

MTFA에 의한 칼라 CRT의 화질 평가

김태희 · 이윤우 · 조현도 · 이인원 · 김준현 · 최옥식

영남대학교 물리학과

*한국표준과학연구원 양자연구부

(1998년 4월 16일 받음, 1998년 6월 5일 수정본 받음)

칼라 CRT(cathode ray tube)의 화질을 평가하기 위하여 일차원 CCD(charge coupled-device)를 사용한 MTF(modulation transfer function) 측정장치를 구성하였다. CCD의 분광감도와 화소의 크기와 간격을 고려하여 MTF 측정값을 보정하였다. Spot 크기, 비디오 대역폭, 새도우 마스크, 디스플레이 휘도, 그리고 주변 조명이 디스플레이의 분해능에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 칼라 CRT 모니터에서 화면의 균일성과 주변 조명에 따른 화질 평가하였으며, 그 결과를 MTFA(modulation transfer function area)를 사용하여 나타내었다.

I. 서 론

칼라 CRT(cathode ray tube) 디스플레이는 평면 디스플레이 보다 화질이 우수하다는 장점이 있어서 널리 사용되고 있다. 디스플레이의 화질은 주로 분해능에 의해 나타내며, CRT의 분해능은 TV lines, 주사선의 수, addressability, spot의 크기, 비디오 대역폭, MTF(modulation transfer function)등의 변수들을 사용하여 나타내고 있다.^[1] 그런데 여기에는 다음과 같은 모순점들이 존재한다. 첫째, 분해능을 나타내는 변수들의 의미가 모호하다. 분해능은 세밀한 영상을 나타낼 수 있는 정도, addressability는 재생되는 spot을 근접시킬 수 있는 정도를 일컫는다. 그러므로 분해능을 나타내는 변수들 중 전자 3개는 addressability를 나타내며 후자 3개가 분해능을 나타낸다고 할 수 있다. 둘째, 일반적인 칼라 CRT는 fig. 1과 같은 구조로 되어있다. CRT에 입력된 비디오 전압신호는 증폭기에 의해 증폭되어져서 전자총에 인가되어진다. 인가된 전압에 비선형적으로 비례하여 전자빔이 방출되고 이들이 형광면에 부딪쳐서 화면에 spot이 재생된다.^[2] 그러므로 분해능은 입력되는 비디오 전압신호에 대한 증폭기의 대역폭(응답속도의 역수)과 재생되는 spot의 크기에 모두 영향을 받는다.

국내 생산현장에서는 분해능을 평가하기 위하여 spot의 크기를 측정하거나 여러가지 공간주파수 패턴을 가지는 분해능 표판을 사람의 눈에 의해 주관적으로 측정하고 있다. 이러한 측정방법들은 높은 공간주파수를 가지는 분해능 표판의 제작

이 어렵고, 검사자의 상태에 따라서 측정오차가 크며 디스플레이가 사용되는 주변 환경-주변 조명, 디스플레이 휘도, 디스플레이의 크기, viewing distance가 분해능에 미치는 영향에 고려할 수 없다는 단점을 가진다.

이에 따라 선진국에서는 MTF 측정에 기초를 둔 화질 척도(image quality metric)에 의해 분해능을 평가하는 방법을 최근 많이 사용하고 있다.

칼라 CRT는 수백 μA 의 범위에서 동작된다. 이 경우 화면에 재생된 spot은 가우시안 형태의 휘도분포를 가지며, spot의 MTF는 이를 푸리에 변환하여 얻는다. 전자빔은 fig. 1에서와 같이 화면에 도달하기 전 새도우 마스크를 통과하므로 spot의 분해능은 새도우 마스크의 분해능에 의해 제한을 받는다. 그러므로 칼라 CRT의 MTF는 spot의 MTF, 새도우 마스크의 MTF, 그리고 앞에서 언급한 증폭기의 MTF를 곱하여 얻는다.

디스플레이는 사람의 눈으로 인식되므로 디스플레이의 분해능은 눈의 분해능에 의해 제한을 받는다. 눈의 분해능은 CSF(contrast sensitivity function)로 나타낼 수 있으므로 디스플레이의 분해능에 이러한 영향을 포함시키기 위하여 화질 척도에서 CSF를 MTF의 가중치로 사용한다.

화질 척도는 CSF가 MTF에 가중되는 방법에 따라 MTFA(modulation transfer function area), DDD(discriminable difference diagram), SQRI(square-root integral) 등으로 나눌 수 있으며, 눈 뿐만 아니라 디스플레이가 사용되는 다양한 주변 환경이 분해능에 미치는 영향도 고려하고 있다. 한편, 미국에서는 1988년 CRT의 화질 척도의 표준으로 MTFA를 채택하였다.^[4,5]

본 연구는 이를 바탕으로 국내의 산업계에서 활용할 수 있는 MTF 측정장치를 구성하고 신뢰성 있는 화질 평가 기술을 개발하는데 주목적을 두고 수행되었다. 생산 공정에서 실시간에 사용할 수 있도록 하기 위하여 CCD를 사용하는 주사방법을 채택하였다. 분해능 측정 시 spot의 크기, 새도우 마스크 구멍의 간격, 비디오 대역폭, 디스플레이 휘도, 주변 조명의

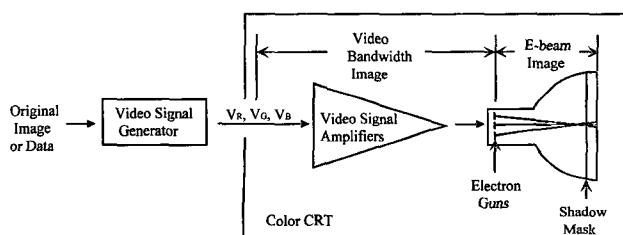


Fig. 1. Block diagram of a color CRT display.

영향을 고려하였다. 구성된 측정장치의 신뢰성을 확인하기 위하여 국내에서 생산되는 칼라 CRT 모니터의 화질을 측정하였으며 결과를 MTFA 값으로 나타내었다.

II. 분해능 이론

2.1. MTF

디스플레이가 암실에서 사용된다고 가정할 경우에 디스플레이에 재생되는 spot의 MTF는 다음과 같이 정의된다.^[3]

$$MTF_S(v) = |L(v)| = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} l(x) e^{-i2\pi vx} dx \right| \quad (1)$$

여기서 v 는 디스플레이의 공간주파수를 나타내며 cpm (cycles/mm) 단위를 사용한다. $l(x)$ 는 디스플레이의 LSF(line spread function)으로서 디스플레이에 표시될 수 있는 최소 신호인 한 개의 흰색 도트의 휘도 분포를 수직방향으로 적분한 함수이다. CRT의 LSF는

$$l(x) = \exp \left(\frac{-12x^2}{d_{0.05}^2} \right) \quad (2)$$

인 가우시안 함수로 가정된다.^[6] 여기서 $d_{0.05}$ 는 측정된 LSF의 최대 휘도의 5%에 해당하는 지점에서의 선폭이다. 식 (2)를 식 (1)에 대입하면 spot의 수평방향에 대한 MTF는

$$MTF_S(v) = \exp \left(\frac{-\pi^2 d_{0.05}^2 v^2}{12} \right) \quad (3)$$

로 주어진다. 본 논문에서는 TV line의 방향을 수평방향으로 설정하였다.

새도우 마스크에는 fig. 2와 같이 동일한 크기의 구멍들이 일정한 간격으로 배열되어 있다. 그러므로 공간주파수 v 인 입력신호가 새도우 마스크를 통과하면 위상차에 의하여 공간주파수에 따라 출력신호의 대비도가 달라지게 된다. 이러한 샘플링 효과에 따른 새도우 마스크의 MTF는 구멍을 통과하는 정현파의 이미지 중심과 구멍 중심 사이의 위상차인 θ 에 의하여 다음과 같이 최대값과 최소값으로 주어진다.^[7,8]

$$MTF_{SM_{max}}(v) = \cos \left[\left(\frac{\theta}{2} \right) \pi l v \right] \quad (4)$$

$$MTF_{SM_{min}}(v) = \cos \left[\left(\frac{\theta}{2} \right) \pi l v \right] \cos \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) (2 - |\theta| l v) \right] \quad (5)$$

여기서 θ 는

$$\theta = 2 \left[\frac{1}{2l} v - \text{int} \left(\frac{1}{2l} v + 0.5 \right) \right] \quad (6)$$

이며, l 은 fig. 2에서 수평방향의 구멍 간격인 $(\sqrt{3}/2)a_p$ 이고 $\text{int}(x)$ 는 x 의 정수부분을 나타낸다. 새도우 마스크의 MTF는 최대와 최소 사이의 임의의 값을 가질 수 있으므로 두 경우의 산술평균을 취하여 다음과 같이 나타낸다.

$$MTF_{SM} = \frac{MTF_{SM_{max}} + MTF_{SM_{min}}}{2} \quad (7)$$

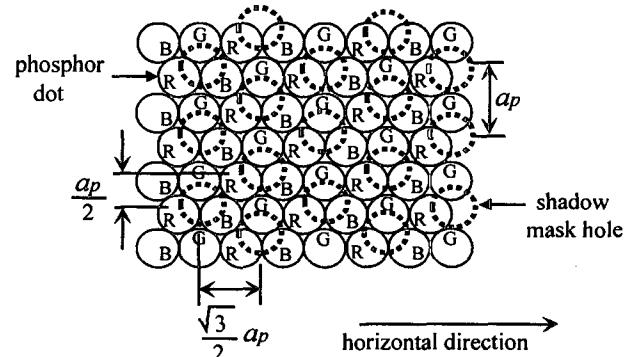


Fig. 2. Mask-aperture and phosphor dot arrays in a shadow-mask. ap is shadow-mask pitch.

CRT에서는 spot이 수평방향으로 일정한 속도로 움직여서 출력신호를 재생한다. 디스플레이에 공간주파수가 v 인 출력신호를 재생하기 위한 비디오 증폭기의 주파수는

$$f(v) = \frac{X}{T_a} v \quad (8)$$

로 주어진다. 여기서 T_a 는 수평방향에서의 주사 시간에 블랭킹 시간을 뺀 수평방향에서의 활성 시간, X 는 수평방향에서의 화면의 활성 크기를 나타낸다. 비디오 증폭기의 MTF는 비디오 주파수에 대한 증폭기의 이득 $G[f(v)]$ 을 사용하여

$$MTF_V(v) = G[f(v)] \quad (9)$$

로 쓸 수 있으며, 증폭기의 이득은

$$|G[f]| = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\frac{f}{f_0})^2)^2 + (2\xi \frac{f}{f_0})^2}} \quad (10)$$

로 주어진다.^[9] 위 식에서 f_0 는 비디오 증폭기의 대역폭이고 ξ 는 감쇄계수이다.

이상으로부터 칼라 CRT의 MTF는 다음과 같이 주어진다.

$$MTF(v) = MTF_S(v) MTF_{SM}(v) MTF_V(v) \quad (11)$$

2.2. CSF

디스플레이에 재생되어진 신호를 인식하는 눈의 분해능은

$$CSF(u) = \frac{1}{M_i(u)} = au \exp(-bu) \sqrt{1 + c \exp(bu)} \quad (12)$$

로 정의되며 M_i 는 modulation threshold function이다.^[9] 위 식에서 u 는 눈의 공간주파수를 나타내며 단위는 cpd(cycles/degree)를 사용하고 v 와

$$u = \frac{\pi}{180} l v \quad (13)$$

인 관계를 가진다. 여기서 l 은 viewing distance를 나타낸다. 식 (12)에서 a, b, c 는

$$a = 440 (1 + 0.7/L)^{-0.12} \quad (14)$$

$$b = 0.3 (1 + 100/L)^{0.15} \quad (15)$$

$$c = 0.3 \quad (16)$$

이며, L 은 디스플레이의 평균 휘도로 cd/m^2 의 단위를 사용한다.

2.3. MTFA

사람 눈으로 인식되어진 디스플레이의 분해능은 MTFA를 사용하여

$$\text{MTFA} = \int_0^{u_{\max}} (\text{MTF}(u) - M_t(u)) du \quad (17)$$

로 나타내며, 눈의 최대 공간 주파수인 u_{\max} 는

$$\text{MTF}(u_{\max}) = M_t(u_{\max}) \quad (18)$$

인 조건식에 의해 주어진다.^[3]

2.4. 주변 조명의 영향

디스플레이가 일반적인 조명환경 아래에서 사용될 경우 디스플레이의 분해능은 화면에서 떠도는 빛(stray light)이나 반사되는 빛에 의해 저하된다. 이러한 효과는 다음식에 의해 나타낼 수 있다.^[3]

$$\text{MTF}'(v) = \text{MTF}(v) \cdot \eta \quad (19)$$

여기서 η 는

$$\eta = \frac{L}{L + \Delta L} \quad (20)$$

으로 주어지며, L 은 식 (14)와 식 (15)에서 언급된 디스플레이의 평균 휘도이고 ΔL 은 주변 조명에 의해서 증가된 디스플레이의 휘도이다

III. 실험 및 결과

3.1. 전산 시늉

칼라 CRT에 재생되는 spot 크기, 비디오 대역폭이 디스플레이의 화질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 2장에서 제시된 수식을 사용하여 전산 시늉을 하였다.

0.1에서 1.2 mm 사이의 5가지 spot 크기에 대하여 계산되어진 spot의 MTF 값을 fig. 3에 나타내었다. MTF 값은 spot 크기가 작을수록 커지고 있으므로, spot 크기가 작을수록 높은 분해능을 표현할 수 있는 것을 알 수 있다. table 1에 정리된 칼라 CRT 모니터(SyncMaster 700 p)의 특성을 사용하여 50에서 350 MHz 사이의 7가지 대역폭에 대한 MTF를 계산하였다. 디스플레이의 분해능은 임의로 800 dots × 600 lines의 모드를 선정하였다. Fig. 4는 계산한 결과로써 대역폭이 넓을수록 MTF 값이 커지고 있으므로, 디스플레이의 분해능은 비디오 대역폭이 넓을수록 높아진다는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 디스플레이 휘도는 $100 \text{ cd}/\text{m}^2$, viewing distance는 500 mm로 가정한 상태에서 spot 크기를 0.1에서 0.5 mm, 비디오 대역폭을 50에서 300 MHz까지 변화시키면서 계산한 MTFA 값을 나타내었다. 비디오 대역폭이 넓어짐에 따라 MTFA 값

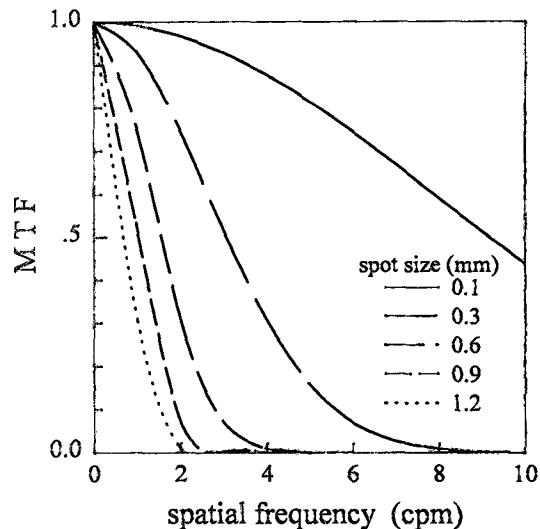


Fig. 3. Simulated MTFs for five different spot sizes.

Table 1. Specifications of a color CRT(SyncMaster 700p)

Item	Description
Color display tube	17 inch, 90° deflection 0.26 mm dot pitch, in-line gun
Maximum Resolution	Horizontal : 1280 dots Vertical : 1024 lines
Resolution	Horizontal : 800 dots (selection) Vertical : 600 lines (selection)
Scanning frequency	Horizontal : 53.67 KHz (selection) Vertical : 85.06 Hz (selection)
Bandwidth	49.5 MHz (selection)
Active Display	Horizontal : 306 mm Vertical : 230 mm
Horizontal blanking time	4.409 μs (selection)

은 거의 일정하게 유지되어, 0.4 mm, 100 MHz에서 spot 크기를 2배 감소시킨 0.2 mm의 경우 MTFA 값은 41.5%가 증가하였으나 대역폭을 2배 증가시킨 200 MHz의 경우는 10.0% 만이 증가하였다. 이로부터, 비디오 대역폭이 높은 영역에서 디스플레이의 분해능은 대역폭보다는 spot의 크기에 많이 의존한다는 것을 알 수 있다.

3.2. 측정장치

칼라 CRT에서 spot의 MTF를 측정하기 위한 장치를 fig. 6과 같이 구성하였다. 측정원리는 다음과 같다. 디스플레이에 재생된 흰색 도트를 현미경 대물렌즈(Springer, ×4, NA 0.25)에 의하여 확대한 후 일차원 CCD(Hamamatsu S3904-512Q) 위에 결상시킨다. CCD 위에 결상된 도트의 휘도분포는 image grabber(Data Translation, DT2851)를 사용하여 8 bit 분해능으로 수치화시켜 컴퓨터에 저장한다. 대물렌즈의 배율을 고려하여 보정한 후 가우시안 함수로 근사하여 MTF를 계산

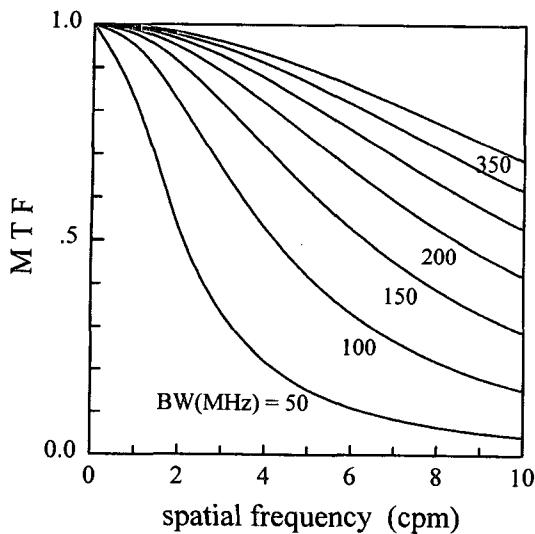


Fig. 4. Simulated MTFs for five different video bandwidths. Damping factor is 1.0.

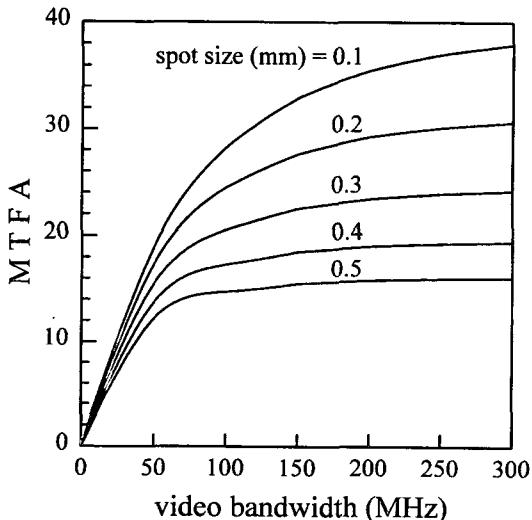


Fig. 5. Simulated MTFA values for five different spot sizes and six different bandwidths.

하였다.

CCD의 분광감도를 사람의 시감에 대하여 보정해 주기 위하여 대물렌즈 다음에 $V(\lambda)$ 필터를 배치하였다. 접안 렌즈와 flip mirror는 전송된 상이 정확하게 CCD 위에 결상하도록 정렬 시켜주는 역할을 한다. 대물렌즈와 CCD는 한 개의 물체로 구성되어 있으며 분해능이 $\pm 1 \mu\text{m}$ 인 XYZ 미세 이동 장치 위에 부착되어 자동 초점조절과 디스플레이의 균일성 평가하기 위하여 상하 좌우로 이동할 수 있게 하였다. 측정장치와 시험되는 칼라 CRT는 무진동 테이블 위에 놓여 있으며 모터 구동과 신호 처리는 마이크로 컴퓨터를 사용하였다.

3.3. 측정 및 결과

대물렌즈와 CCD를 사용하여 MTF를 측정할 경우 전체 광학계의 MTF가 측정되므로 이를 보정해 주어야 한다. 사용된

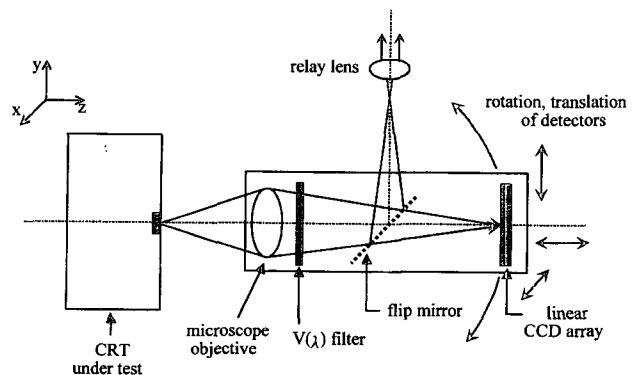


Fig. 6. Optical diagram of the MTF measuring system of a CRT display.

대물렌즈와 CCD는 10 cpm에서 각각 0.99와 0.86 정도의 MTF 값을 가진다.^[10] 물체를 4배로 확대하여 CCD에 결상시킬 경우 CCD의 화소 간격은 4 배로 축소되었다고 가정할 수 있으므로, 10 cpm에서 CCD의 MTF 값은 40 cpm에서의 MTF 값에 대응한다. 그러므로 4 배인 대물렌즈와 CCD를 사용한 경우, MTFA 계산시 디스플레이의 분해능과 눈의 분해능이 일치하는 공간 주파수인 u_{\max} 이하에서 모두 0.99 이상의 MTF 값을 가지게 되므로 측정을 위하여 사용한 광학계의 보정은 고려할 필요가 없게 된다.

측정대상 디스플레이로는 3. 1절의 전산 시늉에 사용한 칼라 CRT(SyncMaster 700 p)를 선정하였다. 측정대상 디스플레이를 비디오 보드(ATI사, mach64 PCI)가 내장된 컴퓨터와 연결하였다. Microsoft사의 visual C 언어로 프로그램을 작성하여 입력값에 따라 디스플레이에서 제공하는 분해능 모드별로 도트 패턴과 흰색 라스터 패턴이 재생되게 하였다. 본 측정에서는 800 dots \times 600 lines(53.67 KHz, 85.06 Hz)의 분해능 모드를 선택하였다. 측정장비로는 광휘도계(Minolta사, LS-110)를 사용하여 디스플레이 휘도를 측정하였고, 광조도계(TES사, TES-1332)를 사용하여 조도를 측정하였다.

먼저 주변의 빛이 차단된 암실 조건에서 칼라 CRT 화면의 균일성을 평가하였다. 측정을 위한 명암대비와 화면밝기 레벨을 설정하기 위하여 비디오 신호가 인가되지 않은 상태에서 명암대비 레벨을 최소로 조정하고 화면 밝기 레벨을 배경 라스터(back raster)가 사라지는 지점으로 조정하였다. 그리고 화면에 흰색 도트 패턴을 재생한 후 명암대비 레벨을 최대로 조정하였다. 최적인 측정면의 위치를 정하기 위하여 autofocus를 실시한 후 fig. 7과 같이 화면상의 4개의 지점에서 수

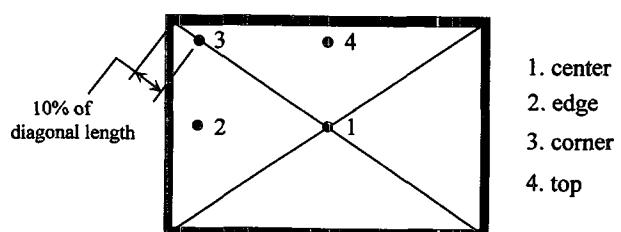


Fig. 7. Four positions on a screen for measuring the uniformity.

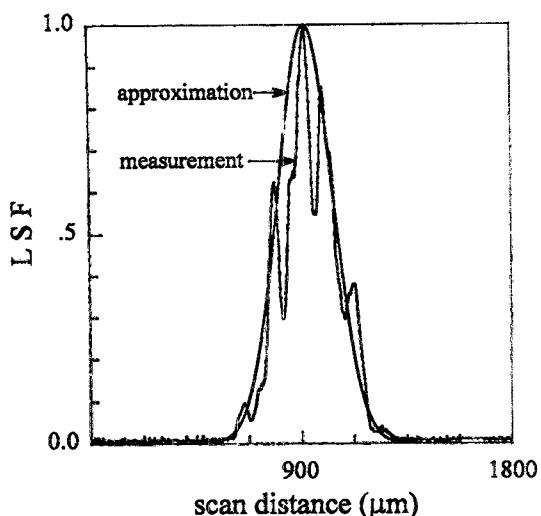


Fig. 8. Measured LSF and its Gaussian approximation.

평방향의 MTF를 측정하였다. Fig. 8은 구성한 장치로 측정한 LSF를 보여주는데, 새도우 마스크의 샘플링 효과에 의한 불연속성을 관찰할 수 있다. 측정된 spot의 MTF와 여기에 새도우 마스크와 비디오 증폭기의 MTF를 곱하여 얻은 디스플레이 시스템의 MTF를 fig. 9(a)와 9(b)에 나타내었다. 화면 center 대 corner에 대한 디스플레이 시스템의 MTF 비는 spot의 MTF 비에 비하여 감소하였음을 알 수 있는데, 이는 새도우 마스크와 비디오 증폭기의 MTF를 곱해줌으로써 spot의 MTF가 일정한 비율로 줄어들었기 때문이다. 화면에 흰색 라스트 패턴을 재생한 상태에서 화면상의 4개의 지점에서 휘도를 측정하였다. Viewing distance는 표준인 500 mm로 가정하였다. 이들을 사용하여 MTFA 값을 계산하였으며 결과를 table 2에 정리하였다. Corner에서의 MTFA 값은 center에서의 MTFA 값의 82%에 해당함을 알 수 있는데, 이는 화면의 가장자리로 갈수록 편향에 의한 초점종이동수차의 영향을 많

Table 2. Measured luminance and MTFA value at four positions on the screen

Position	Luminance (cd/m^2)	MTFA
Center	116.5	10.55
Edge	110.5	10.13
Top	116.5	9.76
Corner	103.8	8.68

이 받게 되어 spot의 크기가 커지고 휘도도 낮아지기 때문인 듯하다.

실제 디스플레이에는 어느 정도 조도가 있는 조명 아래에서 사용되므로, 주변 조명에 따른 분해능 특성을 분석하였다. 디스플레이가 놓인 면에서 45° 기울어진 높이에 40 W의 형광등을 여러개 설치한 후 빛이 디스플레이 면에 균일하게 입사하도록 조명하였다. 화면의 중앙에 입사하는 빛의 조도가 0에서 1000 lux까지 변화하도록 조명을 조절하면서 흰색 라스터 패턴이 재생된 화면의 중심에서 휘도를 측정하였다. 화면에서 반사되거나 떠도는 빛에 의해 증가된 디스플레이 휘도 양은 조명 아래에서 측정한 휘도에 암실에서 측정한 휘도를 빼어서 계산하였다. 화면의 중심에서 MTF를 측정한 후 화면의 균일성 평가에서와 동일한 방법으로 MTFA를 계산하였다. 결과를 fig. 10에 나타내었는데, 주변 조명에 의해 증가된 디스플레이 휘도에 의해 MTF는 일정한 비율로 감소하고 있으며, 1000 lux 조명에서의 MTFA 값은 암실 조건에서 MTFA 값의 76%에 해당함을 알 수 있다. 이로부터 조명에 의해 증가된 디스플레이의 휘도 양이 많을수록 분해능은 감소함을 알 수 있다. 이것은 생산현장에서 명암대비를 개선하기 위하여 화면 유리에 무반사 코팅 처리를 하는 이유를 설명해주는 결과이다. 부가적으로 table 3의 비교를 위하여 명암대비를 측정하였다. ANSI 규격에서 제시한 흑백의 바(bar) 패턴을 재생한 후 앞에서와 동일한 조명 조건에서 흰색 바의 평균 휘도인

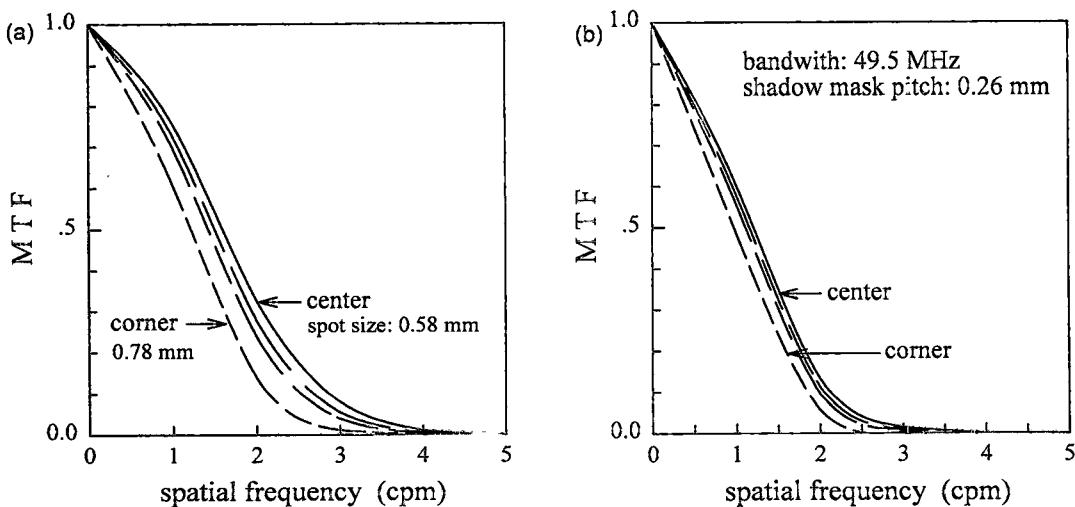


Fig. 9. Measured MTFs at four positions on the screen. (a) Spot size and (b) spot size, shadow-mask pitch, and video bandwidth are considered.

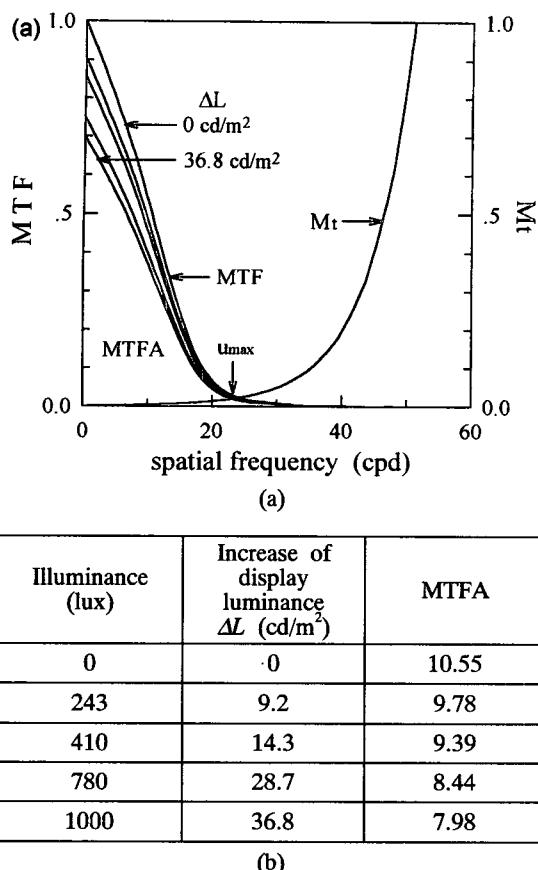


Figure 10. (a) MTFs and (b) MTFA values measured by increasing the average display luminance due to the added light. Viewing distance is 500 mm.

L_{WHITE} 와 검은색 바의 평균 휘도인 L_{BLACK} 를 측정하고, $(L_{WHITE} - L_{BLACK})/L_{WHITE}$ 에 의해 명암대비를 계산하였다.^[12]

측정에 사용된 칼라 CRT에 대하여 생산현장에서 요구하는 화질 평가 기준과^[13] 이를 MTFA로 변환시킨 값을 table 3에

Table 3. Comparison of data expressed by image quality parameters used in production-line and MTFA. Criteria of MTFA are reduced by the criteria of image quality parameter used in production-line.

Characteristic	Image quality parameter used in production-line	Criteria	Measurement	MTFA	
				Criteria	Measurement
Resolution (at screen center)	Spot size	0.50-0.60 mm	0.58 mm	10.39-11.51	10.55
Luminance (at screen center)	Luminance	103-137 cd/m ²	117 cd/m ²		
Uniformity $\left(\frac{\text{at screen corner}}{\text{at screen center}} \times 100 \right)$	Spot size Luminance	140% 75%	134% 89%	80%	82%
Effect of ambient light $\left(\frac{\text{at 1000 lux}}{\text{at 0 lux}} \times 100 \right)$	Contrast	-	76%	-	76%

정리하였다. 시험된 칼라 CRT는 평가 기준들을 잘 만족하였으며, MTFA를 사용한 화질 평가 결과가 자료를 보다 체계적이며 일목 요연하게 나타내고 있음을 알 수 있다.

본 측정장치를 사용하여 10회의 반복측정을 수행한 결과 0.8% 이하의 표준편차를 얻었다.

IV. 결 론

칼라 CRT의 화질을 평가하기 위하여 일차원 CCD를 이용한 MTF 측정장치를 구성하였다. CCD의 분광감도를 시감에 대하여 보정하기 위하여 $V(\lambda)$ 필터를 사용하였고, 사용된 CCD의 화소 크기와 간격을 고려하여 측정된 MTF 값을 보정하였다. 전산 시늉을 통해 비디오 대역폭이 높은 경우 디스플레이의 분해능은 대역폭보다 spot 크기에 영향을 많이 받음을 알 수 있었다. 분해능, 휘도, 화면의 균일성, 그리고 주변 조명에 따른 화질 평가를 MTFA를 사용하여 나타낸 결과 자료를 훨씬 체계적으로 제시할 수 있었다. 이상에서 칼라 CRT의 분해능을 높이기 위해서는 재생되는 spot의 크기는 작아야 하고, 비디오 대역폭은 넓어야 하고, 휘도는 높으며 주변 조명에 의한 디스플레이 휘도의 증가량은 최소가 되어야 함을 알 수 있었다. 본 측정장치를 사용하여 칼라 CRT 모니터의 MTF를 측정한 결과 99.2% 이내의 높은 측정재현성을 얻었다.

감사의 글

칼라 CRT 특성에 대한 자료를 제공하여 주신 삼성전자(주) 디스플레이 개발팀의 나용준님에게 저자들의 고마운 마음을 전합니다.

참고문헌

- [1] G. C. Holst, *CCD arrays, cameras, and displays*, (SPIE Optical Engineering Press 1995) chap. 7.

- [2] R. S. Berns, R. J. Motta, M. E. Gorzynski, Color res. and appl., **18**, 299(1993).
- [3] P. G. J. Barten, SID seminar lectures notes, A-5(1995).
- [4] Y. Feng, O. Ostberg, and B. Lindstrom, Displays, October, 186(1990).
- [5] ANSI/HFS 100-1988, American national for human factors engineering of VDT workstations, pp. 17-18, The Human Factor Society, Inc., Santa Monica(1988).
- [6] Barten, Proc. of SID, **25/1**, 35(1984).
- [7] T. Kubo, IEEE transactions on Broadcasting, **BC-28**, 2, 512(1982).
- [8] C. Infante, Proc. of SID, **26/1**, 23(1985)
- [9] P. G. J. Barten, Proc. of SID, **28/3**, 253(1992).
- [10] 이윤우, 조현모, 이인원, 박태호, 윤성균, 서형원, 한국광학회지, **5**, 364(1994)
- [11] M. Maeda, SID seminar lecture notes, M-4/27-M-4/28(1992).
- [12] R. J. Beaton, Introduction to human factors engineering for visual displays, SPIE/SPSE-Electronic imaging'91, 45(1991).
- [13] D. Eccles, G. Romans, and J. Held, Information display, **1**, 16(1993).

Evaluation of color CRT monitor by MTFA

Tae Hee Kim, Yun Woo Lee*, Hyun Mo Cho*, In Won Lee*,

Jun Hyun Kim and Ok Shik Choe

Department of Physics, Yeungnam University, Kyungsan 712-749, South Korea

**Quantum Metrology Division, Korea Research Institute of Standards and Science,
Yusong, Taejon 305-600, South Korea*

(Received April 16, 1998, Revised manuscript received June 5, 1998)

The MTF(modulation transfer function) measuring system with a linear CCD(charge coupled-device) was constructed to evaluate a color CRT(catode ray tube). The measured MTF values were corrected by considering the spectral response and the pixel sizes of CCD. The effects of a spot size, video bandwidth, pitch of shadow mask holes, display luminance, and ambient illumination on image quality were studied. The uniformity of resolution and the contrast loss by ambient light of the color CRT monitor were measured, and the results were analyzed by MTFA(modulation threshold area).