

칼라 CRT 모니터의 *misconvergence*에 따른 분해능 평가

김태희 · 이윤우 · 조현모 · 이인원

한국표준과학연구원 양자표준부

최옥식

영남대학교 물리학과

정봉교

LG전자 전자관-OBU 설계실

(1998년 7월 8일 받음, 1999년 3월 17일 수정본 받음)

칼라 CRT(cathode ray tube) 모니터의 빔 전류와 화면위치를 변화시키면서 *misconvergence*, 스폿 크기, 디스플레이 휘도, 색도 좌표를 측정하였다. 일차원 CCD(charge coupled device)를 사용하여 *misconvergence*를 측정하였으며, 시감효과를 고려하는 SQRI(square-root integrals)를 도입하여 분해능을 나타내었다. 모니터의 *misconvergence*는 빔 전류에 영향을 받지 않고 화면의 위치에 따라 변하였으며, 화면 주변부에서의 *misconvergence*는 분해능을 저하시켰다.

I. 서 론

칼라 CRT(cathode ray tube)를 동작시키면 삼색(red, green, blue) 전자총의 캐소드로부터 방출된 전자는 동작 전압에 의해 가속되어 화면에 도포된 형광체에 충돌한다. 이 경우 삼색 전자빔이 화면 위의 한 점에 집중되는 것을 *convergence*라고 하고, 세 빔이 서로 어긋나는 오차를 *misconvergence*라고 한다. *Misconvergence*는 측정시 기준이 되는 빔에 따라 R-B, G-R, G-B 등 13가지로 나눌 수 있으며, 사람 눈에 가장 쉽게 감지되어 화질을 많이 저하시키는 것은 R-B이다.^[1] R-B *misconvergence*(이하 *misconvergence*로 함)는 세 빔이 그림 1, 2와 같이 화면에 맺히는 경우 녹색 빔을 기준으로 적색과 청색 빔의 상대적인 위치 차이로 정의된다.^[2]

CRT는 그림 3과 같이 전자총에서 방출되는 빔이 crossover point로 집중되는 BFR(beam forming region), crossover point가 주 렌즈에 의해 확대되는 MLR(main lens region), MLR에서 출사된 빔이 자유 전장 공간(field-free space)에서 화면을 향해 진행하는 DR(drift region)로 구성되며, *misconvergence*는 DR에서 발생한다.^[3]

*Misconvergence*의 발생원인은 공간전하(space charge) 효과에 의한 것과 편향에 의한 것으로 나눌 수 있다. 그림 1은 공간전하 효과에 의하여 발생하는 *misconvergence*를 나타내었다. 녹색 전자총의 중심을 z축으로 두면, DR에 녹색 빔은 z축을 따라서 입사하며 적색과 청색 빔은 z축에 대하여 경사지게 입사한다. 세 빔은 동일한 음의 전하를 띄고 있으므로 이들 사이에는 쿨롱의 반발력이 작용한다. 만약 빔 전류가 낮아서 반발력이 작을 경우 세 빔은 z축 위의 한 점에 집중되지 만, 전류가 높아져서 반발력이 커질 경우 적색과 청색 빔은

녹색 빔으로부터 밀려난다.^[2,4] 이러한 현상은 디스플레이 휘도가 높아질수록 더욱 증가한다. 그림 2는 편향에 의하여 발생하는 *misconvergence*를 나타내었다. 편향이란 화면의 중심으로 진행되는 빔에 DY(deflection yoke)에서 발생된 자기장을 가하여 빔을 화면의 상하좌우로 향하게 하는 것이다. 편향된 빔들이 집중하는 면(*converging plane*)의 곡률 중심이 화면의 곡률 중심이 일치하지 않기 때문에 화면의 주변부에서 적색과 청색 빔은 녹색 빔과 어긋나게 된다. 즉, DY에서 생성된 균일한 자기장에 의해 화면의 주변부에서는 초점종이동수차가 발생하여 그림 2(a)와 같이 적색과 청색 빔이 녹색 빔에 대하여 대칭적으로 *overfocus* 된다. 또한 DY에 의하여 생성된 비균일 자기장에 의해 비점수차가 발생하여 그림 2(b)와 같이 적색과 청색 빔이 x축 방향으로 *underfocus*, y축 방향으로 *overfocus* 되거나, 코마가 발생하여 그림 2(c)와 같이 녹색에 대하여 적색과 청색 빔이 비대칭적으로 맺히게 된다. 이러한 현상들은 화면의 크기와 화면 내부의 곡률반경이 커질수록 증가한다.^[5]

현재 칼라 CRT 업계에서는 CRT 편향각의 광각화, 고휘도화, 화면의 대형화, 평면화와 더불어 고해상도의 화질을 요구하고 있으므로, 공간전하 효과와 편향에 의해 발생하는 *misconvergence*는 점차 중요하게 취급되고 있다.^[5-7]

공간전하 효과에 의한 *misconvergence*를 보정하기 위하여 1992년 T. Shimoma 등과^[8] 1993년 S. Sugahara 등이^[9] 편향보조장치를 부착하는 방법을 제안하였으며, 편향에 의한 *misconvergence*를 보정하기 위하여 1985년 Hitachi와 Toshiba사에서는 다이내믹 포커스 방식의 전자총을 개발하였다.^[3,5] *Misconvergence*의 측정에 관한 연구로는 1995년 Wada등이 칼라 텔레비전에서 빔 전류의 변화에 따른

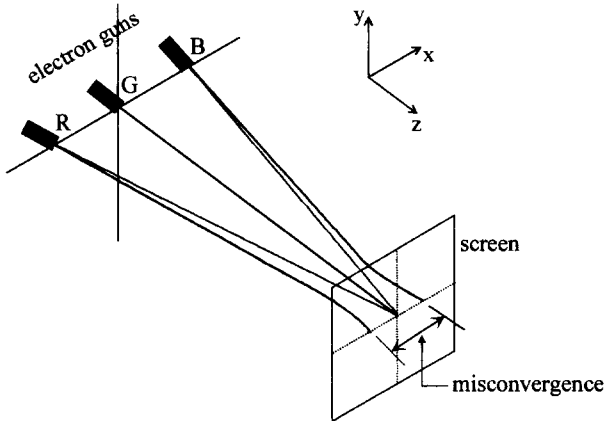


그림 1. 공간전하효과에 의해 발생한 misconvergence.

misconvergence와 스폿 크기를 측정하고 이들의 발생원인을 이론적으로 분석하였다.^[2] 또한 분해능에 미치는 영향에 관한 연구로는 1988년 Barten이 misconvergence 효과를 고려한 MTF(modulation transfer function) 근사식을 제안하였다.^[10]

본 논문에서는 칼라 CRT 모니터에서 misconvergence가 공

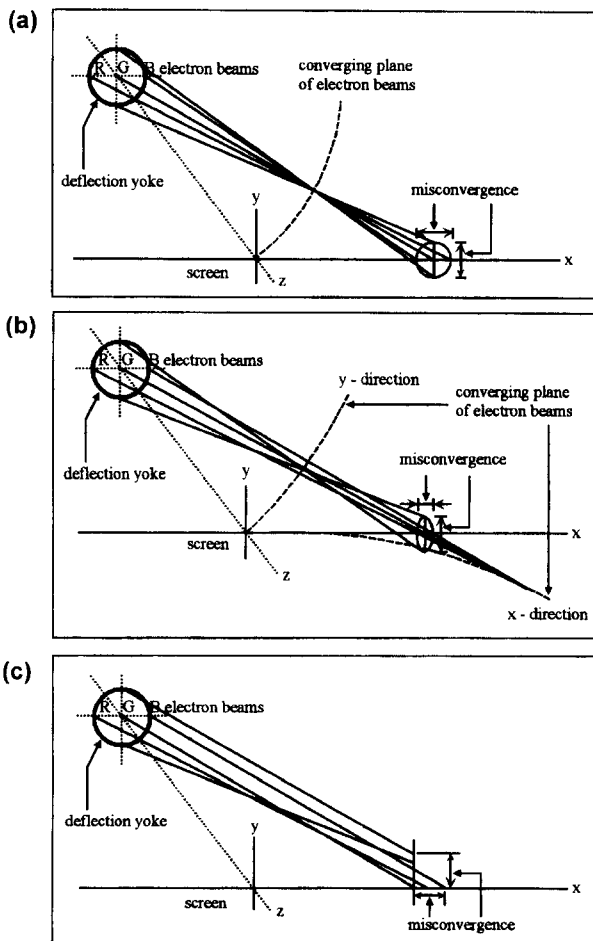


그림 2. 편향에 의해 발생한 misconvergence. 편향에 의하여 화면의 주변부에서는 (a) 초점종이동오차, (b) 비점수차, (c) 코마의 기하학적인 수차들이 존재하고 이들에 의해 misconvergence가 발생된다.

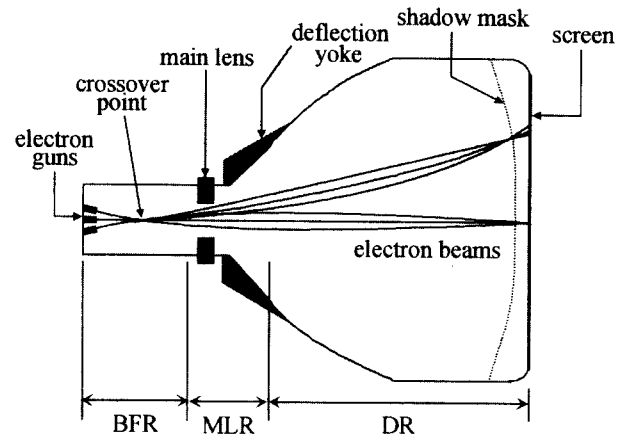


그림 3. 칼라 CRT의 기본 구조. CRT는 BFR(beam forming region), MLR(main lens region), DR(drift region)로 구성된다.

간전하효과와 편향에 의해 받는 영향을 연구하였다. 이를 위하여 칼라 모니터의 빔 전류와 화면위치를 변화시키면서 misconvergence를 측정하였다. 또한 이들과 분해능의 상호 연관성을 알아보기 위하여 휘도분포함수, 디스플레이 휘도, 흰색 패턴의 색도 좌표를 측정하였으며, SQRI(square-root integrals)를^[11] 도입하여 시각효과를 고려한 분해능을 나타내었다.

II. 휘도분포함수와 misconvergence 측정 방법

2.1. 휘도분포함수

칼라 CRT는 DY에 의하여 편향된 빔이 화면의 형광체에 도달할 때 빔들의 간격을 일정하게 유지시키는 새도우 마스크를 가지고 있다. 칼라 CRT의 새도우 마스크는 도트형, 어

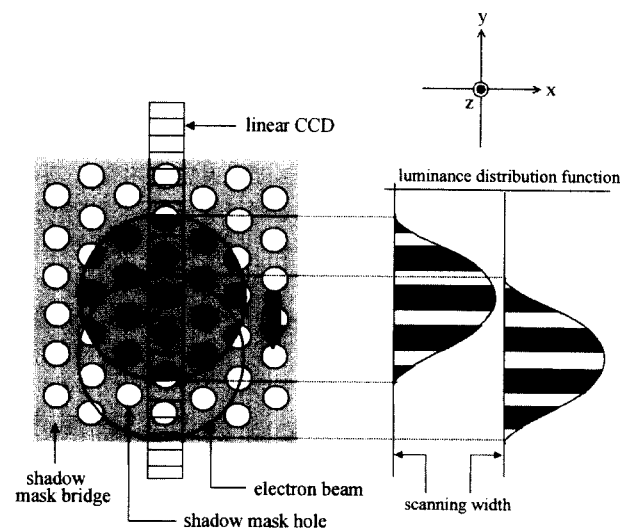


그림 4. 전기적 방법에 의한 휘도분포함수 측정. 빔의 편향 방향을 변화시키기 전과, 빔의 편향 방향을 미세 변화시킨 후의 도트형 새도우 마스크를 가지는 칼라 CRT의 화면에 맺힌 전자빔과 이의 휘도분포함수.

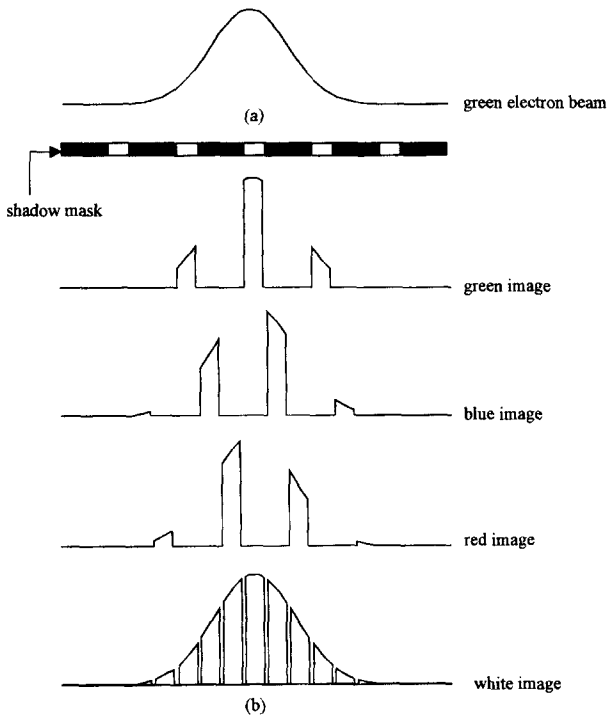


그림 5. (a) 새도우 마스크를 통과하기 전 녹색 빔의 휘도분포함수와 (b) 새도우 마스크를 통과한 후 녹색 빔의 휘도분포함수. 적색과 청색 빔은 다른 각도로 새도우 마스크를 통과하기 때문에 녹색 빔과는 다른 휘도분포함수를 가진다. 새도우 마스크의 공간주파수가 사람 눈의 공간주파수 보다 클 때 삼색빔들의 합은 흰색으로 보인다.

퍼쳐 그릴형, 슬롯형이 있으며, 모니터용으로는 그림 4의 도트형이 많이 사용된다. 빔은 새도우 마스크를 통과하기 전 그림 5(a)와 같은 가우시안 함수 형태의 연속적인 휘도분포함수를 가지나, 새도우 마스크를 통과하면서 마스크 구멍의 샘플링 효과에 의해 그림 5(b)와 같은 불연속적인 휘도분포함수가 된다.^[12]

화면에 재생된 스폿의 휘도분포함수를 측정하는 방법은 기계적 방법과 전기적 방법으로 나눌 수 있다.^[13] 기계적 방법은 빔의 편향 방향을 고정시킨 후 검출기의 위치를 미세 이동시키면서 휘도를 측정하는 방법으로 부가적인 전자회로 장치가 필요 없기 때문에 측정장비가 간단하다는 장점이 있다. 이 방법에 의해 측정한 휘도분포함수는 새도우 마스크의 샘플링 효과를 포함하고 있으므로 일반적으로 최대 휘도의 5%에서의 선폭과 동일한 선폭을 가지는 가우시안 함수로 근사를 한다. 그러나 실제로 화면 주변부에서 재생되는 스폿은 비대칭적인 형태이기 때문에 이러한 대칭적인 함수로의 근사는 모순점이 있다. 전기적 방법은 검출기의 위치를 고정시킨 후 빔의 편향 방향을 미세 조정하면서 측정하는 방법이다. 빔의 미세 이동과 이에 따른 휘도분포함수의 위상 변화를 그림 4에 나타내었다. 새도우 마스크의 브리지에 의해 알 수 없었던 휘도분포의 정보가 빔이 이동함에 따라 얻어짐을 알 수 있다. 이 방법은 새도우 마스크의 영향 없이 연속적인 휘도분포함수를 측정할 수 있다는 장점이 있지만 측정장치의 구현이 어

렵다.

본 논문에서는 전기적 방법을 사용하였다. 빔을 x축과 y축 방향으로 미세 이동시키기 위하여 모니터에 사용자 조절기능으로 부착되어있는 x축과 y축 방향의 위치 조절 단자를 조정하였다. 빔이 시간에 대하여 일정하다는 가정을 만족시키기 위하여 CRT의 주사 시간 보다 빠른 clock time을 가지는 일차원 CCD를^[14] 검출기로 사용하였다.

휘도분포함수의 측정은 아래의 순서로 수행되었다.

- (1) 측정하고자 하는 화면의 위치에 흰색 스폿을 재생시킨다.
- (2) 검출되는 신호가 가장 큰 지점으로 일차원 CCD를 정렬한다.
- (3) 개략적인 휘도분포함수를 측정하여 스폿의 직경을 구한다.
- (4) 주사 거리, 주사 간격, 그리고 빔 조정회수를 계산한다.
- (5) 휘도분포함수를 측정하여 피크들의 위치와 그 지점에서의 휘도를 저장한다.
- (6) 빔을 미세 이동시킨다.
- (7) 빔 조정회수 > 측정회수 이면 (5)를 수행하고, 빔 조정회수 = 측정회수 이면 (8)을 수행한다.
- (8) Spline 보간법을 사용하여 연속적인 휘도분포함수로 복원한다. (4)의 주사 거리와 주사 간격은 샘플링 이론에 따라 각각 스폿 직경의 300~500%와 12.5%를 초과하지 않도록 하였으며,^[15] 빔 조정회수는

$$\text{빔의 조정회수} = \frac{\text{스폿의 직경}}{\text{새도우 마스크 구멍의 간격}} \quad (1)$$

에 의해 계산하였다.^[16]

2.2. Misconvergence

본 논문에서는 녹색에 대한 적색과 청색 휘도분포함수의 상대적인 위치 차이로 *misconvergence*를 측정하였다. 그림 6(a)는 흰색 스폿을 재생하기 위하여 화면에 맺힌 삼색 빔의 예를 나타내었다. 적색과 청색 빔이 녹색 빔으로부터 각각 왼쪽과 오른쪽으로 어긋나 있음을 알 수 있다. 편향뿐만 아니라 공간 전하 효과에 의한 *misconvergence*를 모두 고려하기 위하여서는 적색과 녹색 그리고 녹색과 청색 빔을 동시에 켜고 휘도분포를 측정하여야 한다.^[2] 두 빔을 동시에 켜고 측정한 휘도분포함수를 그림 6(b)와 (c)에 나타내었다. 휘도분포함수는 삼색 빔을 모두 켜 상태에서 얻어진 흰색 휘도분포함수의 최대치에 대하여 규격화되었다. a와 a'는 최대 휘도의 5% 지점에서 녹색에 대한 적색 휘도분포함수의 상대적 위치 차이이며 후자가 전자의 왼쪽에 있을 경우 양의 부호를 가진다. b와 b'는 녹색에 대한 청색 휘도분포함수의 상대적 위치 차이이며 후자가 전자의 오른쪽에 있을 경우 양의 부호를 가진다. 정의로부터^[2] *misconvergence*는

$$\text{misconvergence} = \frac{a+a'}{2} + \frac{b+b'}{2} \quad (2)$$

로 주어진다.

Misconvergence 측정은 아래의 순서로 수행되었다.

- (1) 삼색 빔을 모두 켜고 휘도분포함수를 측정한다.

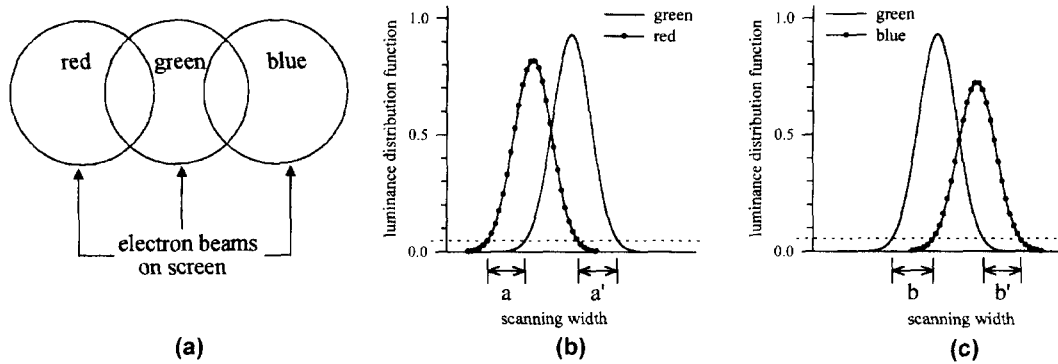


그림 6. Misconvergence의 정의. (a) 흰색의 스폿을 재생하기 위하여 화면에 맺힌 삼색 빔, (b) 적색과 녹색 빔, (c) 녹색과 청색 빔을 동시에 켜진 상태에서 측정된 휘도분포함수.

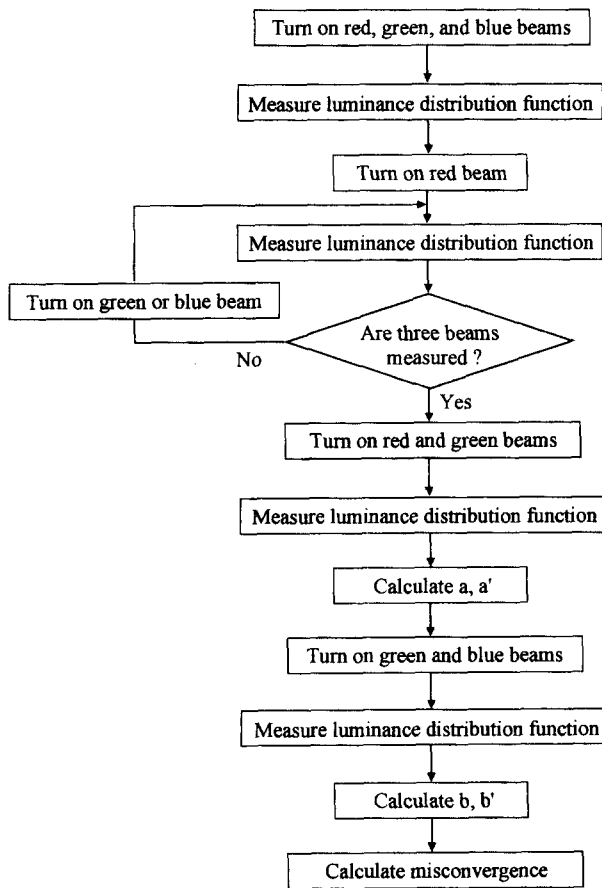


그림 7. Misconvergence 측정의 순서도.

- (2) 삼색 빔 중 한 개만 켜진 상태에서 각각의 휘도분포함수를 측정한다.
 - (3) 적색과 녹색 빔을 동시에 켜고 휘도분포함수를 측정한다.
 - (4) a와 a'를 계산한다.
 - (5) 녹색과 청색 빔을 동시에 켜고 휘도분포함수를 측정한다.
 - (6) b와 b'를 계산한다.
 - (7) misconvergence를 계산한다.
- 이상의 과정을 그림 7의 순서도에 정리하였다.

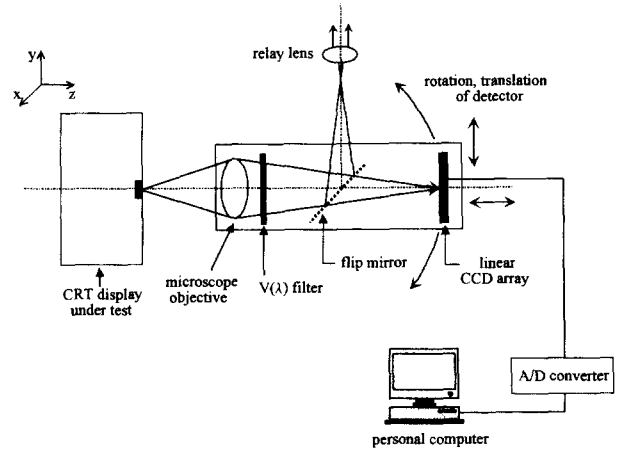


그림 8. 일차원 CCD를 사용하는 휘도분포함수 측정장치의 개략도.

III. 측정 및 분석

측정대상 모니터로는 편향각 90°인 17인치 칼라 모니터(평균 빔 전류: 500 μA)를 선정하였다. 전원구동장치(T&TS, MDS-903)를 사용하여 전자총에 걸리는 빔 전류를 조절하였다. 전원구동장치는 전자총을 독립적으로 구동시킬 수 있으므로 세 개의 전자총을 모두 켜면 흰색, 이들 중 하나만을 켜면 적색, 녹색, 청색을 나타낼 수 있다. 그림 8과 같이 구성된 일차원 CCD를 이용한 휘도분포함수 측정장치를^[17] 사용하여 휘도분포함수와 misconvergence를 측정하였고 색도계(Minolta, CA100)를 사용하여 디스플레이 휘도와 색도 좌표(x, y)를 측정하였다. 비디오 신호 발생기(Philips, PM5418)를 사용하여 800 도트×600 라인(53.67 KHz, 85.06 Hz)의 분해능 모드에서 화면 전체에 스폿 패턴이나 흰색의 라스터 패턴을 재생하였다. 휘도분포함수나 misconvergence의 측정에서는 스폿 패턴을 디스플레이 휘도나 색도 좌표의 측정에서는 흰색 라스터 패턴을 선택하였다. 측정방법은 세 개의 전자총을 캐소드 cut-off 시키고 화면의 중심과 500 μA의 빔 전류에서 색도 좌표가(0.281, 0.311)이 되도록 각 전자총의 G1(first control grid)에 걸리는 전압을 조절하였다. 세 개의 G1 전압을 동시에 가변하여 빔 전류를 16 μA에서부터 1000 μA까지 15 단계로 변화시켰다. 각 빔 전류마다 화면의 4개 지점(중심, 꼭

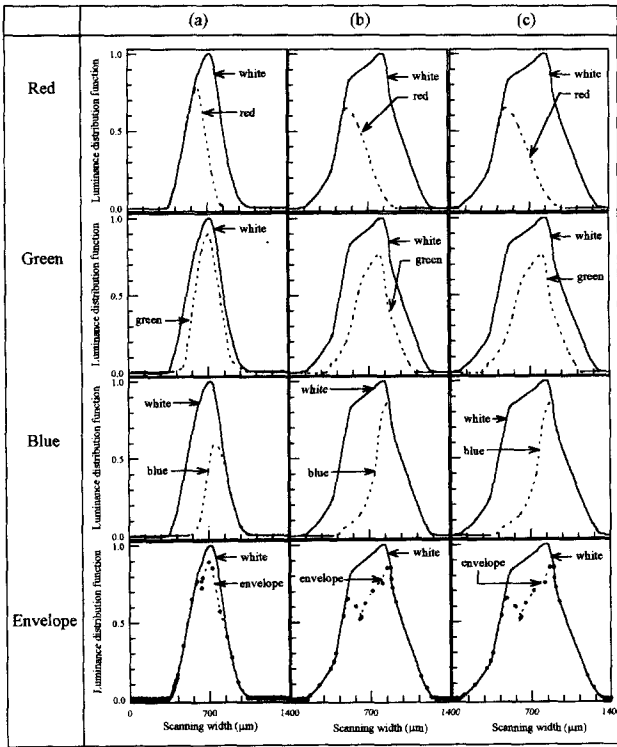


그림 9. (a) 화면의 중심과 500 μA 의 빔 전류, (b) 화면의 모서리와 500 μA 의 빔 전류, 그리고 (c) 화면의 모서리와 1000 μA 의 빔 전류에서 x축 방향으로 측정된 휘도분포함수.

대기, 가장자리, 모서리)에서^[17] 휘도분포함수, misconvergence, 디스플레이 휘도, 색도 좌표를 측정하였다. 모든 측정은 암실에서 수행하였다.

500 μA 의 빔 전류와 화면 중심, 500 μA 와 화면 모서리, 그리고 1000 μA 와 화면 모서리에서 x축 방향으로 측정된 삼색과 흰색 휘도분포함수들을 그림 9(a), (b) (c)에 나타내었다. 새도우 마스크의 구멍 간격이 0.26 mm, 스폿의 평균 직경이 0.72 mm이므로 빔 조정회수는 3회로 하였다. 화면 중심에서 삼색과 흰색의 휘도분포함수들은 그림 9(a)와 같이 대칭적인 형태를 가지며 적색과 청색 휘도분포함수는 녹색에 대하여 왼쪽과 오른쪽으로 거의 동일한 거리만큼 떨어져 있다. 그러나 화면 모서리에서는 편향에 의한 수차로 인해 휘도분포함수들이 그림 9(b)와 같이 비대칭성을 띠며 적색 휘도분포함수가 청색보다 녹색에서 상대적으로 멀리 떨어져 있다. 또한 빔 전류를 500 μA 에서 1000 μA 로 높이는 경우 그림 9(b), (c)와 같이 휘도분포함수의 형태는 서로 일치하지만 1000 μA 의 FWHM(full width at half maximum)이 500 μA 보다 상대적으로 넓어졌음을 알 수 있다.

그림 9(a), (b), (c)에서 흰색 휘도분포함수의 좌우 가장자리는 삼색 휘도분포함수 쌍계의 좌우 가장자리와 겹치고 있다. 만약 공간전하 효과에 의한 빔간의 반발력이 존재한다면 전자는 후자 보다 넓어지게 되므로,^[2] 가장자리 겹침 현상에 의해 빔간의 반발력이 존재하지 않음을 알 수 있다.

빔 전류와 화면위치에 따라 측정된 x축과 y축 방향의 misconvergence를 그림 10(a)와 (b)에 나타내었다. 빔 전류에

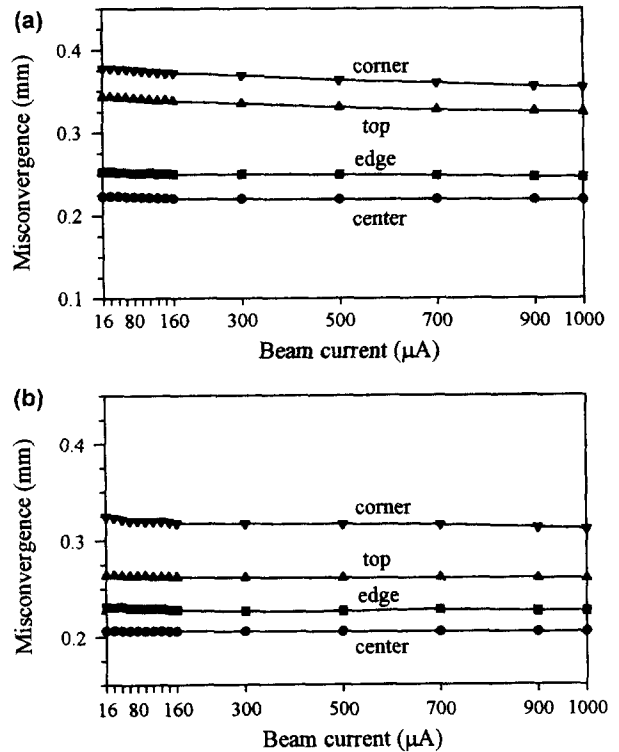


그림 10. 빔 전류와 화면위치에 따른 misconvergence의 변화. (a) x축 방향으로 측정된 경우, (b) y축 방향으로 측정된 경우.

따른 비교에서 빔 전류가 높아짐에 따라 misconvergence는 거의 일정한 값을 유지하거나 약간 감소하였다. 화면 모서리에서 빔 전류가 높아짐에 따라 misconvergence가 감소하는 이유는 낮은 빔 전류에 비하여 선편이 상대적으로 넓어져서 휘도분포함수간의 위치 차이가 작아졌기 때문이다(그림 9c). 이러한 결과와 그림 9의 가장자리 겹침으로부터 칼라 모니터의 misconvergence는 빔 전류의 증가에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이것은 참고문헌 [2]의 misconvergence는 전류의 세기에 비례하여 증가한다는 결과와는 상반된다. 참고문헌에서는 칼라 텔레비전(평균 빔 전류: 1600 μA)의 빔 전류를 본 논문에서 사용한 것보다 10배 이상이 높은 1500 μA 에서 12000 μA 까지 변화시켰다. 따라서 참고문헌과 다른 결과가 나온 것은 칼라 모니터가 텔레비전보다 상대적으로 낮은 빔 전류를 사용하기 때문으로 판단된다. 각각의 빔 전류에서 화면위치에 따라 비교를 할 경우 misconvergence는 화면의 주변부로 갈수록 증가하였다. 빔 전류가 500 μA 인 경우 화면 모서리에서 x축 방향의 misconvergence는 0.36 mm로써 화면 중심에서의 0.22 mm보다 64%가 증가하였다. 이는 화면의 주변부로 갈수록 편향에 의한 수차로 인해 휘도분포함수간의 상대적 위치 차이가 커졌기 때문이다(그림 9b).

빔 전류와 화면위치에 따라 측정된 스폿 크기와 디스플레이 휘도를 그림 11과 12에 나타내었다. 스폿 크기는 흰색 스폿의 휘도분포함수를 측정된 후 최대치의 5%에서의 선편에 해당하는 값을 사용하였다. 전자총에 전류를 많이 인가하면 빔의 직경이 커지면서 강도도 세어지기 때문에 빔 전류가 높

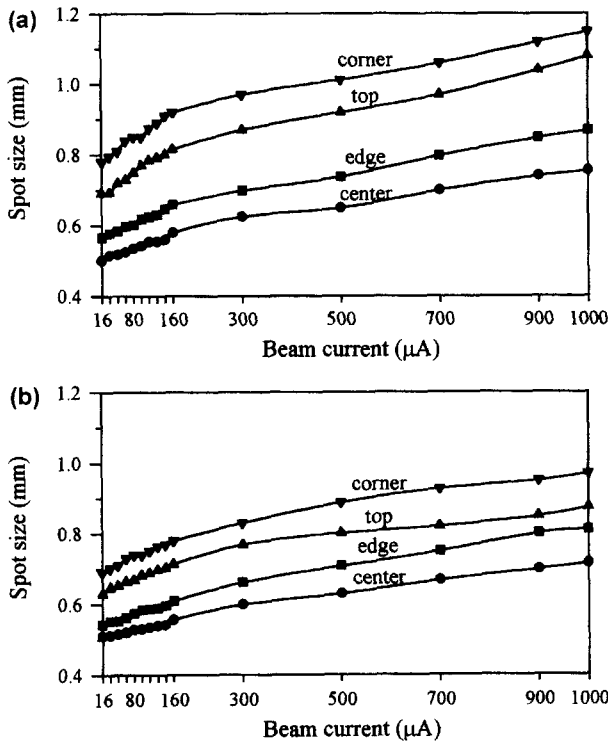


그림 11. 빔 전류와 화면위치에 따른 스폿 크기의 변화. (a) x축 방향으로 측정된 경우, (b) y축 방향으로 측정된 경우.

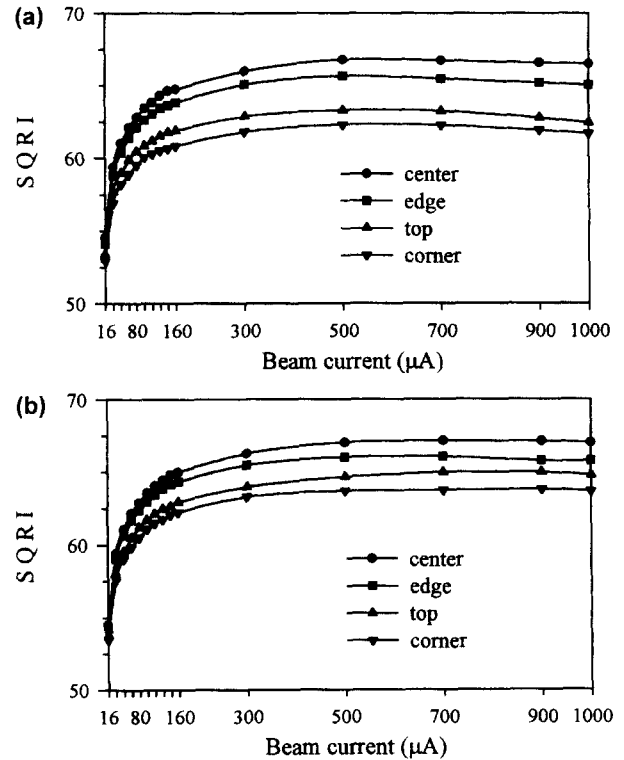


그림 13. 빔 전류와 화면위치에 따른 SQRI 값의 변화. (a) x축 방향으로 측정된 경우, (b) y축 방향으로 측정된 경우.

아질수록 스폿 크기와 디스플레이 휘도가 증가함을 알 수 있다. 각각의 빔 전류에서 화면위치별로 비교를 할 경우 화면 중심에서 주변부로 갈수록 스폿 크기는 증가하였으나 디스플레이 휘도는 감소하였다. 빔 전류가 500 μA인 경우 화면모서리에서 x축 방향의 스폿 크기는 화면 중심보다 56%가 커진 반면 디스플레이 휘도는 16%가 낮아졌다. 이는 화면의 주변부로 갈수록 편향에 의해 수차가 증가하여 스폿의 직경이 커지면서 흐려지기 때문이다.

빔 전류와 화면위치에 따라 얻어진 x축과 y축 방향의 SQRI를 그림 13에 나타내었다. SQRI는 그림 11에서 측정된 휘도분포함수를 푸리에 변화하여 얻은 MTF, 그림 12에서 측

정한 디스플레이 휘도, 그리고 500 mm로 가정한 viewing distance를 사용하여 식 (4)에 의해 계산하였다. 빔 전류에 따

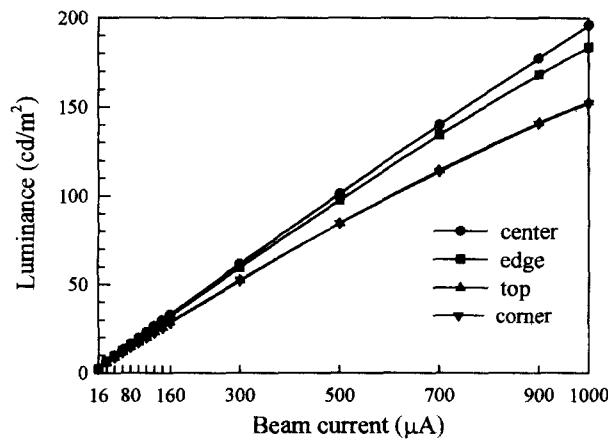


그림 12. 빔 전류와 화면위치에 따른 디스플레이 휘도의 변화.

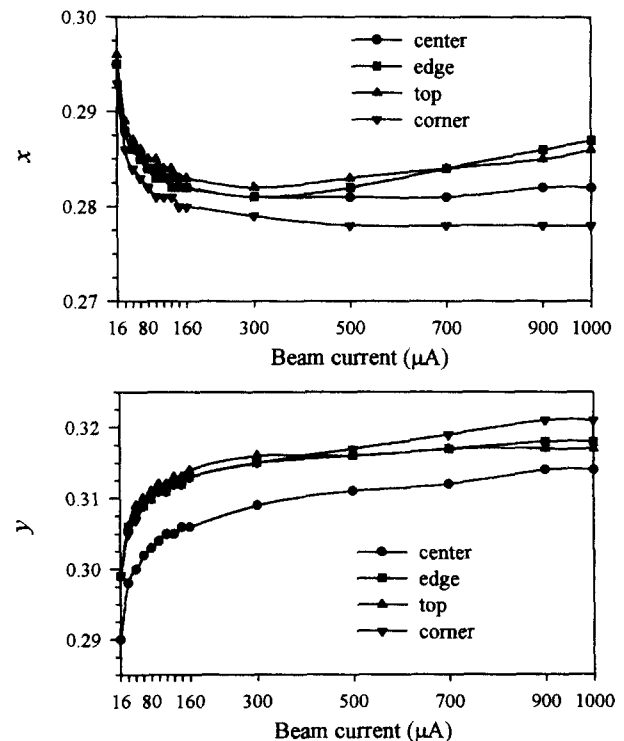


그림 14. 빔 전류와 화면위치에 따른 색도 좌표(CIE(x, y)-1931)의 변화.

른 비교에서 SQRI 값은 빔 전류가 높아짐에 따라 증가하다가 300 μA 에서부터 점차 일정한 값을 유지하였다. SQRI는 디스플레이 휘도에 비례하며 스폿 크기에 반비례한다. 그리고 50 cd/m^2 이하의 디스플레이 휘도에서는 전자에 많은 영향을 받으며 50 cd/m^2 이상에서는 후자에 많은 영향을 받는다.^[18] 측정에 사용한 모니터는 300 μA 에서부터 50 cd/m^2 이상의 디스플레이 휘도를 가지므로 SQRI는 300 μA 이하에서는 디스플레이 휘도에 영향을 받고 그 이상의 빔 전류에서는 스폿 크기에 영향을 받는다. 그리하여 SQRI는 300 μA 까지는 디스플레이 휘도가 높아짐에 따라 증가하다가 그 이상에서는 스폿 크기 증가의 영향으로 일정한 값을 유지한다. 각각의 빔 전류에서 화면 위치에 따른 비교를 할 경우 SQRI 값은 화면 주변부로 갈수록 감소하였다. 이는 화면 주변부로 갈수록 스폿 크기가 증가하는 반면 디스플레이 휘도는 낮아졌기 때문이다(그림 11과 12).

화상의 밝기(디스플레이 휘도) 변화에 따른 흰색 색상의 흐트러짐을 나타낸 것을 흰색 밸런스(white balance)라고 하고 동일한 화상의 밝기에서 화면 위치에 의한 흰색 색상의 흐트러짐을 나타낸 것을 흰색 균일도(white uniformity)라고 한다. Misconvergence가 색도 좌표 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 흰색의 색도 좌표를 측정하였으며 그림 14에 나타내었다. 빔 전류에 따른 비교에서 색도 좌표는 misconception가 좋고 나쁨에 관계없이 측정 기준인 500 μA 에서 벗어나는 정도가 클수록 많이 변화하였다. 그러므로 흰색 밸런스는 misconception와는 무관하며, 각 전자총들의 전기적 특성과 삼색 빔에 대한 형광체의 발광특성에 영향을 받음을 알 수 있다. 화면의 위치에 따른 비교에서 색도 좌표는 측정 기준인 화면 중심에서 주변부로 갈수록 많이 변화하여 흰색 균일도의 저하를 초래하였다. 이것은 화면 중심에서 벗어날수록 편향에 따른 기하학적인 수차에 의해 색의 겹침이나 흐림 등이 발생하여 색도 좌표에 영향을 주었기 때문이다.

IV. 결 론

공간전하 효과와 편향에 의해 발생한 misconception와 분해능의 상호 연관성을 연구하기 위하여 칼라 모니터의 빔 전류와 화면의 위치를 변화시켰다. 전기적 방법에 의해 휘도분포함수를 측정하여 새도우 마스크의 샘플링 효과를 보강하였고 SQRI를 사용하여 분해능을 나타내었다. 편향과 공간전하 효과를 모두 고려하기 위하여 적색과 녹색, 녹색과 청색 빔을 동시에 켜 상태에서 misconception를 측정하였다.

칼라 모니터의 misconception는 빔 전류에 영향을 받지 않고 화면의 위치에 의존하였다. Misconvergence는 화면 주변부로 갈수록 커졌으며 이는 분해능과 흰색 균일도의 저하를 초래하였다.

부 록 : 분해능 이론

최근 디스플레이의 분해능을 나타내는 척도로는 SQRI 방법이 많이 사용되고 있다. SQRI는 디스플레이가 재생할 수 있는

사인 형태의 패턴 중 사람 눈이 인식할 수 있는 공간주파수에 걸쳐 구별되는 명암대비 레벨(distinguishable contrast level)들을 모두 합한 무차원의 값으로,^[5] SQRI 값이 큰 디스플레이는 SQRI 값이 작은 경우보다 상대적으로 분해능이 높다.

디스플레이에 재생되는 화상은 2차원으로 표현하지만 수식을 간략하게 하기 위하여 1차원으로 제한하여 전개하였다.

SQRI는

$$SQRI = \frac{1}{\ln 2} \int_0^\infty \sqrt{\frac{MTF(u)}{M_t(u)}} \frac{du}{u} \tag{3}$$

로 정의되고, 실제 계산에서는

$$SQRI = \frac{2}{\ln 2} \int_0^\infty \sqrt{\frac{MTF(u)}{u M_t(u)}} d(\sqrt{u}) \tag{4}$$

이 사용되며

$$u = \frac{\pi}{180} l v, \tag{5}$$

$$\frac{1}{M_t(u)} = au \exp(-bu) \sqrt{1+c \exp(bu)} \tag{6}$$

로 주어진다. 여기서 v 는 디스플레이의 공간주파수로 cpm(cycles per mm) 단위를 사용하며 u 는 눈에서의 공간주파수로 cpd(cycles per degree)의 단위를 사용하고 l 은 viewing distance로 mm의 단위를 사용한다. MTF는 디스플레이의 분해능을 나타내고 M_t 는 modulation threshold function으로 눈의 분해능을 나타낸다. 그리고 a, b, c 는

$$a = 440 (1+0.7/L)^{-0.2}, \tag{7}$$

$$b = 0.3(1+100/L)^{0.15}, \tag{8}$$

$$c = 0.06 \tag{9}$$

로 주어진다. 식 (7)과 식 (8)에서 L 은 디스플레이의 휘도로 cd/m^2 의 단위를 사용한다.

감사의 말씀

연구가 수행되는 동안 측정에 대하여 같이 토론해 주시고 도움 말씀을 주신 LG 전자 전자관 설계실의 채홍수님, 논문의 구성과 내용에 대하여 유익한 지적을 해 주신 심사위원님들께 감사드립니다. 본 연구는 과학기술부의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] C. A. Devilbiss, R. J. Beaton, H. L. Snyder, SID 91 Digest, 95 (1991).
- [2] Y. Wada, Y. Ueda, H. Suzuki., Asia display '95, 767 (1995).
- [3] LG 전자 영상 display 연구소, Braun관 기술교재 (1995).
- [4] B. J. Thompson and L. B. Headrick, Proc. of the I.R.E., 318 (1940).

- [5] I. Gorog, Proc. of the IEEE **82**, 520 (1994).
 [6] M. Yamanaka et al., ITE technical report, **17**, 25 (1993).
 [7] W. F. Santelmann, Jr., and D. P. Mason, Information display **1**, 16 (1991).
 [8] T. Shimama et al., Japanese Patent Application 61588 (1992).
 [9] S. Sugahara et al., Japanese Patent Application 166469 (1993).
 [10] P. G. J. Barten, Proc. of the SID **29**, 3 (1988).
 [11] P. G. J. Barten, SID 92 Digest, 867 (1992).
 [12] G. C. Holst, CCD arrays, cameras, and displays (SPIE optical engineering press, 1996) Chap. 7-4.
 [13] ANSI/HFS 100-1988, American national for human factors engineering of VDT workstations (The Human Factor Society, Inc., Santa Monica, 1988) pp. C-5-C-7.
 [14] MOS channel detector C4350, C4351 (Hamamatsu technical data, 1990) T-2000.
 [15] ANSI/HFS 100-1988, American national for human factors engineering of VDT workstations (The Human Factor Society, Inc., Santa Monica, 1988) pp. 64-65.
 [16] K. Chellev and I. Mallender, Information display **1**, 8 (1994).
 [17] 김태희, 이윤우, 조현모, 이인원, 김준현, 최옥식, 한국광학회지 **9**, 205 (1998).
 [18] 김태희, MTF 측정에 의한 정보표시장치의 화질 평가 (박사학위논문, 영남대학교, 1998) pp. 65-68.

Effects of misconvergence on resolution of color CRT monitor

Tae Hee Kim, Yun Woo Lee, Hyun Mo Cho, In Won Lee, Ok Shik Choe* and Bong Gyo Chung**

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

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

***Evaluation Team EDT1-OBU, LG Electronics Inc., Kumi 730-030, Korea*

(Received July 8, 1998, Revised manuscript received March 17, 1999)

By varying the beam current of a color CRT(cathode ray tube) monitor, the misconvergence, spot size, display luminance, and chromaticity coordinate of a white pattern were measured at 4 screen positions. The misconvergence was measured with a linear CCD (charge coupled-device). The resolution was obtained by using SQRI (square root integral) method. The misconvergence of a color monitor was not influenced by the beam current but by the screen position. The misconvergence on a screen perimeter caused the resolution to decrease.