Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 4 pp.33-39, November 2007

TFT-LCD에서 시야각을 고려한 White Uniformity 측정 및 평가에 대한 연구

장 성 호[1] · 서 상 원[2]

[1]금오공과대학교 산업 시스템 공학과 / [2]LG-Philips LCD R&D Center

Research of Measurement and Evaluation of White Uniformity Considering Visual Angle on TFT-LCD

Sung Ho Chang[1], Sang Won Seo[2]

[1]Department of Industrial and Systems Engineering. Kumoh National Institute of Technology. Gumi. 730-701
[2]LG-Philips LCD, Gumi 730-350

ABSTRACT

In the full white pattern, white uniformity means the degree of uniform distribution of white color and luminance across the whole screen. Among the FPDs(Flat Panel Displays), the TFT-LCD has weak point of viewing angle. The viewing angle considering location and direction can cause different image quality of the TFT-LCD. Therefore, white uniformity of the TFT-LCD must consider viewing angle. Based on international standards, this study proposes an alternative that is realistic and ergonomic measurement of white uniformity of the TFT-LCD.

Keyword: White uniformity(luminance and color uniformity), ΔE^*uv

1. 서 론

최근에 개발 중인 display device는 제품, 생산 및 구동기술 측면에서 보면 공통적 특징을 가지고 있다. 제품상의 특징은 경량, 박형으로써 평판디스플레이(Flat Panel Display)에 그 초점이 맞춰져 있다. LCD를 비롯하여 PDP, FED, EL 등은 모두 FPD이다. 생산기술 측면에서 보면 핵심적인 공정이 반도체 공정을 기반으로 하고 있으며, 구동기술 역시 digital 구동을 하고 있다. 이러한 특징들은 기존 반도체의 집적화 기술 추이와 유사하게 대형화, 고밀도화가 가능함을 보여주는 예 이다(이이상, 2001).

이들 중 특히 TFT-LCD는 얇고 가벼우며, 저 소비전력과 저 동작 전압 등 우수한 특성을 갖추고 있기 때문에 개인용 컴퓨터의 모니터와 TV, 비디오 관련 분야 및 항공, 차량 등 다양한 분야에 이용되고 있다. 그러나, TFT-LCD가 타 디스플레이에 비해 가진 약점이 크게 세 가지가 있다. 먼저, 시야각에 따른 화질 변화, 암실에서의 명암 대비율 저하, 동화상 표현에 부족한 응답시간에 있다고 볼 수 있다(이승희, 2002).

*본 연구는 금오공과대학교 교내연구비 지원과제임.
교신저자: 장성호
주 소: 730-701 경북 구미시 양호동 1번지, 전화: 011-535-7319, E-mail: changsh@kumoh.ac.kr

2. 연구 배경

2.1 연구 배경과 필요성

평판디스플레이는 CRT와 다른 구동방식으로 인하여 관련된 특성을 측정할 때에는 그 기준이 다를 수 있다. 특히, CRT는 시야각을 고려하지 않아도 되었지만 LCD는 시야각에 따라 화질이나 색재현성, 균일성이 달라지므로 FPD는 CRT 방식의 측정방식과 달리하여 고유의 측정표준이 필요하게 되었다. Display의 표준을 다루는 여러 기관들은 기존의 CRT와 다른 특성을 가진 FPD에 대한 측정표준을 제시하고 있다. 대표적으로 VESA의 Flat Panel Display Measurements Standard(FPDM) version 2.0, TCO의 TCO'03 VDU(Visual Display Units) of FPD type 및 TCO'99, ISO의 Ergonomic requirements for work with visual displays based on flat panels-Part 2: Ergonomic requirements for flat panel displays(ISO 13406) 등이 있다.

VESA FPDM ver.2.0에서 제시하는 방법은 가장 일반적이며, 간단하면서 적용하기 쉬운 측정방법과 분석방법을 제시하고 있으나, TFT-LCD는 시야각에 따라 휘도와 색상이 변한다는 특성을 제대로 반영하지 않고 있다. TCO'99는 인간공학적인 측면을 강조하여 시야각 특성을 반영하고 있으나, 측정지점 중 가장 많은 변화를 보이는 가장자리 영역을 반영하지 않고 있다. 그리고, 전체적으로 휘도와 color의 white uniformity를 독립적으로 평가하고 있다. 이는 휘도와 color를 복합적으로 느끼고 판단하는 사람의 시각특성을 고려하지 않은 평가 기준이다.

2.2 연구 목적

본 논문의 연구 목적은 모든 국제표준규격의 조건에 부합하고, TFT-LCD의 시야각을 반영하며, 현실적이고 효율적인 white uniformity의 측정방법과 평가 기준을 제안하고자 함에 있다. 이를 수행하기 위해서

- 기존의 국제표준규격에 근거하여 white uniformity를 측정할 때 측정 조건에 대해서 인자를 선정하고 분석을 한다.
- 인간공학적 근거와 TFT-LCD의 시야각 특성을 고려한 새로운 측정방법을 제안한다.
- ΔE^*uv를 이용하여 국제표준규격의 평가 기준과 새로 제안된 측정방법에 대해서 비교 및 평가한다.

여러 가지 국제표준규격을 반영하고, TFT-LCD의 특성과 인간공학적 요소를 고려한 white uniformity 측정방법 및 평가 기준을 제시하여 제조업체와 소비자의 의사소통을 원활하게 할 수 있도록 정보를 제공하고자 한다. 또한, 사용자들에게 우수한 모니터 및 TV를 선택할 수 있는 기회를 제공하는데 활용하고자 한다.

3. White Uniformity 측정 조건 분석

3.1 실험장비 및 환경

실험에 사용될 디스플레이는 국내의 MW-30LZ10으로 TFT-LCD 30인치이고, 모니터 겸용 TV이다. 구체적인 제품의 규격은 표 1과 같고, 제품 내에서 aspect ratio를 16:9와 4:3으로 변경할 수 있다.

표 1. 실험용 모니터의 규격

Model	MW-30LZ10
Diagonal of screen(inch)	30
Luminance(cd/m^2)	450
C/R	400
Viewing angle	176(88/88/88/88)
Response time(ms)	12

실험에 사용할 LMD로는 휘도 및 색좌표, 색온도를 함께 측정할 수 있는 PHOTORESEARCH사의 PR-650을 사용하였다. 실험에 사용한 컴퓨터는 PentiumⅢ 650, 그래픽카드 nDivia GeForce2 MX 400, 메모리 256MB를 탑재한 컴퓨터 1대를 사용하였다. 주변환경 조도를 측정하기 위해서 사용한 조도계는 TOPCON에서 제조한 AM151을 사용하였다. 그리고, 국제표준규격에 근거하여 실험실은 일반적인 사무환경으로 하고, 주변환경 조도는 암실 조건에서 실험을 수행하였다. 그리고, 실험용 디스플레이는 최소 20분 이상의 warm-up time을 가져 안정시킨 후 실험을 수행하였다. 실험용 TFT-LCD의 setting값은 표 2와 같다.

표 2. TFT-LCD의 Setting 값

항목	Target (1976 CIELUV)	초기 설정값 (Full color white)
Luminance(cd/㎡)	-	370
u'	0.189(=u'$_n$)	0.189
v'	0.446(=v'$_n$)	0.446
CCT(K)	9300K	9387

3.2 Viewing point에 관한 분석

실험용 디스플레이가 가지고 있는 화면 전체 영역의 휘도 분포 및 색좌표를 알아보기 위한 분석을 하였다. 측정방법은 VESA FPDM ver.2.0을 따라 각 viewing point를 수직방향(θ=0°)으로 측정거리(Md)에서 평행하게 측정하였으며, viewing point는 25점, 크기는 TCO'99에 따라 4×4cm로 설정하였고, 2회 반복 측정하였다. 실험수준은 full color white에서 측정거리(Md)를 50cm로 하였다. 반응값은 L, (u', v')이며, 반복에 의한 평균값을 사용하여 분석하였다.

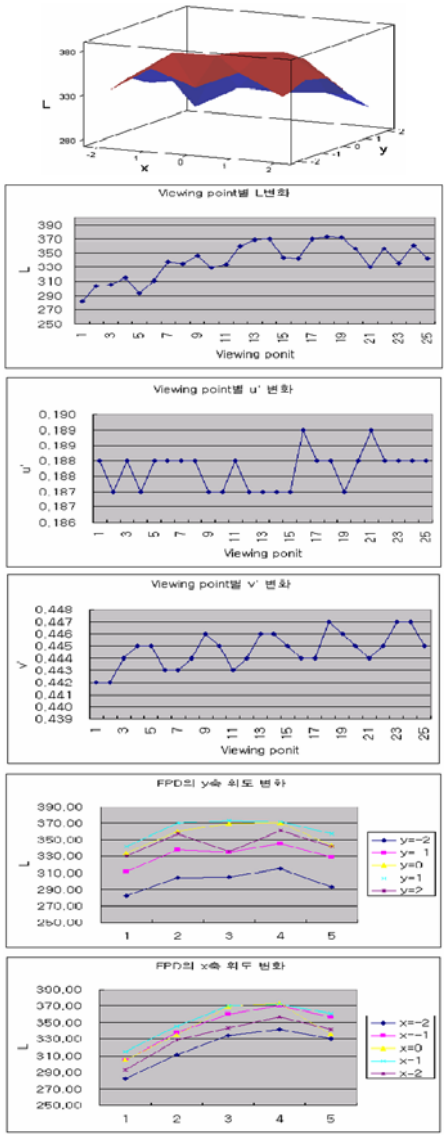

그림 1. Full white에서 휘도(u', v')변화

White uniformity를 평가할 때, 휘도 균일성은 Max 또는 중심지점의 휘도값과 Min에 의해 결정되어지고, 색상 균일성은 차이가 가장 심한 두 지점의(u', v')로 결정되어지기 때문에 측정시 viewing point는 중심점과 corner 4지점의 5점으로도 화면 전체의 측정값을 대변할 수 있으며 가장 효율적이다.

3.3 시야각 특성과 측정거리에 관한 분석

디스플레이 측정에서 시야각 특성과 측정거리의 영향을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 이를 위해 디스플레이의 setting은 디스플레이의 y축을 기준으로 수평 경사각(θ_H)을 변화하고, full white screen에서 각 수준별 휘도와 (u', v')를 측정한다. 이 실험에서 인자는 수평 경사각(θ_H)과 측정거리(Md)이며, 수준은 θ_H는 5수준(0°, 15°, 30°, 45°, 60°), Md는 4수준(50cm, 75cm, 100cm, 150cm)으로 하고, 2회 반복 측정하였다. 이원배치 실험계획법에 따라 실험순서는 random하게 실시하였고, 반응값은 휘도(u', v')이다. 휘도에 대한 분산분석 결과인 표 3.3를 보면 측정거리(Md)와 수평 경사각(θ_H), 그리고 교호작용이 유의수준(α=0.05)에서 모두 유의하게 나타났다.

표 3. 수평 경사각(θ_H)과 측정거리(Md)에 따른 휘도 변화의 분산분석 결과

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
M_d (거리)	3	63	63	21	59.90	0.000
Angle	4	220170	220170	55043	1.6E+05	0.000
M_d*Angle	12	48	48	4	11.39	0.000
Error	20	77	0			
Total	39	220288				

그림 2에서 main effect plot을 보면 M_d는 거의 일정한 반면에 θ_H는 각도에 따라 큰 변화를 보여주고 있다.

그리고, 표 4를 보면 $\theta_H = 0°$에서 $\theta_H = 30°$까지는 표준편차가 작은 반면에 $\theta_H = 30°$ 이상에서 표준편차가 급격히 커짐을 알 수 있다. 따라서, 측정오차를 줄이기 위해서는 경사각을 $\theta_H = 0$~$30°$로 설정하고, 이 범위 내에서는 표준편차가 작기 때문에 측정거리를 변동해도 무방하다고 판단된다.

3.4 수평 경사각(θ_H)에 따른 휘도, (u', v')의 회귀분석

디스플레이의 수평 경사각(θ_H)이 휘도, (u', v')의 변화에 가장 큰 영향을 주고 있으므로, θ_H에 따른 휘도, (u', v')의 관계에 대해 회귀분석을 하였다. 측정거리는 50cm로 하고, 표준초기 정렬한 상태에서 디스플레이의 수평 경사각(θ_H)

을 1°씩 변화시키면서 화면 중심의 휘도와 (u', v')의 변화량을 측정하였다.

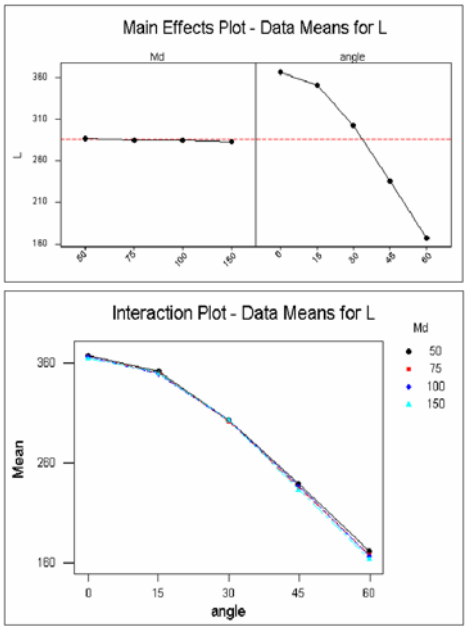

그림 2. 휘도(L)에 대한 main effects plot과 interaction plot

표 4. θ_H 의 변화에 따른 휘도변화

θ_H	0°	15°	30°	45°	60°
평균	367	350.75	303.38	236.25	167.75
표준편차	0.8165	0.5000	0.6291	2.3273	3.3040

표 5. 수평 경사각(θ_H)에 따른 휘도, (u', v')의 회귀분석 결과

항목	The regression equation	R-sq	*P*-value
L(휘도)	L = 372.766 − 0.496238 angle − 0.0474953 angle**2	99.6%	0.000
u'	u = 0.188080 − 0.000038 angle + 0.0000015 angle**2	93.3%	0.000
v'	v = 0.446994 + 0.0000314 angle + 0.0000023 angle**2	98.6%	0.000

3.5 디스플레이 크기와 측정거리에 따른 경사각(θ) 분석

화면상의 각 viewing point별 경사각(θ)은 디스플레이의 크기와 측정거리에 따라 어떻게 달라지는지 분석해 보고자 한다. 경사각(θ)은 삼각함수의 원리를 이용했으며, Microsoft사의 Excel을 이용하였다.

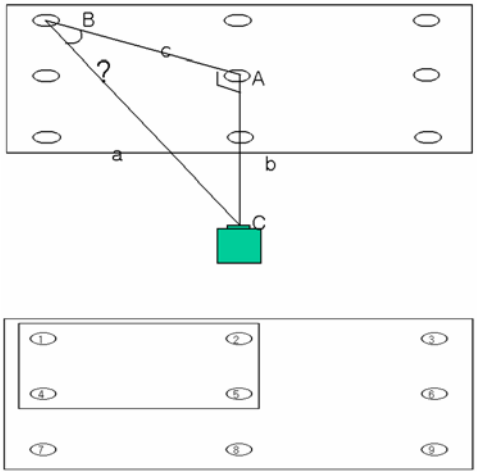

그림 3. LMD(또는 관측자)와 화면 사이의 경사각과 viewing point

LMD 또는 관측자가 viewing point 5번을 수직으로 바라보고 있으며 경사각 $\theta = 0°$이며, viewing point 1번은 3번, 7번, 9번과 경사각이 대칭이며, 2번은 8번과 대칭이고, 4번은 6번과 대칭을 이룬다. 따라서, viewing point 1번, 2번, 4번, 5번의 경사각을 측정거리별, 화면 크기별 변화를 살펴보았다.

표 6. 16:9일 때, 화면 크기별, 측정거리별 각 viewing point의 경사각(θ)

단위: M_d(cm), θ(°)

V_p \ M_d	23인치				30인치			
	50	D (=64.6)	100	D×1.5 (=96.9)	50	D (=75)	100	D×1.5 (=112.5)
1	27.34	21.80	14.49	14.93	30.97	21.80	16.70	14.93
2	12.08	14.17	9.27	9.56	17.16	11.63	8.77	7.81
4	21.84	17.23	11.33	11.68	27.23	18.93	14.43	12.88
5	0	0	0	0	0	0	0	0

표 6을 보면 측정거리(Md)가 화면의 대각선(D)에 의해 결정되어질 때, viewing point 1번(화면의 corner에 위치한 viewing point)은 aspect ratio와 디스플레이의 크기에 상관없이 Md=D일 때 경사각(θ)=21.8°이고, Md=D×1.5일 때 경사각(θ)=14.93°으로 모두 동일하다. 따라서, 화면의 corner 지점의 viewing point는 항상 같은 경사각으로 측정할 수 있다. VESA FPDM ver.2.0은 LMD와 각 viewing point의 경사각은 $\theta = 0°$이다. 표 6과 같이 경사각이 발생하면 VESA FPDM ver.2.0 방식으로 측정된 휘도값에서 표 7에 제시하는 휘도값만큼 차이가 발생한다. 표 7은 aspect ratio가 16:9일 때, 표 5에서 제시된 회귀식으로 계산한 값이다.

표 7. 각 viewing point의 경사각(θ)에 따른 휘도 변화(16:9)

단위: Md(cm), cd/m^2

V_p \ M_d	23인치				30인치			
	50	D (=64.6)	100	D×1.5 (=96.9)	50	D (=75)	100	D×1.5 (=112.5)
1	49.06	33.39	17.16	17.99	60.91	33.39	21.53	17.99
2	24.49	16.57	8.68	9.08	22.49	12.19	8.01	6.71
4	33.50	22.66	11.72	12.28	48.72	26.42	17.04	14.27
5	0	0	0	0	0	0	0	0

4. 새로운 White Uniformity 측정방법 제안

White uniformity는 백색이 가장 좋은 지점과 가장 나쁜 지점의 차이 또는 ratio로서 평가를 하게 되는데, 평가할 때 사용되는 식의 정의에 따라 결과는 차이가 발생한다. 가장 중요한 것은 휘도가 가장 안 좋은 지점이 사람의 눈에는 거슬리며 화면 전체 균일성을 결정하게 된다. 따라서 각 측정지점(viewing point)들은 일정한 기준 아래서 최대한 비관적인 측정값을 가지도록 하여 평가한다면, 여러 가지 국제표준규격들이 제시하는 평가 기준을 모두 만족시키는 가장 포괄적인 평가 기준이 될 것이다.

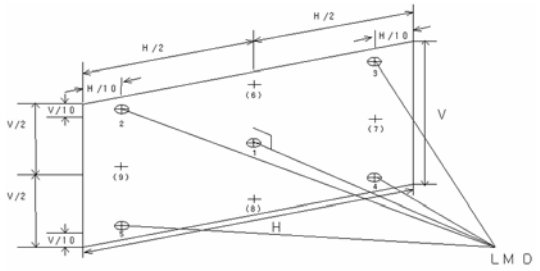

그림 4. 제안하는 white uniformity의 viewing point와 측정방법

국제표준규격에 따라 LMD와 디스플레이는 표준초기정렬 상태로 LMD의 렌즈는 화면의 중심을 수직으로 바라보게 설치한다. 그리고, LMD는 고정된 위치에서 각 viewing point를 경사각(θ)을 달리하며 지정된 위치를 측정한다. 이는 기존의 국제표준규격보다 인간공학적 측면을 보완하기 위해 제안하는 것으로, 관측자가 고정된 위치에서 머리를 움직이지 않고 화면의 일정한 영역을 세밀히 관찰하여 각 지점을 서로 비교하는 모습을 적용한 것으로 그림 4과 같다. 화면 전체의 휘도 중에서 가장 높은 부위는 대부분 화면의 중심이고, 가장 낮은 부위는 화면의 corner 부위로 분석되었다. 따라서, viewing point는 화면의 중심(1번)과 화면의 corner 부위(2번, 3번, 4번, 5번) 4지점으로 5점 측정을 기본으로 하고, 그리고 화면의 edge 부위의 중앙(6번, 7번, 8번, 9번) 4지점을 추가한 9점 측정은 부가적으로 한다. Viewing point의 크기는 TCO'03을 따라서 4×4cm로 한다. 경사각에 대한 영향력을 분석한 결과, $\theta = 0^\circ$에서 $\theta = 30^\circ$ 내에서는 측정거리(Md)의 영향력이 거의 없고 측정값인 휘도와(u', v')의 오차가 작은 것으로 분석되었다. 측정거리(Md)가 화면의 대각선 길이에 비례하여 결정되어질 때, 화면 corner 부위의 경사각은 화면 크기에 상관없이 일정하게 나타났다. 측정거리(Md)=D일 때, 화면의 corner 부위와 LMD의 경사각은 약 $\theta = 22^\circ$이고, 측정거리(Md)=D×1.5일 때는 $\theta = 15^\circ$이므로, 경사각의 영향을 크게 하기 위해서 측정거리는 측정거리(Md)=D로 결정한다. White uniformity를 평가할 때, 기존의 국제표준규격은 객관적인 평가(측정기계를 이용한 평가)를 위해 휘도와 (u', v')를 독립적으로 평가하였으나, 사람의 눈은 휘도와 색을 동시에 느끼고 지각하여 주관적인 평가를 한다. 따라서, 본 논문은 휘도와 색상을 동시에 인자로 가지는 ΔE^*uv로 각 viewing point의 측정값을 정량화하고자 한다. ΔE^*uv에 관한 공식은 다음과 같다.

$$L^* = 116\,(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - 16$$
$$u^* = 13L^*\,(u - u_n)$$
$$v^* = 13L^*\,(v - v_n) \quad (1)$$

$$\Delta E^*uv = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2] \quad (2)$$

일반적인 디스플레이라면, 화면의 중심이 휘도가 가장 높게 측정될 것이다. 따라서, Yn, un, vn은 화면 중심(1번)에서 측정된 휘도와 (u', v')를 사용하며, 공식에 의해 1번은 L*=100, u*=0, v*=0이며 $\Delta E^*uv = 0$을 가진다. 각 viewing point는 측정된 휘도, (u', v')을 각각 L*, u*, v*로 변환하고, ΔE^*uv로 화면 중심과의 차이를 정량화한다. 국제표준규격에서 제시된 luminance uniformity 조건은 VESA FPDM ver.2.0의 경우 규정된 식에 의해 %로 나타내고, TCO'99의 경우 Max:Min≦1.5:1일 때 인증을 하며 Max:Min≦1.7:1을 권고하는 기준이다. Color uniformity는 VESA FPDM ver.2.0에서 인접한 두 지점의 차이는 $\Delta u'v' \leqq$

표 8. 기준 휘도에 따른 ΔE^*uv의 허용 기준

기준 휘도	300일 때			400일 때		
$\Delta u'v'$ \ Max:Min (휘도)	0.004	0.01	0.025	0.004	0.01	0.025
1.3:1	11.02	16.23	33.92	11.02	16.23	33.92
1.5:1	15.56	19.59	35.65	15.56	19.59	35.65
1.7:1	19.51	22.86	37.54	19.51	22.86	37.54

0.004이고, 화면 전체에서는 $\Delta u'v' \leqq 0.04$이며, TCO'99는 경사각을 주었을 때 $\Delta u'v' \leqq 0.025$이고, 일반적인 방법(VESA FPDM ver.2.0에 규정한 방법)일 때는 $\Delta u'v' \leqq 0.01$이다. 표 9은 규정된 조건에 대한 기준 휘도에 따른 ΔE^*uv의 허용기준값을 정리한 것이다.

5. White uniformity 측정방법 비교

5.1 VESA FPDM ver.2.0의 white uniformity 측정방법과 평가방법

VESA FPDM ver.2.0에서 제시하는 방법으로 디스플레이를 측정하였다. 측정거리(Md)는 50cm이고, viewing point는 규정한 9지점이며, 각 viewing point는 경사각이 $\theta = 0^\circ$로 LMD와 수직을 이룬다. 측정된 viewing point의 번호는 편의상 그림 8의 순서에 따르며, 1번은 화면의 중심이다. 측정된 값은 표 9과 같이 측정값을 화면의 중앙값인 1번을 기준으로 ΔE^*uv을 구하여 정리한 것이다. 즉, 화면의 중앙과 비교하여 각 viewing point의 백색이 얼마큼 차이가 나는지 알 수 있으며, 2번은 화면의 좌측 상단으로 ΔE^*uv = 10.68로 중앙과 가장 차이가 심한 부분이다.

표 9. VESA FPDM ver.2.0으로 측정한 값의 ΔE^*uv

Vp	L	u'	v'	L^*	u^*	v^*	ΔE^*uv
1	369	0.188	0.446	100	0	0	0
2	282	0.188	0.442	90.05	0	−3.9	10.68
3	293	0.188	0.445	91.41	0	−1.3	8.68
4	342	0.188	0.445	97.09	0	−1.3	3.17
5	357	0.188	0.445	98.72	0	−1.3	1.81
6	306	0.188	0.444	92.98	0	−2.6	7.48
7	334	0.188	0.443	96.20	0	−3.9	5.43
8	343	0.187	0.445	97.20	−1.3	−1.3	3.34
9	336	0.188	0.447	96.43	0	1.3	3.79

5.2 TCO'99의 white uniformity 측정방법과 평가방법

측정거리(Md)는 D×1.5=112.4cm이고, viewing point는 규정한 3지점(L, C, R)이며, 디스플레이는 수평 경사각 $\theta_H = 30^\circ$로 좌 · 우 30°로 뒤틀어서 각각 측정하였고, 측정값을 표 10에 정리하였다. 표 10에서 ΔE^*uv는 $\theta_H = +30^\circ$일 때 viewing point L을 기준으로, $\theta_H = -30^\circ$일 때 viewing point R을 기준으로 계산된 값이다. TCO'99에서 제시하는 휘도 균일성을 평가하는 식에 따라 1.3으로 인증기준인 1.5보다 작으므로 이 디스플레이의 휘도 균일성은 좋게 평가되었다.

표 10. TCO'99 방식으로 측정한 값

V_p	$\theta_H = +30^\circ$				$\theta_H = -30^\circ$			
	휘도	u'	v'	ΔE^*uv	휘도	u'	v'	ΔE^*uv
L(5)	318	0.189	0.444	0	244	0.190	0.446	11.46
C(1)	314	0.189	0.447	5.22	314	0.189	0.447	3.36
R(6)	253	0.189	0.448	10.71	332	0.189	0.445	0

Color uniformity는 $\Delta u'v' = \sqrt{(u'_1 - v'_2)^2 + (u'_1 + v'_2)^2}$ 를 통하여 계산되어지며, 가장 큰 차이를 보이는 지점은 $\theta_H = +30^\circ$일 때, (0.189, 0.444)와 (0.189, 0.448)을 선택하면 $\Delta u'v' = 0.004$이다. 그러나, $\theta_H = -30^\circ$일 때, (0.190, 0.446)과 (0.189, 0.445)로 계산하면 $\Delta u'v' = 0.0014$으로 결과값에서 서로 차이가 크다.

5.3 본 논문에서 제안한 white uniformity 측정방법과 평가방법

본 논문에서는 제안한 white uniformity 측정방법으로 디스플레이를 측정하였다. 측정거리(Md)는 D=75cm이고, viewing point는 규정한 9지점이며, 그림 4와 같다. LMD는 디스플레이와 표준정렬상태로 고정되어 있고, LMD는 고정된 상태에서 각 viewing point를 경사각을 달리하여 측정하였고, 측정된 값은 표 11과 같다.

표 11. 본 논문에서 제안한 white uniformity 측정방법으로 측정한 값

Vp	L	u'	v'	L^*	u^*	v^*	ΔE^*uv
1	369	0.188	0.443	100.0000	0	0	0
2	254	0.189	0.444	86.4221	1.3	1.3	13.7018
3	285	0.188	0.446	90.4300	0	3.9	10.3341
4	312	0.188	0.443	93.6901	0	0	6.3099
5	336	0.189	0.446	96.4335	1.3	3.9	5.4424
6	288	0.189	0.444	90.8022	1.3	1.3	9.3798
7	308	0.190	0.446	93.2193	2.6	3.9	8.2430
8	336	0.189	0.446	96.4335	1.3	3.9	5.4424
9	312	0.189	0.447	93.6901	1.3	5.2	8.2792

각각의 측정방법을 ΔE^*uv의 값으로만 평가하였을 때, 화면 중앙과 비교하여 가장 편차가 큰 지점의 값은 VESA FPDM ver.2.0의 ΔE^*uv = 10.68, TCO'99의 ΔE^*uv = 11.46, 본 논문에서 제시한 방법의 ΔE^*uv = 13.70으로 가

장 비관적으로 평가되고 있다. 표 8에서 휘도의 허용기준 max:min = 1.5:1과 색상차이의 허용기준 $\Delta u'v' \leq 0.004$ 일 때 $\Delta E^*uv \leq 15.56$이며, 본 논문에서 제안하는 방법으로 평가한 ΔE^*uv값이 13.70으로 세 가지 방법 중 가장 비관적이면서, 허용기준 안에 들어가 있음을 알 수 있다. 따라서, 비교한 세 가지 방법 중에서 가장 비관적으로 평가되어 기존의 평가방법보다 더 엄격한 측정방법이라 할 수 있다.

6. 결 론

FPD 중에서 TFT-LCD는 시야각 특성이 다른 FPD보다 열악하기 때문에 화면을 바라보는 위치와 경사각에 따라 실제 느끼는 화질이나 색감은 차이가 있으며, white uniformity를 평가할 때 반드시 고려되어야 할 요소이다. 따라서, 본 논문에서 시야각을 고려하여 기존의 방식보다 더 현실적이고 인간공학적인 측정방법 및 평가방법을 제안하였다. 또한, white uniformity는 기존의 국제표준규격에 있어서 luminance uniformity와 color uniformity로 독립적으로 평가하였는데, 사람의 눈은 휘도와 색상을 동시에 느낀다는 점을 고려하여 ΔE^*uv를 사용하여 평가하였고, 각 국제표준규격이 허용하는 기준을 ΔE^*uv의 값으로 환산하여 제시하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 다른 방법보다 더 비관적인 결과를 제시할 수 있으므로 기존의 평가 결과보다 더 많은 margins을 가질 수 있으므로 기존의 국제표준규격의 기준을 모두 포괄하는 효율적인 측정방법 및 평가방법이라 할 수 있다.

참고 문헌

이승희, "TFT-LCD/PDP International 2002 고화질 TFT-LCD 기술 및 제품 동향", 한국정보디스플레이학회지, Vol. 3, No. 6, 2002.

이이상, "액정 TV의 현황 및 전망", 한국정보디스플레이학회지, Vol.2., No.1., pp 25-29, 2001.

"TCO'03 VDUs(Visual Display Units) of FPD(Flat Panel Displays) Type", TCO Development, TCOD1024 Ver.1.1.3, Stockholm, 1998.

"TCO'99-Mandatory and recommended requirements for Flat panel Visual Display Units(VDUs) as stand alone units and as parts of Laptop and Notebook computers concerning", TCO Development, Stockholm, 1998.

"Flat Panel Disaplsy Measurements Standard", (FPDM), VESA-Video Electronics Standards Association Display Metrology Committee development, Ver. 2.0, U.S.A, 2001.

"Ergonomic requirements for work with visual displays based on flat panels-Part 2: Ergonomic requirements for flat panel displays(ISO 13406-2)", ISO-TC159-SC4-WG2, ISOSTD, Ver. 3.3, U.S.A, 1999.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 장 성 호 ❖ changsh@kumoh.ac.kr
UNIV. OF MICHIGAN 박사
현 재: 금오공과대학교 교수
관심분야: 인간공학, 제조시스템공학

❖ 서 상 원 ❖ woniwin@lgphilips-lcd.com
금오공과대학교 산업시스템공학과 석사
현 재: LG-Philips LCD R&D Center 주임연구원
관심분야: 인간공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 10월 08일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 11월 25일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 11월 26일