The Effect of Surround Condition and Transmission on Color perception of Transparent display

Sooyeon Lee, Hyeyoung Ha, Semin Oh, Jungmin Im, Youngshin Kwak

Department of Human and System Engineering, School of Design and Human Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan, 689-798

ABSTRACT

Objective: In this study the effect of the level of luminance and transmission on display color perception would be analyzed. **Background:** Various types of display such as flexible, transparent and stretchable display are developed as the display panel technique grows. Displayed images on transparent display are more significantly affected by surround condition compared to other types of display. Hence the factors to be considered such as surround condition, haze, transmission are more than others. However the studies for these factors are still in its infancy. **Method:** It is impossible to conduct this study with various levels of transmission and surround condition by commercial transparent display. Therefore the transparent display was simulated on LCD display. The display was set for sRGB gamut and level of transmission and surround luminance is controlled. Level of surround luminance was 0 to 3 times of peak white for display with 0.5 interval and the transmission were 0, 10, 30, 50 and 70%. 35 combination of transmission and surround luminance was applied to simulated transparent display and the change of display color by each condition was tested. **Results:** As the result, color gamut is decreased as surround luminance or transmission is increasing. Moreover this increment gives rise to poor image quality as contrast is decreasing. **Conclusion:** image processing algorithm considering surround condition need to be applied to transparent display. **Application:** The result of simulation might help to suggest the image quality algorithm.

Keywords: Transparent display, Surround condition, Transmission factor, Image quality, color perception

1. Introduction

디스플레이 패널 기술이 발전하면서, 플렉서블 디스플레이, 투명 디스플레이, 스트레쳐블 디스플레이 등 다양한 형태의 디스플레이가 개발되고 있다. 디스플레이 패널 기술이 발전하였으나 기존의 디스플레이에 준하는 화질을 사용자가 요구함에 따라 사용자 중심의 디자인이 개발 단계에서부터 고려해야 한다. 특히 투명 디스플레이의 경우 패널 특성인 투과율뿐만 아니라 외광 이라는 외부 환경이 고려되어야 한다. 하지만 아직 시장에서 투명디스플레이를 접하기 힘들고 완제품을 이용하여 실험을 하더라도 고정된 투과율로 인해 투과율 혹은 외광의 레벨에 따라 색감(color perception)이 어떤 영향을 받는지 연구가 부족하다. 또한 투명디스플레이라고 하더라도 백라이트가 필요한 LCD와 발광층 자체에서 발광이 가능한 OLED와 같이 구동방식에 따라서도 디스플레이에 재현되는 화질이 달라질 수 있다 [1].

본 연구는 OLED 방식으로 구동되는 투명디스플레이에서 투과율과 외광의 레벨에 따라 시감이 어떠한 영향을 받을 수 있는지 분석하고, 화질 개선을 위한 방향을 제시한다. 시판되고 있는 디스플레이 중에는 OLED 방식의 투명디스플레이는 없으므로 본 연구에서는 다양한 투과율과 외광의 상태를 다루기 위해 시뮬레이션을 통해 시감에 미치는 효과를 분석하였다.

Table 1. Monitor Color gamut for simulation

	x	y	Yn
Red	0.64	0.33	0.213
Green	0.3	0.6	0.715
Blue	0.15	0.06	0.072
White	0.3127	0.3290	1.000

2. Method

디스플레이의 색역(gamut)은 sRGB gamut으로 설정하고 백색점(white point)은 D65로 설정하였다. (Figure 1). 모니터의 백색점(white point)의 Y 값이 1이라고 가정하였을 때 외광(S_R)은 모니터의 백색점과 동일한 색도(chromaticity)를 가지며, 0.5 간격으로 0 ~ 3.0 의 휘도값을 갖도록 설정하였다. 투과율(Tr)은 0, 10, 30, 50, 70%의 값을 갖는 경우를 시뮬레이션 하였으며, 총 37 개의 상황에 대하여 시뮬레이션 하여 시감 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

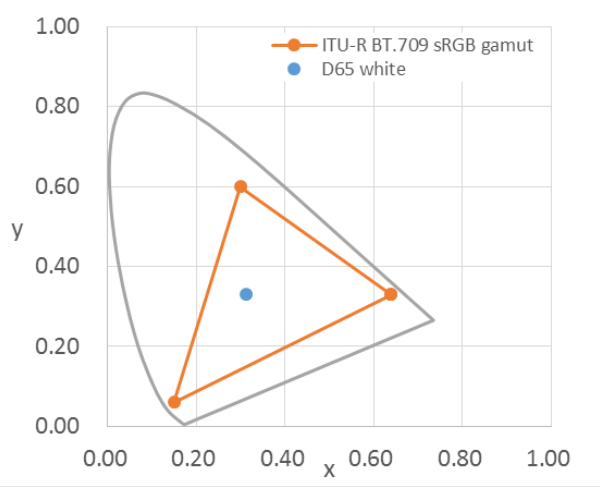

Figure 1. Simulated display gamut

3. Results

3.1 Gamut Size

외광(S_R)이 모니터 백색점(white point)의 1.5배일 때 투과율(Tr)에 따른 색역(gamut)변화를 보면 투과율(Tr)이 증가할수록 모니터의 색역(gamut)이 고정되었음에도 불구하고 외광(S_R)이 모니터 상의 이미지에 더해지는 양이 증가하므로 볼 수 있는 색역(gamut)이 감소함을 볼 수 있다 (Figure 2).

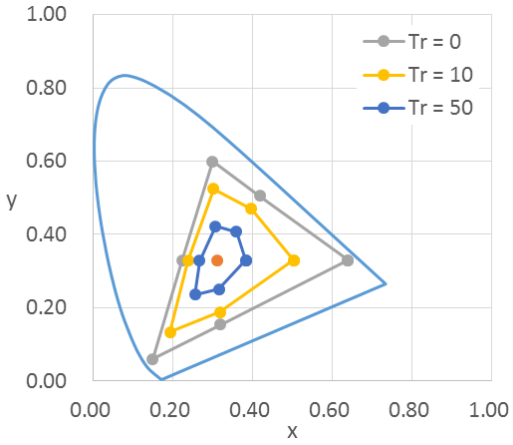

Figure 2. gamut size change by level of transmission factor with fixed surround luminance (S_R = 1.5)

투과율(Tr)이 50%로 고정되어 있을 때 외광 변화에 따른 색역 크기 변화를 보아도 외광(S_R)이 증가할 수록 볼 수 있는 색역(gamut)이 감소한다 (Figure 3).

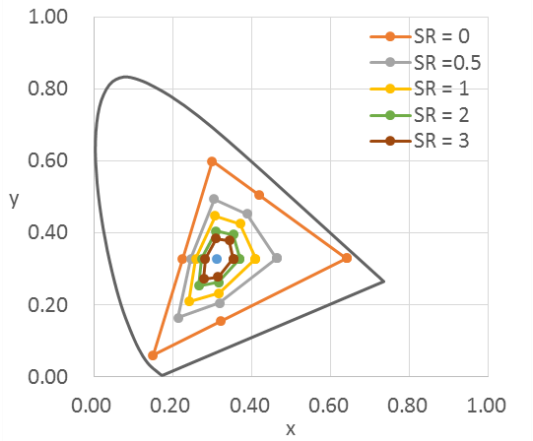

Figure 3. gamut size change by level of surround luminance with fixed transmission factor (Tr = 50%)

이는 HDTV 표준인 sRGB gamut을 가진 투명디스플레이를 옥외 광고판과 같이 모니터 백색점(white point)보다 외광(S_R)이 현저히 높은 경우에 아무리 밝은 백색점(white point)를 쓰더라도 외광(S_R)에 의한 색역(gamut)의 감소로 인해 화질 열화가 발생하며, 그로 인한 사용성이 떨어지게 된

다.

3.2 Analysis of color perception change using CIELAB color space

CIELAB은 시감 특성과 비례한 밝기 축(L*)과 색상 축(a*, b*)으로 설명 할 수 있는 3차원의 색 공간이다[2]. 색상 축을 이용하여 채도(C^*_{ab})와 색상(h_{ab})을 equation(1)로 계산이 가능하다. 디지털 값을 CIELAB으로 변화시킬 때 기준 백색점에 따라 결과 값이 달라 질 수 있는데, 외광과 투과율이 반영된 경우에는 모니터의 백색점이 아닌 '외광 x 투과율의 값이 더해진 백색점(Yn)'의 값을 기준으로 잡아 계산하였다.

$$C^*_{ab} = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$
$$h_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$$

투과율이 50%로 고정되어있을 때 외광(SR)이 변함에 따라 색상(h_{ab})이 변화하고, Red의 경우 색상이 동일한 모니터의 색 값을 가지고 있음에도 불구하고 외광이 더해질수록 인지하는 색상이 달라질 수 있다(Figure 4).

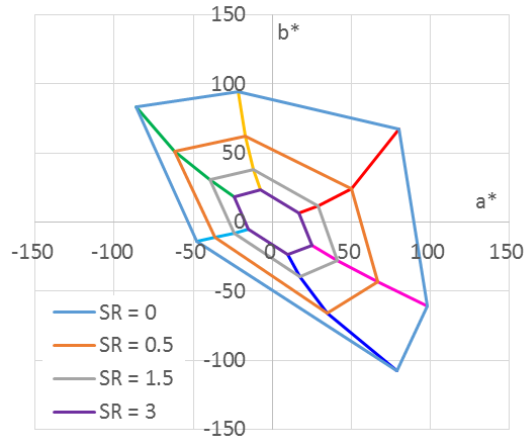

Figure 4. hue change by Surround luminance level where Transmission factor is fixed (Tr = 50%)

채도 또한 외광이 변화함에 따라 감소하고, 색상의 종류에 따라 감소하는 양이 다르다. Figure 4에서 SR이 0인 경우와 SR이 3인 경우 색역의 형태가 달라지며, 색을 표현 할 수 있는 범위에 한계가 있는 것뿐만 아니라 붉은색의 경우 다른 색상에 비해 채도 변화 폭이 훨씬 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 외광 변화는 색상 간의 채도 불균형을 발생시키며, 외광에 따른 색상 별 다른 채도 조절이 필요할 수 있다.

3.3 Tone Curve

투과율과 외광은 그 레벨에 따라 콘트라스트(Contrast) 달라진다. 계조 곡선(Tone curve)은 디스플레이의 특성이며, 이미지의 콘트라스트를 결정짓는 가장 중요한 특성이다. ITU-R BT.709에서는 감마가 2.2인 것을 권장하지만 이를 투명 디스플레이에 적용하였을 때 모니터의 계조 곡선은 고정하더라도 외광의 레벨에 따라 혹은 투과율에 따라 콘트라스트는 달라질 수 있다. Figure 5는 외광에 더해짐에 따라 모니터의 흑색점이 증가하여 이미지의 콘트라스트가 점차 감소하는 현상을 설명해 준다. 이러한 콘트라스트의 감소는 이미지의 화질 열화를 발생시키며, 동일한 영상임에도 외광에 따라 시감이 달라질 수 있음을 의미한다.

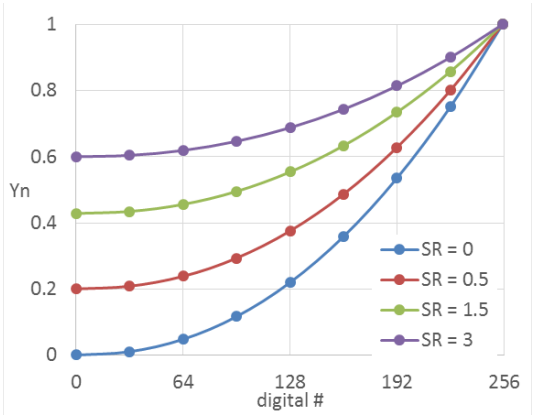

Figure 5. tone curve change by Surround luminance level where Transmission factor is fixed (Tr = 50%)

4. Conclusion

본 연구에서는 투명 디스플레이에 재현하는 영상을 볼 때 외광과 설정된 투과율에 따라 모니터에 재현되는 컬러 인지에 어떤 영향을 미칠 수 있는지 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 외광이 증가하거나 투과율이 증가하면, 모니터를 통해 볼 수 있는 색역이 감소하고, 색상이 틀어지며, 색상별 감소하는 채도의 폭도 달라져 채도 불균형이 일어날 수 있음을 보였다. 또한 외광이 증가하여 모니터의 흑색점이 더 이상 검게 보이지

않게 되며 영상의 콘트라스트를 감소하여 화질 열화를 발생시킬 수 있음을 보였다.
예측 가능한 시감 저하 요인들은 디스플레이의 품질과 직결되는 만큼 개발단계에서부터 고려해야 하며, 다양한 연구를 통해 보완, 발전 시켜야 함을 볼 수 있다.

다만 이러한 결과들은 가장 이상적인 상태에서 시뮬레이션 한 결과이며, 실제 투명디스플레이 패널을 사용할 경우 영상의 종류에 따라 사용처에 따라 결과가 다를 수 있고, 외광이 두 곳 이상에서 비춰질 경우에는 다른 결과를 얻을 수도 있다. 따라서 추후 연구로써 이러한 요인들을 반영한 시뮬레이션 결과를 분석할 필요가 있으며, 실제 투명디스플레이에서 보는 것과 어떠한 차이가 있는지 확인할 필요가 있다.

Acknowledgements

This work was funded by grants from WISET regional agency of ULSAN (A005900376).

References

Tang, C.W. and VanSlyke S.A., Organic electroluminescent diodes, *Applied Physics Letters*, 51(12), 913-915, 1987.

Hunt, R.W.G. and Pointer, M.R., *Measuring Colour*,4th ed, John Wiley & Sons, 2011

Author listings

Sooyeon Lee: sylee31@unist.ac.kr

Highest degree: BSc, Department of Systems Engineering, SKKU
Position title: Ph.D student, Department of Human and System Engineering, School of Design and Human Engineering, UNIST
Areas of interest: Image Quality and Appearance

Hyeyoung Ha: qksekfrha555@naver.com

Position title: Undergraduate student, School of Design and Human Engineering, UNIST
Areas of interest: color perception

Semin Oh: semgood@naver.com

Highest degree: BSc, School of Design and Human Engineering, UNIST
Position title: Master Student, Department of Human and System Engineering, UNIST
Areas of interest: Affective Engineering

Jungmin Im: wjdals0928@unist.ac.kr

Position title: Undergraduate student, School of Design and Human Engineering, UNIST
Areas of interest: Affective Engineering

Youngshin Kwak: yskwak@unist.ac.kr

Highest degree: Ph.D, Colour & Imaging Institute, University of Derby, UK
Position title: Associate Professor, School of Design and Human Engineering, UNIST
Areas of interest: human color perception, color emotion, visual appearance