분해능은 이 투사광학계의 분해능을 결정하는 가장 중요한 요인들 중에 하나이다.^[3,4]

본 논문에서는 MTF 측정이 매우 어려운 그림 1의 60인치 후면투사용 CRT 고화질 텔레비전(CRT rear projection HDTV)용 광학엔진의 MTF를 측정하기 위하여 후방검사 MTF(backward MTF method) 측정법을 사용하며, 이를 전방검사 MTF 측정법(forward MTF method)과 비교하고자 한다. 보통 MTF 측정시 사용하는 전방검사 MTF 측정법은 MTF 측정용 물체 패턴을 CRT의 형광면, 즉 광학엔진의 제 1면에 만들고 MTF를 측정하는 상분석기를 투사기의 스크린면에 설치하는 것이다. 그러나 대형 투사기에서는 광학엔진의 제 1면에 물체 패턴을 설치하는 것은 투사기의 광학적 구조상 매우 어렵다. 그래서 60인치 스크린상에 MTF 측정용 물체패턴을 만들고 2차원 CCD(charge coupled device)와 릴레이 렌즈(relay lens)로 구성된 상분석기를 형광면 상에 설치한 다음 이 상분석기를 이 면을 따라 움직이게 설치한 후방검사 MTF 측정법을 제안한다. 그리고 이 후방검사 MTF 측정법으로 측정한 결과를 광학설계 프로그램으로 설계한 광학엔진의 설계값과 비교하여 이 방법의 측정정밀도를 알아보고자 한다.

II. 변조전달함수 이론 및 보정과정

광학적 선형계에서 물체(여기에서는 1차원 물체로 가정함)의 복사조도 분포 $i(x)$ 와 이 광학계에 의한 점물체의 상에 대한 복사조도 분포 $f(x)$ 는 콘볼루션(convolution) 적분의 관계를 갖는다. 이러한 광학계에 의해서 점물체가 점으로 된 상을 만들지 못하고 퍼질 경우, 이 광학계 때문에 상의 어느 공간 주파수 성분이 감소하는 지를 알기 위하여 공간주파수 f 로 $f(x)$ 의 푸리에 변환을 한 결과인 $F(f)$ 를 알아보아야 하며 이를 광전달함수(optical transfer function : OTF)라고 한다. 매우 좁은 선물체의 경우인 1차원 물체의 경우, $f(x)$ 를 $LSF(x)$ 라고 하며 선확산함수(line spread function)를 의미한다. 이 $LSF(x)$ 의 푸리에 적분결과 크기를 변조전달함수(modulation transfer function : MTF) $MTF(f)$ 라고 하며, 다음 식 (1)과 같이 영의 공간주파수 값으로 규격화 한다.^[5-7]

$$MTF(f) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{+\infty} LSF(x) \exp(-j2\pi fx) dx \right|}{\left| \int_{-\infty}^{+\infty} LSF(x) dx \right|} \quad (1)$$

MTF는 결상광학계의 수차나 회절효과로 인하여 상의 공간주파수 성분들의 진폭이 줄어드는, 즉 결상광학계에 의한 상의 고주파 성분(공간주파수 영역에서 고려함)이 감소하는 주파수 대역필터 효과라고 할 수 있다.

이러한 MTF 측정시 검사할 대상체의 특성에 따라 비가간섭 광으로 조명하는 원형개구, 슬릿, 모서리, 격자나 또는 백열선과 같은 자체발광 물체들을 MTF 측정용 물체로 널리 사용한다. 이러한 검사용 물체의 공간주파수 스펙트럼의 정밀도는 측정정밀도에 따라서 알 수 있는데, 실질적인 주파수 스펙트럼은 기하적으로 예상하는 이상적인 스펙트럼과는 보통 다르다. 그러나 검사할 광학계의 구조나 환경적 요인으로 인하여 실제의 스펙트럼을 측정할 수 없다면 필수적으로 어떤 특정한 모양을 갖는 물체로 MTF를 측정해야만 하는 사전적 조치가 필요할 것이다. 이 논문의 경우, 일반적인 MTF 측정법(전방검사 MTF)으로는 MTF 측정이 어렵고 측정정밀도가 낮은 후면투사방식의 CRT 고화질 텔레비전(high definition television : HDTV)용 광학엔진의 MTF를 측정하기 위하여 바늘구멍, 슬릿, 교차하는 십자물체와 같은 3가지 형태의 물체를 사용하였다.

위의 물체들을 사용한 MTF 측정시 측정대상인 광학계만의 MTF를 제대로 구하기 위해서는 전체 측정 시스템에서 얻어진 MTF에 측정장치의 각 부분들에서 생기는 여러 가지 보정계수들을 적용하여 측정값을 수정해야만 한다. 즉 물체로 사용한 슬릿이나 원형개구의 MTF(= MTF_{obj})와 결상된 상에서 MTF를 측정하기 위해서 상면에서 사용한 슬릿이나 원형개구에 의한 MTF(= MTF_{img})로 각각 전체 MTF 측정장치로부터 얻은 MTF(= MTF_{meas})를 아래 식 (2)와 같이 나누어서 보정된 MTF(= MTF_{cor})를 구해야만 한다.

$$MTF_{cor} = \frac{MTF_{meas}}{MTF_{obj} MTF_{img}} \quad (2)$$

식 (2)에서 만약에 폭이 b 인 슬릿을 사용한다면 공간주파수 f 로 나타내는 MTF_{obj} 나 MTF_{img} 는 다음과 같다.

$$MTF_{slit}(f) = \frac{\sin(\pi fb)}{(\pi fb)} \quad (3)$$

그리고 만약에 직경이 d 인 원형개구를 사용한다면 MTF_{obj} 나 MTF_{img} 는 제 1종 제 1차 베셀(Bessel)함수인 $J_1(\pi fd)$ 로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$MTF_{c.ap}(f) = \frac{2J_1(\pi fd)}{(\pi fd)} \quad (4)$$

여기에서 중요한 것은 식 (2)의 MTF들은 모두 동일한 공역면(conjugate plane)에서 측정해야만 한다는 것이다. 일반적으로 이러한 측정은 상면에서 하지만 측정시 물체와 상의 관계가 유한공액이거나 무한거리의 공액물체를 사용한다면 측정을 물체면에서도 동등하게 할 수 있다. 이러한 조건을 만족하기 위해서 MTF_{obj} 와 MTF_{img} 를 계산하는데 사용한 b 와 d 의 값들을 어떤 선택한 공역면에서 구해야만 한다. 이 때문에 슬릿이나 원형개구를 물체면에 놓고 상면을 MTF를 구하는 면과 일치시켰을 때, MTF를 계산하기 위한 보정계수를 적용하기 전에 실제의 슬릿폭과 원형개구의 직경을 구하는데 있어서 실험장치에서 사용한 배율을 적용해야만 한다.^[8]

III. 투사렌즈의 MTF 측정

그림 1은 CRT의 형광면에 결상된 작은 크기의 상들을 60°

대형 스크린으로 확대하여 보여주는 후면투사방식의 CRT HDTV용 광학엔진의 광학적 배치도이다. 보통 전방 스크린을 이용할 경우 긴 초점거리를 갖는 투사렌즈를 사용해야 한다. 그러나 그림 1과 같이 후방 스크린을 사용하는 CRT 투사렌즈 설계의 최근 경향은 광경로를 더 짧게 해서, 즉 HDTV 몸체를 더 얇게 만들기 위해서 투사렌즈의 초점거리를 더욱 더 짧게 만든다. 이와 같이 투사렌즈의 초점거리를 짧게 만들면 CRT 튜브와 스크린 사이의 각도가 증가하는데, 이로 인하여 발생하는 부가적인 왜곡수차를 보정하기 위해서 CRT에서 래스터(raster)의 오차보정 신호를 점점 더 크게 해야만 한다.

그림 2는 (a) 전방검사 MTF 측정법과, (b) 후방검사 MTF 측정법으로 투사렌즈의 MTF를 측정하는 개략도이다. 전방검사 MTF 측정법에서는 슬릿과 같은 물체발생기(object generator)를 곡률반경 350 mm인 광학엔진의 제 1면인 CRT 형광면(투사렌즈의 제 1면임)에다 설치하고, 60인치 스크린면에 MTF를 측정하기 위한 2차원 CCD를 사용한 상분석기(image analyzer)를 설치한 후 스크린면을 따라 비축상으로 움직이게 한다. 그러나 상분석기로 들어가는 광이 CCD 카메라의 C 마운트에 걸려서 가려지기 때문에 투사렌즈의 비축 MTF를 제대로 측정할 수 없다. 이러한 이유 때문에 본 논문에서는 그림 2(b)와 같은 후방검사 MTF 측정법을 제안하고, 이

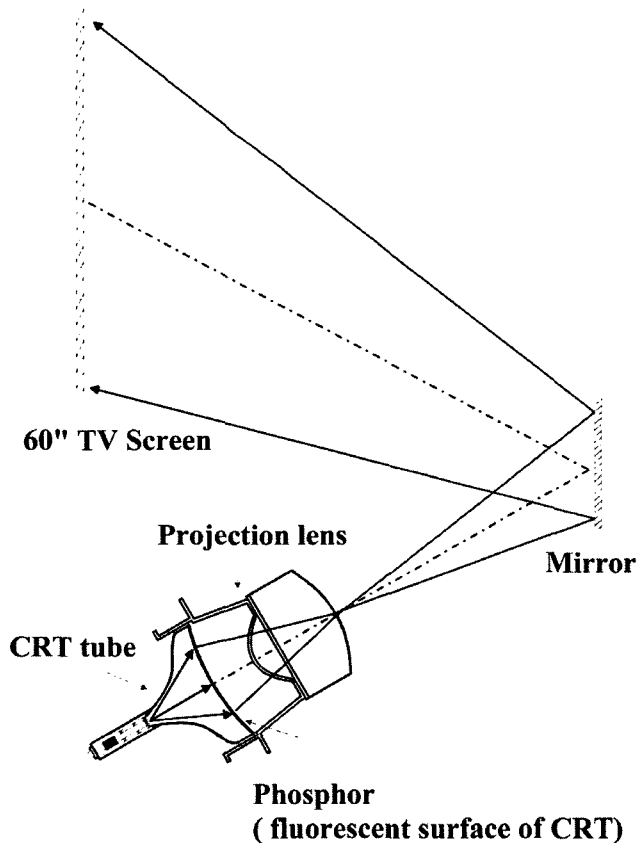


그림 1. CRT의 형광면에 결상된 작은 크기의 상들을 60" 대형 스크린으로 확대하여 보여주는 후면투사방식의 CRT HDTV용 광학엔진의 광학적 배치도.

를 이용하여 투사렌즈의 축상 및 비축상의 MTF를 측정한다. 후방검사 MTF 측정법에서는 전방검사 MTF 측정법과는 역으로 텅스텐 할로겐 전구, 대역필터, 물체용 패턴으로 조립한 물체발생기를 스크린면에 설치하고 이를 스크린면을 따라 비축으로 움직인다. 그리고 상분석기는 CRT 형광면에 갖다 놓으면 전방검사 MTF 측정법의 단점인 CCD 마운트에 의한 비축상의 광이 가려지는 문제가 해결된다.

그림 3은 후방검사 MTF 측정법에서 배치한 투사렌즈 모듈의 0 field부터 1.0 field까지의 다양한 시야각으로 스크린

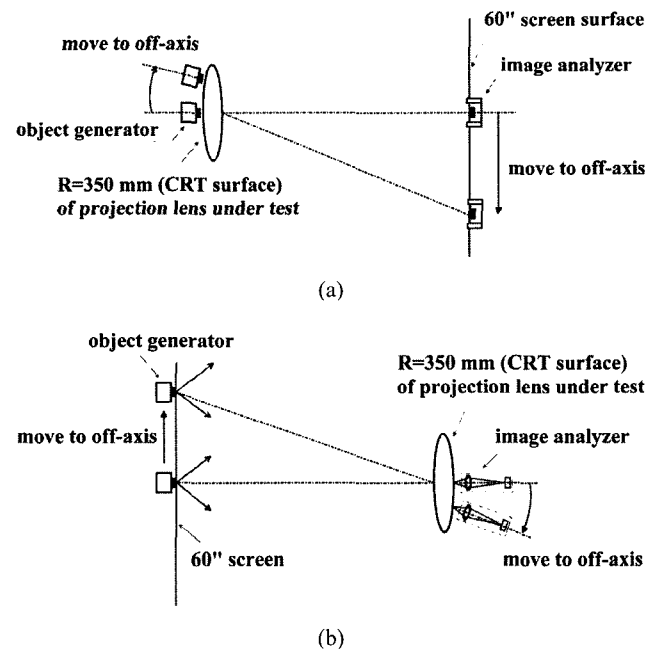


그림 2. (a) 전방검사 MTF 측정법과 (b) 후방검사 MTF 측정법으로 투사렌즈의 MTF를 측정하는 개략도.

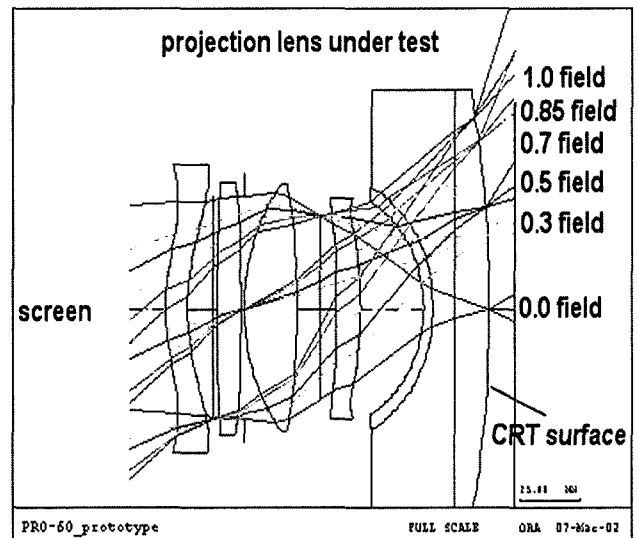


그림 3. 후방검사 MTF 측정법에서 배치한 투사렌즈 모듈의 0 field부터 1.0 field까지의 다양한 시야각으로 스크린쪽에서 입사하는 입사광선의 광선추적 결과.

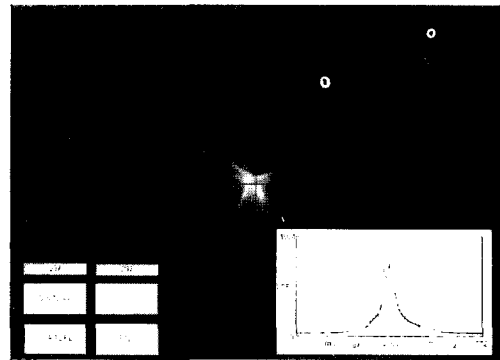
표 1. 그림 2에서 추적한 각 field의 입사광선들에 대한 투사렌즈의 마지막 면(상면)에서의 X, Y 위치와 출사동의 위치 및 출사각

Ray field	Y - position [mm]	Z - position [mm]	Exit pupil position [mm]	Exit angle [°]
0	0	0	65.00	0
0.35	24.30	-0.84	62.07	21.65
0.50	34.10	-1.67	61.06	29.86
0.70	46.04	-3.04	58.98	39.46
0.85	55.28	-4.39	56.80	46.53
1.00	63.47	-5.80	54.18	52.68

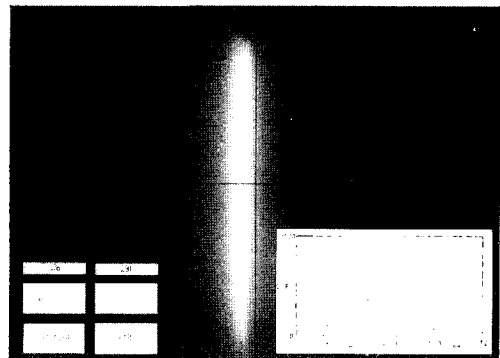
쪽에서 입사하는 입사광선의 광선추적 결과이다. 투사렌즈의 마지막 면은 CRT의 형광면과 밀착되어 부착되며, 반경 350 mm의 곡률반경을 갖는 곡면으로 되어있다. 이 투사렌즈의 곡면(마지막 면)에 형성되는 상들을 측정하기 위해서 상분석기를 회전지지대에 설치하였다. 그림 3의 광선추적도에서 보듯이 이 곡면 상에서 결상하는 광선들은 다른 방향으로 굴절하므로 이 방향에 맞도록 회전지지대를 돌려서 상분석기의 방향을 광선들이 정면으로 입사하도록 한다. 표 1은 그림 2에서 추적한 각 field의 입사광선들에 대한 투사렌즈의 마지막 면(상면)에서의 X, Y 위치와 출사동의 위치 및 출사각을 정리한 것이다. 이렇게 렌즈설계 데이터로부터 마지막 면에서의 출사동의 위치와 출사각들 및 X, Y의 위치들을 계산할 수 있다면 각 입사각에 대해서(즉 축상 및 비축상에 대해서) 상분석기를 설치할 위치와 방향을 정할 수 있다.

IV. 실험결과 및 토의

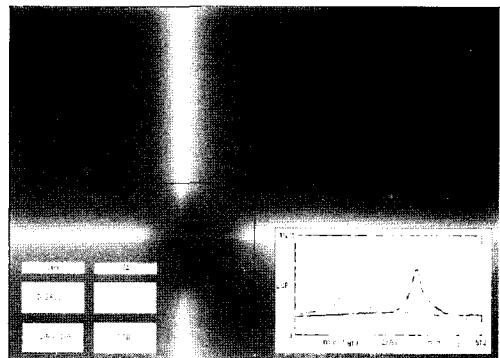
MTF 측정실험에 사용한 투사렌즈의 최대 상높이는 63.5 mm이고, f수는 1.05이며, 배율은 12.3이고, 스크린에서 CRT 형광면(곡률반경이 350 mm임)까지의 총 공액거리(conjugate length)는 1,091.2 mm이다. 그림 2(b)와 같은 투사렌즈의 MTF를 축상 및 비축상으로 측정하는 후방검사 MTF 측정법을



(a)



(b)



(c)

그림 5. 후방검사 MTF 측정법에서 (a) 원형개구인 바늘구멍, (b) 슬릿, (c) 십자물체를 물체로 사용하였을 때 투사렌즈 모듈의 마지막면에 생긴 상들이며, 각 사진들에서 오른쪽 아래는 수평방향의 밝기((c)는 수평과 수직 방향 모두 측정함)를 나타냄.

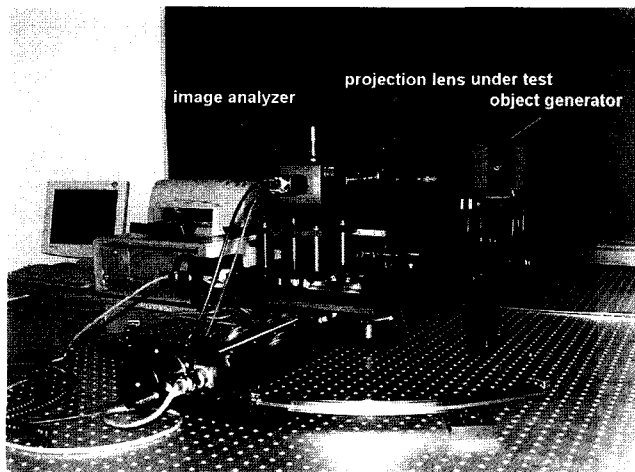


그림 4. 그림 2(b)와 같은 투사렌즈의 MTF를 축상 및 비축상으로 측정하는 후방검사 MTF 측정법을 구현한 실험장치도 사진.

구현한 실험장치도 사진이 그림 4이며, 상분석기, 검사용 투사렌즈, 물체발생기들로 구성되어 있다. 본 실험을 위하여 투사렌즈의 축상 위치에 따라 MTF값이 최대가 되는 위치를 자동적으로 측정하여 투사렌즈의 위치를 정확히 위치시키는 컴퓨터 프로그램을 개발하여 사용하였다.

그림 5는 후방검사 MTF 측정법에서 (a) 원형개구인 바늘구멍, (b) 슬릿, (c) 십자물체를 물체로 사용하였을 때 투사렌즈 모듈의 마지막면에 생긴 상들이며, 각 사진들에서 오른쪽 아래는 수평방향의 밝기((c)는 수평과 수직 방향 모두 측정함)를 나타낸다. 그림 5(a)에서 보듯이 바늘구멍의 형태가 정확히 원형이 아닌 것과 렌즈의 큰 수차로 인하여 바늘구멍의 물체에 의한 상은 제멋대로 퍼지기 때문에 물체로 사용하기에는 적당하지가 않다. 보통 이러한 CRT용 투사렌즈의 구조로 인하여 카메라 렌즈와 같은 결상용 렌즈계들보다 낮은 분해능과 큰 수차를 갖기 때문에 낮은 분해능의 투사렌즈의 광학적 성능을 제대로 평가하기 위해서는 특별한 장치와 검사용 물체가 필요하다. 그리고 투사렌즈의 구결 또는 자오 MTF들 중 하나만을 측정하는 경우에는 슬릿을 물체로 사용하며, 구결 MTF와 자오 MTF를 동시에 측정해야만 하는 경우에는 십자물체를 사용한다. 이 십자물체의 폭은 델타함수로 근사할 수 있을 정도로 좁지가 않지만 3장에서 언급한 이 폭에 의한 MTF 보정계수를 사용하면 검사용 렌즈의 정확한 MTF값을 구할 수 있다. 그리고 CCD의 분해능을 고려하여 투사렌즈의 마지막 면(상면)에 생긴 상을 확대하여 CCD에 전달하도록 100 μm 의 폭을 갖는 십자물체를 사용하였으며, 10배의 배율을 갖는 대물렌즈를 상분석기에 설치하였다. 후방검사 MTF 측정법에서는 배율이 x12.3인 투사렌즈를 역으로 설치하여 상을 축소하도록 설치하였으므로 물체폭의 크기는 8.13 μm 가 되며, 릴레이 렌즈인 대물렌즈로 인하여 CCD에서는 81.3 μm 이 된다. 십자물체의 MTF는 공간주파수 10.0 l/mm에서 약 0.99로 십자물체의 MTF는 보정과정에서

사용한다. 십자물체의 중심영역을 확대하여 배경잡음의 정도를 측정함으로써 이 배경잡음의 감소정도를 결정할 수 있다.

그림 6은 십자물체를 사용한 후방검사 MTF 측정법으로 측정된 투사렌즈의 MTF 측정결과들 중 하나를 보여주는 측정 프로그램의 화면이다. 이 그림에서 십자물체의 수평성분에 대한 상의 밝기 분포(왼쪽 위의 그림 중 왼쪽 그래프)와 수직성분에 대한 상의 밝기(왼쪽 위의 그림 중 오른쪽 그래프)를 확대한 것이며, 오른쪽 위의 그림은 이들을 사용하여 구한 십자물체의 수직성분에 대한 자오 MTF(위쪽 그래프)와 수평성분에 대한 구결 MTF(아래쪽 그래프)를 보여준다. 이 그래프에서 보듯이 자오 MTF가 구결 MTF보다 약간 큰 것을 알 수 있다.

축상에 대해서는 전방검사 MTF 측정법(그림 2(a))과 후방검사 MTF 측정법(그림 2(b))을 모두 적용할 수 있으므로 이를 비교하고자 한다. 그림 7은 0에서 5 lp/mm까지의 공간주파수 영역에서 이 두 방법에 의한 실험결과로 직선은 전방검사 MTF 측정법의 축상에 대한 결과이고 점선은 후방검사 MTF 측정법의 축상에 대한 결과이다. 그림에서 보듯이 전방검사 MTF 측정법으로 구한 MTF가 후방검사 MTF 측정법으로 구한 MTF보다 약간 작으며, 이 차이가 그리 크지 않다. 이 두 방법들 중 전방검사 MTF 측정법은 매우 작은 수치개구(numerical aperture ; NA), 낮은 분해능, 긴 초점심도와 같은 단점들로 인하여 후방검사 MTF 측정법보다 그 정밀도가 매우 낮기 때문에 잘 사용하지 않고 그 측정값에 대한 신뢰가 낮다. 또한 그림 2에서 설명하였듯이 전방검사 MTF 측정법으로 비축MTF를 측정하는 것은 매우 어려운데, 그림에도 불구하고 비축 MTF를 측정하고자 한다면 비축각도에서 상크기가 비축 수차 및 시야각 때문에 매우 커야 하는 단점을 보완하기 위해서 매우 고가이면서 한쪽 방향밖에 측정을 못

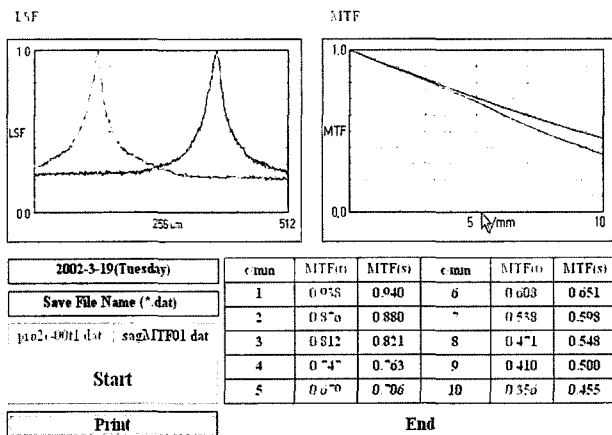


그림 6. 십자물체를 사용한 후방검사 MTF 측정법으로 측정된 투사렌즈의 MTF 측정결과들 중 하나를 보여주는 측정 프로그램의 화면.

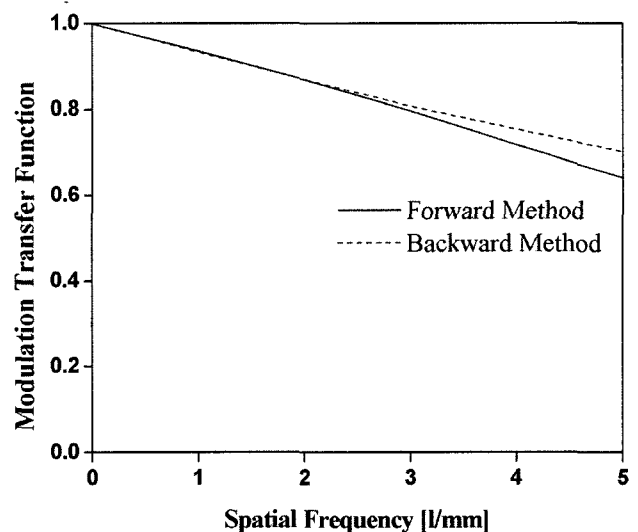


그림 7. 0에서 5 lp/mm까지의 공간주파수 영역에서 전방검사 MTF 측정법의 축상에 대한 결과(직선)와 후방검사 MTF 측정법의 축상에 대한 결과(점선).

하는 위성용 어레이 센서와 같은 면적이 넓고 민감도가 큰 2차원 CCD를 사용해야만 한다. 보통의 경우에는 경제성으로 인하여 이 방법보다는 본 논문에서 제안하는 후방검사 MTF 측정법이 투사렌즈의 MTF법으로는 더 좋다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 후방검사 MTF 측정법에서 설치한 투사렌즈 모듈의 MTF 설계결과로 회절한계 MTF(굵은 점선), 축상 MTF(열은 직선) 및 0.2 field부터 1.0 field까지 자오 MTF(T로 표기)와 구결 MTF(R로 표기)를 보여준다. 이 설계 데이터로부터 회절한계 MTF, 축상 MTF, field 값이 작은 MTF, field

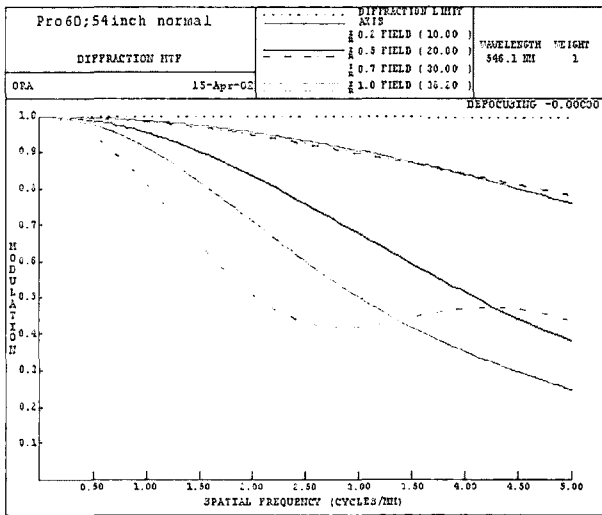


그림 8. 후방검사 MTF 측정법에서 설치한 투사렌즈 모듈의 MTF 설계결과로 회절한계 MTF(굵은 점선), 축상 MTF(열은 직선) 및 0.2 field부터 1.0 field까지 자오 MTF(T로 표기)와 구결 MTF(R로 표기)를 보여준다.

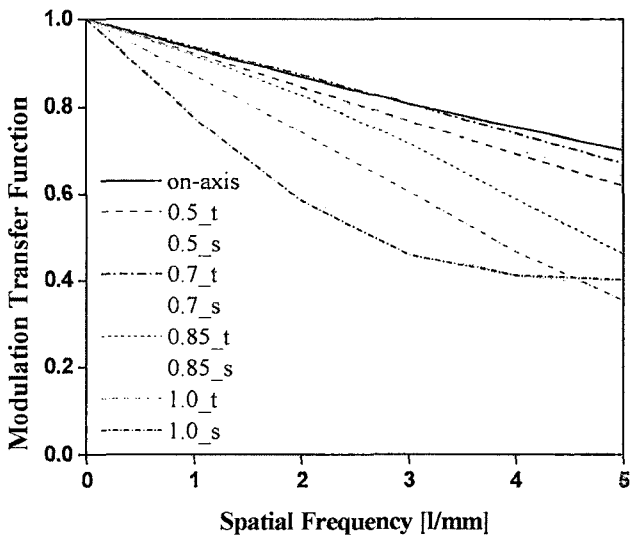


그림 9. 후방검사 MTF 측정법으로 투사렌즈 모듈의 MTF를 측정 한 결과이며, 축상 MTF(직선) 및 0.5 field부터 1.0 field까지 자오 MTF(t로 표기)와 구결 MTF(s로 표기)를 보여준다.

값이 큰 MTF 순서로 MTF가 작아짐을 알 수 있으며, 대체로 자오 MTF가 구결 MTF보다 좋음을 알 수 있는데 이는 그림 6의 결과와 일치한다.

그림 9는 후방검사 MTF 측정법으로 투사렌즈 모듈의 MTF를 측정한 결과이며, 축상 MTF(직선) 및 0.5 field부터 1.0 field까지 자오 MTF(t로 표기)와 구결 MTF(s로 표기)를 보여 준다. 이들 결과들은 0에서 5 lp/mm사이의 모든 공간주파수 범위와 1.0 field를 제외한 대부분의 시야각에서 그림 8의 설계된 MTF들과 +3% 이내의 정밀도로 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 그러므로 보통 사용하는 전방검사 MTF 측정법보다는 본 논문에서 제안한 후방검사 MTF 측정법은 저렴하면서도 쉽고 빠르게 측정할 수 있다는 장점으로 인하여 저주파 영역에서 후면투사방식의 CRT HDTV용 광학엔진에 사용하는 투사렌즈의 MTF를 측정하는 유력한 방법이다. 특히 현재 생산공정에서 사용하는 눈으로 bar chart를 판독하는 방법보다 훨씬 빠르고 정확한 방법으로 제안할 수 있다.

V. 결 론

MTF 측정이 어려운 60인치 후면투사용 CRT 고화질 텔레비전용 광학엔진의 MTF를 측정하기 위하여 후방검사 MTF 측정법을 제안하며 이를 보통 MTF 측정시 사용하는 전방검사 MTF 측정법과 비교하였다. 보통 MTF 측정시 사용하는 전방검사 MTF 측정법은 MTF 측정용 물체패턴을 CRT의 형광면, 즉 광학엔진의 제 1면에 만들고 MTF를 측정하는 상분석기를 투사기의 스크린면에 설치하는 것이다. 그러나 대형 투사기에서는 광학엔진의 제 1면에 물체패턴을 설치하는 것은 투사기의 광학적 구조상 매우 어렵다. 그래서 스크린 상에 MTF 측정용 물체패턴을 만들고 2차원 CCD와 릴레이 렌즈로 구성된 상분석기를 형광면 상에 설치한 다음 이 상분석기를 이 면을 따라 움직이게 설치한 후방검사 MTF 측정법을 제안하였다. 그리고 이 후방검사 MTF 측정법으로 측정된 결과를 광학설계 프로그램으로 설계한 광학엔진의 설계값과 비교한 결과 full field 정도의 시야각을 제외하면 대부분의 경우는 매우 잘 일치함을 알 수 있었다. 그러므로 보통 사용하는 전방검사 MTF 측정법보다는 본 논문에서 제안한 후방검사 MTF 측정법이 저렴하면서도 쉽고 빠르게 측정할 수 있다는 장점 때문에 저주파 영역에서 후면투사방식의 CRT HDTV용 광학엔진에 사용하는 투사렌즈의 MTF를 측정하는 유력한 방법이 된다. 또한 현재 생산공정에서 사용하는 눈으로 bar chart를 판독하는 방법을 대체하는 빠르고 정확한 방법임을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] E. H. Stupp and M. S. Brennessoltz, *Projection Displays* (John Wiley & Sons, 1999).
- [2] L. W. MacDonald and A. C. Lowe, *Display Systems: Design*

- and Applications* (John Wiley & Sons, 1997).
- [3] S. C. Park, Y. S. Kim, "Compact Optical System Design of a Digital Camera Using Lens Modules," *J. Korean Phys. Soc.* vol. 41, no. 2, pp. 205-211, 2002.
- [4] T. H. Kim, S. S. Jung, J. W. Park, J. S. Choi, and Y. J. Yun, "Simulations of Crosstalk and Flicker in TFT-LCDs," *J. Korean Phys. Soc.* vol. 39, no. 1, pp. 67-71, 2001.
- [5] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, 6th ed. (Pergamon, New York, 1980), pp. 484-490.
- [6] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, 2nd ed. (McGraw-Hill, New York, 1996), pp. 137-154.
- [7] C. S. Williams, *The Optical Transfer Function of Imaging Systems*(Sira Electro-Optics Ltd, Kent, UK, 1999), pp. 24-53.
- [8] K. H. Hong, I. W. Lee, H. M. Cho, and Y. W. Lee, "Enhancement of accuracy in OTF measurement," *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 20, pp. 4423-4424, 1987.

Backward Testing Method of MTF measurement for optical engine of CRT of rear projection HDTV

Jong Sup Song

Optical Module R&D Group, Optics Division, Samsung Electro-mechanics Co. Ltd., 443-743, Korea

Jae Heung Jo[†] and Sung Mok Hong

Dept. of Physics, Hannam University, Taejon 306-791, Korea

[†]E-mail: jhjo@hannam.ac.kr

Yun Woo Lee, Jae Bong Song, Hoe Yun Lee, and In Won Lee

Photometry & Imaging Optics Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600, Korea

(Received November 2, 2004, Revised manuscript December 16, 2004)

Because of the wide plane and the curved field of CRT rear projection high definition television, its MTF(modulation transfer function) can't be easily measured by the usual forward testing method. Then we propose a backward testing method for the MTF so that the object plane and the image analyzer of forward testing are located at positions opposite each other. We prefer to use the backward testing method because the forward testing method has poor accuracy caused by very small numerical aperture, low spatial resolutions, and long depth of focus. We found that the backward testing method was very easy to align and had high repeatability. We confirmed the confidence of results obtained by the backward testing method in comparison with designed results.

OCIS Codes : 110.3000, 110. 4850, 120.2880, 120.4630.