

OLED 소자의 수명 평가법에 관한 연구

-A study on the method of OLED device's lifetime test-

최영태* · 조재립**

Young-Tae Choi* · Jai-Rip Cho**

Abstract

According to the Korea Agency for Technology and Standards under the Commerce Ministry, OLED device's lifetime is defined 50% drop of luminance.

OLED device is self-emitting operating device, that means it becomes different color between pixels under using environment. That's reason of the different luminance drop ratio & chromaticity coordinates shift ratio with time. The problem is there is not recovered after luminance drop and color shift. We can recognize the difference of color as image sticking. First we studied when human recognize the difference of color and second we apply the method of OLED device's lifetime test that's able to check different color between pixels.

Keywords: OLED, Lifetime, Image Sticking

1. 서론

1.1 연구의 목적

산업자원부 기술표준원에서 정의한 OLED 소자의 휘도 수명 기준은 초기 휘도 대비 50%의 휘도로 감소될 때까지의 시간이다. 이는 통상적으로 브라운관, PDP, LCD 등의 디스플레이(display)의 수명을 정의할 때 사용된다.

* 삼성모바일디스플레이

** 경희대학교 테크노공학대학

OLED 소자와 같이 화소(pixel)가 독립적으로 발광하고 열화하는 디스플레이에 대해서는 휘도 반감 수명 외에 잔상에 대한 기준이 추가적으로 마련된 필요가 있다. 화소(pixel)가 독립적으로 발광하는 디스플레이는 사용 환경에 따라서 동일 디스플레이 내에서 주변 화소와 밝기 또는 색감의 차이가 발생할 수 있다.

주변 화소와의 밝기의 차이는 휘도 차이로 나타날 수 있다. 휘도 차이는 특정 위치에 있는 화소가 일정 시간동안 발광하였을 때 상대적으로 발광하지 않은 주변 화소에 비하여 열화가 빨리 진행된 결과이다. 열화가 진행된 화소는 휘도가 낮아지고 열화가 진행되지 않은 화소는 휘도가 처음과 가까운 상태로 유지되어 열화가 진행된 화소와 비교해서 상대적으로 높은 휘도가 되어 열화가 진행되지 않은 화소와 휘도차가 발생하게 된다. 이와 같은 이유로 OLED 소자로 만들어진 디스플레이에서 특정 이미지를 장시간 구현하고 난 후 전체화면을 백색으로 구동하면 특정 이미지의 밝기에 따라 열화가 진행되어 잔상으로 남게 된다.

또한 색감의 차이는 색좌표 차이에 의해서 나타난다. 색좌표의 차이는 동일한 색깔로 구동하였는데 다른 서로 다른 색깔로 보이는 경우이다.

이것은 칼라(color)별 재료의 수명이 동일한 경우는 white가 전체적으로 어두워져 주변 화소와 차이가 나게 되고, 재료별 수명이 동일하지 않고 어떤 색에 대해 수명이 짧거나, 한 가지 색에 많이 노출된 경우에는 그 색깔의 휘도가 낮아져서 white balance가 맞지 않게 된다. 이때 주변 화소와 색차이가 발생하게 되는데 이런 현상을 잔상(image sticking)이라고 한다.

잔상은 일정시간동안 디스플레이 표시를 행하고, 디스플레이 화면을 전환할 때 표시 정보부분이 소거되지 않고 남아 있는 것으로서 표시화면 입력전환 후 경과시간이 장시간 지남에도 소실되지 않는 현상으로 초기휘도상태로 회복되지 않는 현상이다.

특정 화소에서 잔상이 발생한 후 원복되지 않는 OLED 소자의 특성은 백라이트를 사용하는 LCD나 잔상 발생 후 복원되는 PDP 등의 일반적인 디스플레이와는 다르다.

그러므로 OLED 소자의 수명은 일반적인 휘도 잔존률 50%의 기준 뿐만 아니라 잔상까지 휘도 수명의 기준으로 정립되어야 할 필요성이 있다. 그러므로 본고에서 잔상에 대한 기준 및 평가법에 대해서 제안하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 최근 디스플레이 장치로써 이동전화기, 카메라, 멀티미디어 플레이어 등에 등장한 OLED 소자 수명에 대한 기준이 OLED 소자의 특성에 맞지 않는 기존의 디스플레이의 기준으로 적용되고 있어 올바른 수명 평가 기준 및 평가법을 정립하고자 하였다. 이를 수행하기 위해서 OLED소자의 열화 원리에 대해서 문헌 조사를 실시하였다. 그리고, 열화 메커니즘을 이해한 후 열화가 진행되어 휘도 및 색좌표 차이를 가지는 다양한 시료를 만들어서 여러 계층의 사람들에게 시연하여 인지되는 수준을 관찰하였다. 시료는 이미지와 감마를 조절하였다. 실험대상은 직업과 나이를 균으로 하였다.

실험결과로부터 휘도에 따른 인지율, 칼라에 따른 인지율, 휘도와 칼라에 따른 인지율을 분석하여 잔상에 대한 수명의 기준을 정립하는 결론을 유도하였고, 기준을 평가하기 위한 적절한 평가법에 대해서도 제안하였다. 또한 본 연구를 바탕으로 추가적으로 진행되어야 할 연구에 대한 방향을 제시하였다.

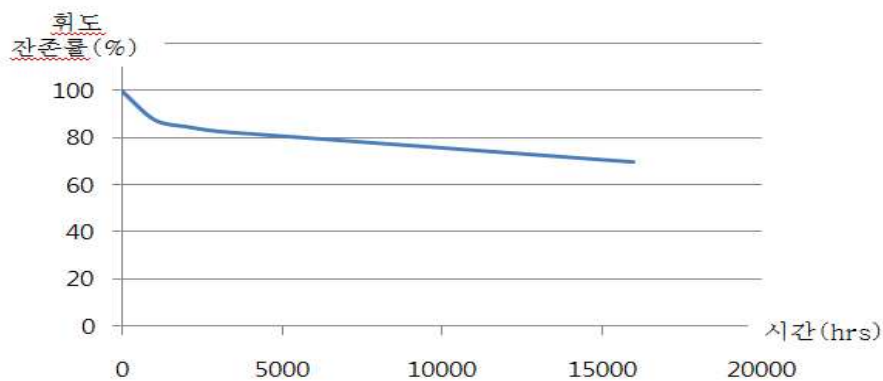
2. 이론적 배경

2.1 OLED 열화 및 수명곡선

양극(anode)의 표면 균일도(surface roughness), 일함수(work function), 표면 오염도의 영향으로 열화가 발생한다. 양극 유기층(anode-organic layer)의 ITO 오염(indium-tin-oxide contamination), 산소의 확산(oxygen diffusion), 계면 상태 (interface contact status) 등이 열화의 원인이 된다.

OLED 소자는 발광효율을 높이기 위해 전자와 정공의 균형을 맞추는 다층 구조로 되어 있고, 양극 전극 및 음극 전극에서 전자와 정공이 끊임없이 주입되어 박막(thin film) 상태의 유기물질을 1초에 약 10억 번 이상 들뜨게 만든 후 빛을 생성시키는 원리로 동작한다.

OLED 소자의 열화는 다층 구조를 구성하고 있는 재료 자체의 불안정성은 유기물질의 전기화학적 불안정성에 의한 여기상태(excited state)에서 반응(reaction)이다. 여기상태의 유기 분자가 불안정하여 다른 구조로 변성되어 이웃하는 분자와 서로 반응을 일으켜 발광 기능이 없는 구조로 전환될 경우 이러한 부분이 발광억제부분(luminescent quenching site)로 작용하여 소자의 수명은 급속히 저하된다. 그리고, 다층막 구조로 인한 유기 박막과 투명 양극전극 또는 금속 음극전극 사이의 근본적으로 좋지 않은 계면의 접착력이 요인이 될 수 있다. 구동 전압 및 온도가 높을 경우 계면의 전압 차이 및 서로 다른 열팽창 계수 때문에 발생하는 층간 분리가 OLED 소자의 열화 원인이 된다.



<그림 1> OLED 소자의 수명곡선

OLED소자의 열화는 초기에 급격하게 진행되고 시간이 지남에 따라서 점차적으로 완화된다. 이렇게 열화되는 현상을 수명이라고 하고, 그래프로 나타내면 <그림1>와 같다. 초기에 급속하게 휘도가 떨어지는 것을 방지하기 위해서 일반적으로 에이징(aging) 처리한다.

2.2 White balance

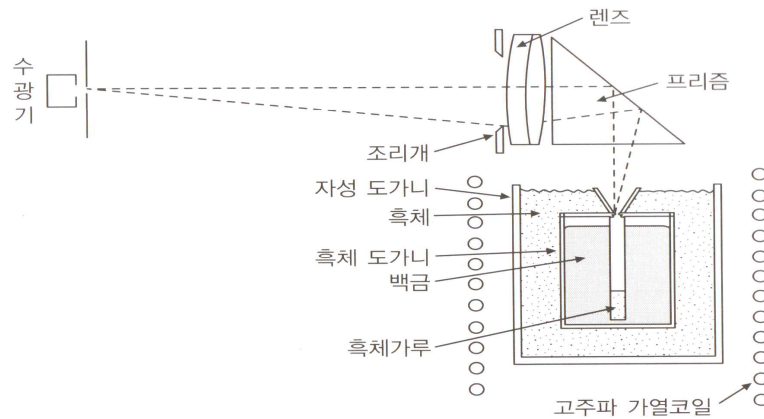
2.2.1 휘도

밝기를 나타내는 용어로 휘도, 조도, 광도, 채도, 명도 등이 있다. 일반적으로 많이 사용되는 조도는 조명을 받는 대상체가 얼마나 밝은 조명을 받고 있는지를 나타내고, 휘도는 조명을 하는 발광체가 얼마나 밝은 빛을 내고 있는지를 나타낸다. 예를 들어, 백열전구 하나로 조명을 할 때보다 백열전구 10개로 조명을 하면, 조명을 받는 예로 책상의 조도는 높아지나 백열전구의 각각의 휘도는 변화가 없다. 일반적으로 조명기기의 규격에 휘도가 아닌 조도(lux)라고 표기하는데 이것은 조명의 목적이 조도를 높이기 위한 것이기 때문이다.

디스플레이의 밝기를 나타내는 용어로는 휘도를 사용한다. 휘도는 면광원, 즉 일정한 넓이를 가진 표면이 스스로 빛을 내거나 투과, 혹은 반사하는 빛의 밝기를 뜻한다. 단위는 '단위면적 당 광도'라는 뜻으로 평방미터당 칸델라(candela per square meter)를 사용하며, cd/m^2 로 표기한다.

빛의 밝기를 정량적으로 측정하는 것을 측광량(photometry)이라고 하고, 측광에 의해서 얻어진 규격화된 밝기를 측광량(photometric quantity)라고 한다. 측광량의 단위인 cd/m^2 는 휘도의 SI 단위이다. 니트(nit, 약자 nt)라는 단위로도 불리며, 줄여서 스틸브(stilb, 약자 sb)라는 단위를 사용하기도 한다. 측광량은 초기에는 고래기름으로 규격화된 초(candle)를 만들어 이 초를 태울 때 발하는 빛을 표준으로 하였으나, 이것은 현재의 단위 candle, candela 등의 명칭으로서 그 이름만 남기고 있다. 그 후, 보다 안정된 펜탄(pentance)등을 표준으로 하였던 시대가 있었고, 계속하여 다음과 같이 더욱 정밀한 표준이 설정되었다. 칸델라는 광도의 표준 및 물체의 측색의 표준이 되는 광원을 말하며, 광도의 제 1기준은 1948년부터는 1cd를 "101325 Pa(1 기압)의 압력 조건 하에서 백금의 응고온도(2042 K)에 있는 흑체의 $1/60 \text{ cm}^2$ 의 표면의 수직 방향에서의 광도"라고 정의하였다. <그림 2>은 이 정의에 따라 광도의 표준을 실현한 표준기의 구조를 나타낸다(Wyszecki and Stiles, 1982). 제 2기준은 1979년에 1cd를 " $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ (약 555nm와 동등, $V(\lambda)=1.0$ 의 파장에 상당)의 $1/683 \text{ 와트(W)}$ 의 단색광이 방사된 방향에서의 광도"라고 개정되었다.

이와 같이 측광량의 표준 또한 초라고 하는 구체적인 것으로 출발하여 결국은 단색광의 방사량으로 정의함으로써 그 정밀도가 높아졌다. 하지만 광도 표준을 산업계에서 재현하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 각국의 국립 연구소가 교정한 측광 표준 광원(전구)을 제공하고 있다.

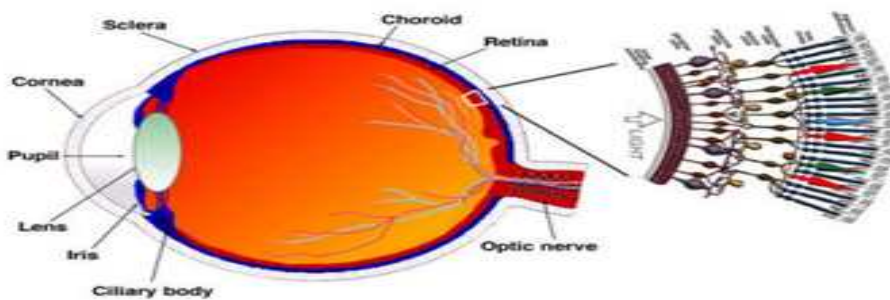


<그림 2> 광도 표준기(Wyszecki and Stiles, 1982)

2.2.2 색좌표

색좌표란 측정 컬러의 색도(chromaticity)를 2차원 평면 상에 간단하게 나타낸 것이다. 색도좌표에 대한 국제표준은 1931년에 밝기를 나타내는 국제조명위원회(CIE, Commission Internationale de l'Eclairage)에서 1931년 승인된 XYZ Color System을 기본으로 한 CIE XY 색도좌표를 사용하고 있다. 지금은 1976년에 개정된 CIE u'v' 색도좌표와 함께 혼용하여 사용하고 있다.

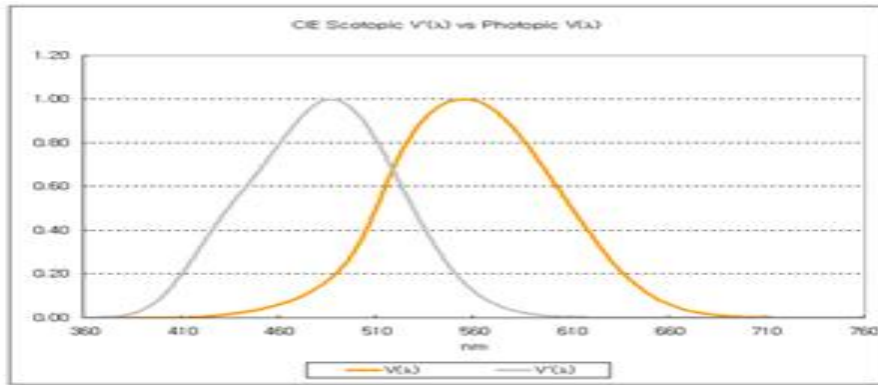
국제조명위원회에서 승인된 1931년에 XYZ 컬러 시스템은 인간의 눈이 다양한 컬러에 대해 반응하는 특성을 그대로 담고 있다. 인간의 눈은 아래의 그림에서와 같이 각막(Cornea), 동공(Pupil), 홍채(Iris), 수정체(Lens), 망막(Retina) 등으로 구성되어 있다.



<그림 3> 눈의 구조

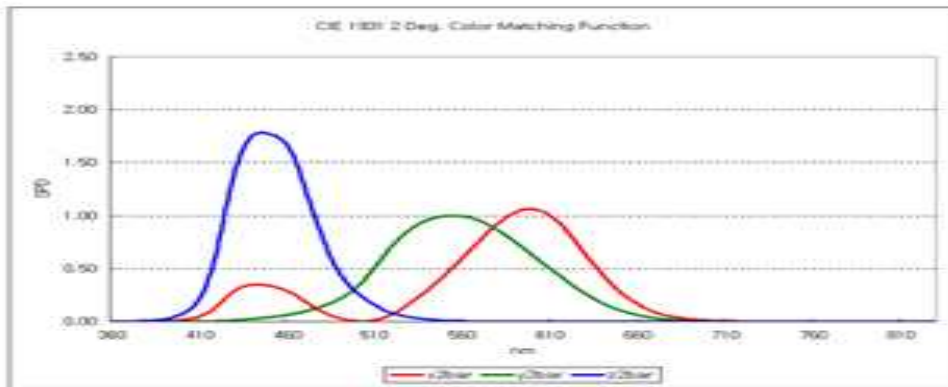
영상이 맺히는 망막에는 위 그림의 우측과 같이 망막세포들이 있는데 여기에는 간상체(rod)와 추상체(cone)라는 두 가지 종류의 광 수용기(photo receptor)가 있다. 간상체는 어두운 조도 하에서 작동하며 이때의 시각 활동을 암소시(scotopic vision)라고 하며, 추상체는 밝은 조도 하에서 작동하기 때문에 이를 명소시(photopic vision)라고

한다. 이 암소시와 명소시에 따라 인간의 눈으로 볼 수 있는 파장대가 달라지게 된다. 추상체 중에는 긴 파장(Long wavelength)에 민감하게 반응하는 것과 중간 파장(Middle wavelength)에 반응하는 것, 그리고 짧은 파장(Short wavelength)에 반응하는 3가지 종류가 있다. 이들 추상체를 각각 L, M, S 추상체라고 부르게 되었는데, 다른 말로 하자면 L, M, S 추상체들은 각각 Red(장파장), Green(중파장), Blue(단파장)에 가장 민감하게 반응한다고 할 수 있다.



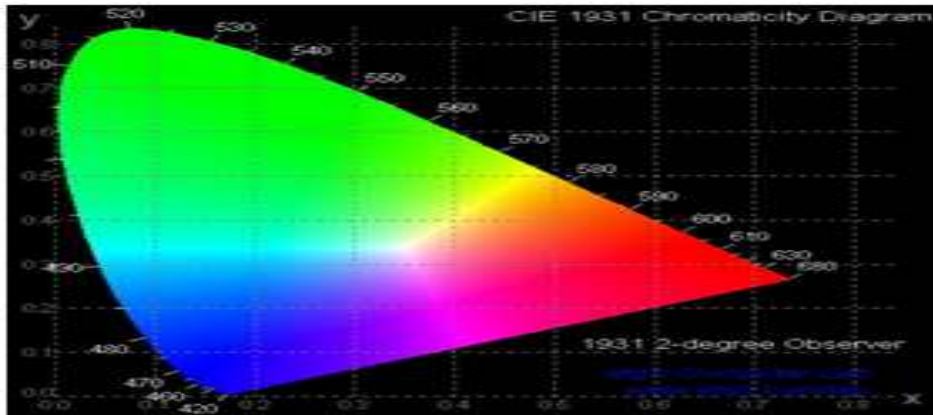
<그림 4> CIE 1924 시각효율함수 (암소시와 명소시)

이렇게 RGB 3원색에 반응하는 인간의 시각적 특성으로부터 색체계(Color System)를 유도하기 위하여 색일치(color matching) 실험이 1920년대에 이루어졌다. 가시광선 영역(380~780nm)에서 각각의 스펙트럼별(파장대별) 단색과 RGB 3원색의 혼합으로 만들어진 색이 일치할 때까지 3원색의 배합을 조절하는 실험이다. 아래의 <그림 5>의 색일치함수(color matching function)에 의해 어떤 컬러의 스펙트럼을 측정함으로써 그 컬러가 우리의 눈에 평균적으로 어떻게 보일지 알 수 있다.



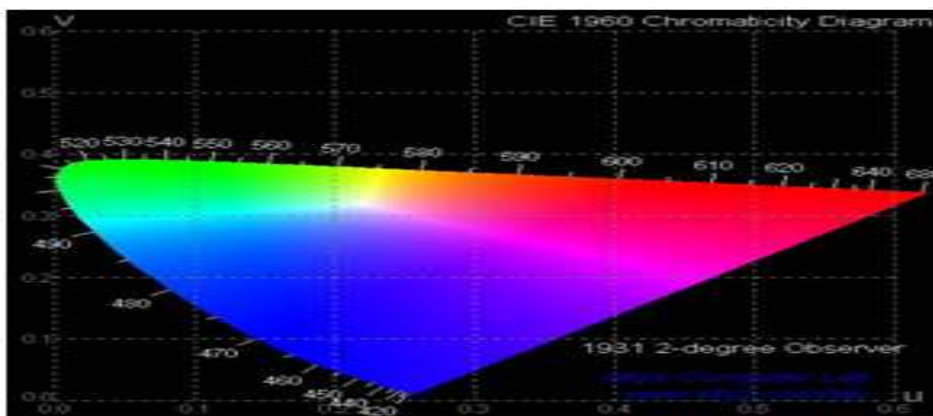
<그림 5> CIE 1931 표준관찰자 (2도 시야)에 의한 색일치함수

<그림 5>의 색일치 함수로부터 RGB 3원색에 대응하는 인간의 시각특성인 3차극치 XYZ를 계산할 수 있는데, 이렇게 계산된 특정 컬러의 색도(chromaticity)를 2차원 평면에서 간편하게 나타낸 것이 <그림 6>과 같은 CIE xy 색도좌표(chromaticity diagram)이다. 2차원 평면에 표시한 것이라 빛의 밝기에 대한 정보는 없고 색에 대한 정보만 제공한다.

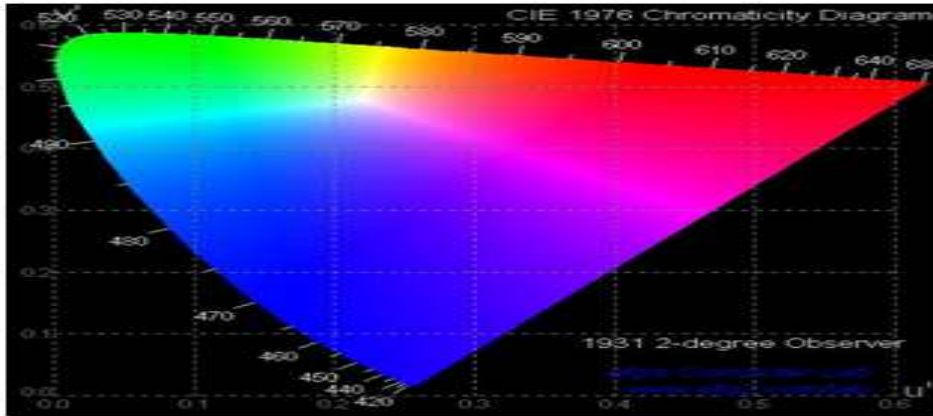


<그림 6> CIE xy 색도좌표 (1931)

하지만 이 CIE xy 색도좌표는 좌표 위에 표시된 색들 간의 차이가 균일하지 못한 것으로 밝혀져 이후 몇 차례에 걸쳐 개선이 이루어지게 된다. 1931년에 표준으로 채택된 말굽 모양의 길쭉한 색도좌표는 1960년대에 와서 아래의 <그림 8>과 같이 좌우로 길쭉한 모양의 CIE uv 색도좌표로 바뀌었다. 하지만 이것도 충분한 균일성이 확보되지 못했다고 하여 1976년에 <그림 9>과 같은 정삼각형에 가까운 CIE u'v' 색도좌표가 표준으로 채택되게 된다.



<그림 7> CIE uv 색도좌표 (1960)

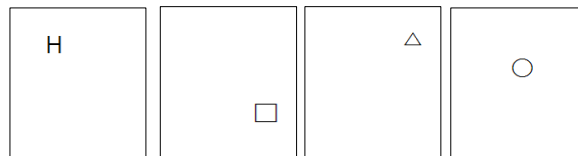


<그림 8> CIE u'v' 색도좌표 (1976)

3. 실험방법

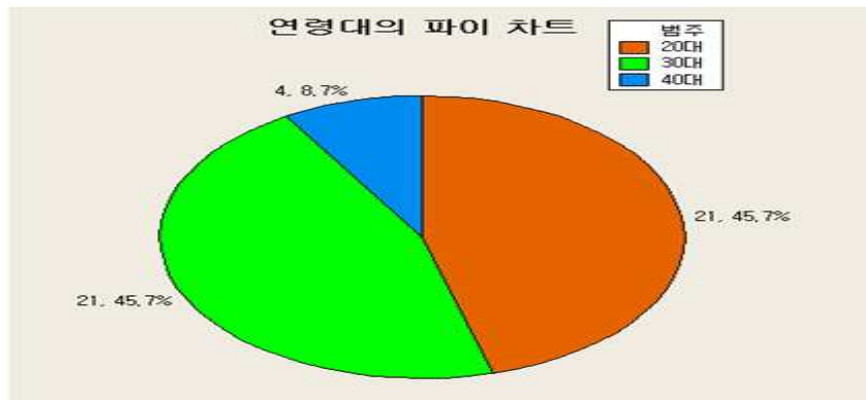
OLED 소자는 앞에서 설명한 것과 같이 자발광 소자로써 화소가 독립적으로 구동하기 때문에 각각의 열화 정도에 따라 잔상으로 인한 주변 픽셀과의 색의 차이가 존재할 수 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 원인은 white의 휘도차이 또는 white를 구성하고 있는 단색 red, green, blue의 balance가 맞지 않기 때문이다. White balance가 맞지 않게 되는 이유는 white 휘도차이, 또는 red, green, blue의 단색 휘도 차이에 의한 색좌표 이동 때문이다.

이와 같은 이유로 인하여 휘도와 컬러의 두 가지의 차이를 가지고 여러 가지 경우의 실험을 진행하였다. 먼저, 사람이 인지하는 휘도 차이를 알아보기 위해 휘도가 1%~3%의 차이를 실험 하였고, 컬러별로 인지력에 차이가 있는지에 대해서 실험을 하였다. 그리고 휘도 & 컬러 변화 관계, 휘도별에 따른 시인성 차이, 패턴에 따른 시인성 차이, 모양에 따른 시인성 차이에 대해서도 실험을 진행하였다.



<그림 9> 시험용 사용 이미지

테스트 인력은 OLED 소자의 화질평가에 관계가 없고 20대에서 40대까지 휴대폰을 사용하는 연령을 선택하여 총 46명에 대한 시인성 테스트 진행하였다.

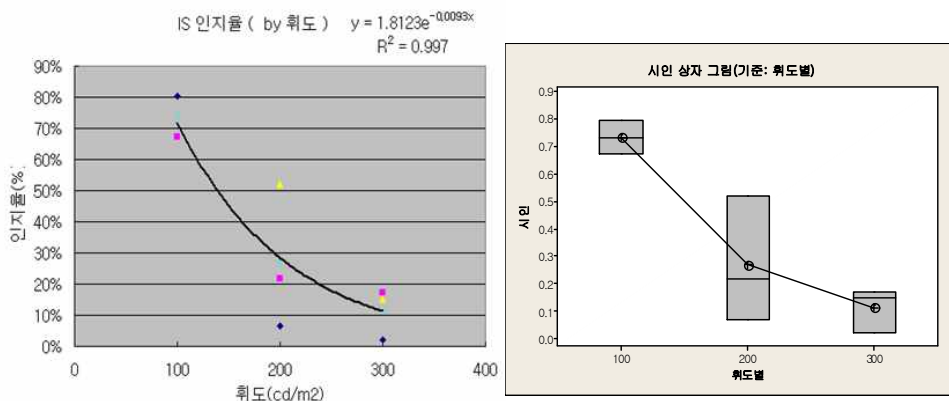


<그림 10> 연령별 시험 참여 인원비율

4. 실험 및 결과

4.1 휘도 level에 따른 잔상 인지

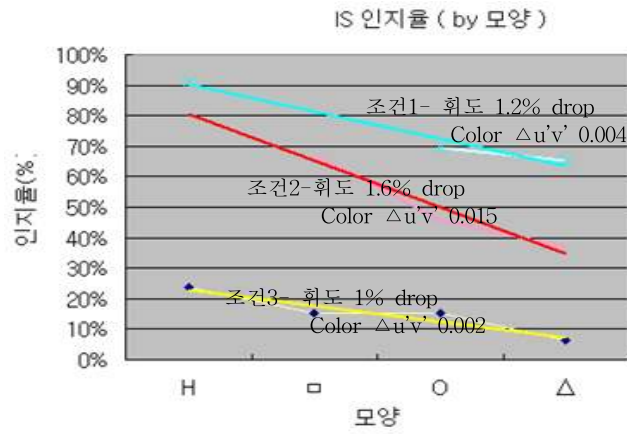
동일한 휘도변화율(%)의 차이가 날 경우에는 높은 휘도로 갈수록 인지력은 떨어진다. 즉, 300cd/m²에서 2%인 6cd/m²의 변화보다 100cd/m²에서 2%인 2cd/m²의 휘도 변화가 사람의 눈에 더 쉽게 인지된다.



<그림 11> 휘도 level에 따른 인지율

4.2 모양에 따른 잔상 인지

변화량에 상관없이 H > □ > ○ > △ 순으로 사람의 눈에 인지된다. 즉, Text > Icon & Graphic > 동영상 순으로 인지된다.

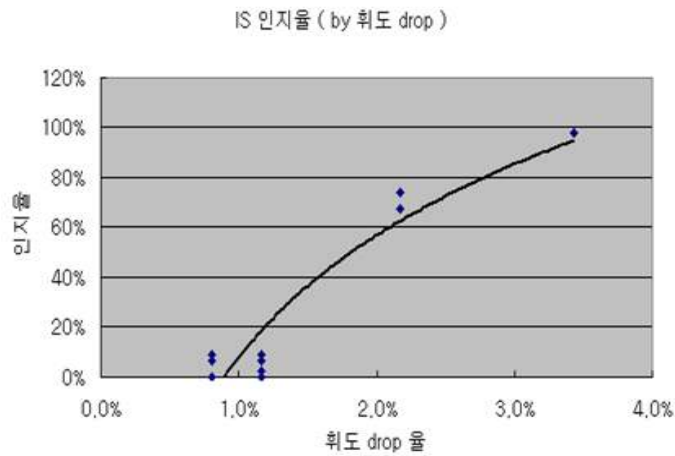


<그림 12> 모양에 따른 잔상 인지율

4.3 휘도변화율(%)과 Color변화에 따른 잔상 인지

4.3.1 휘도변화에 따른 인지

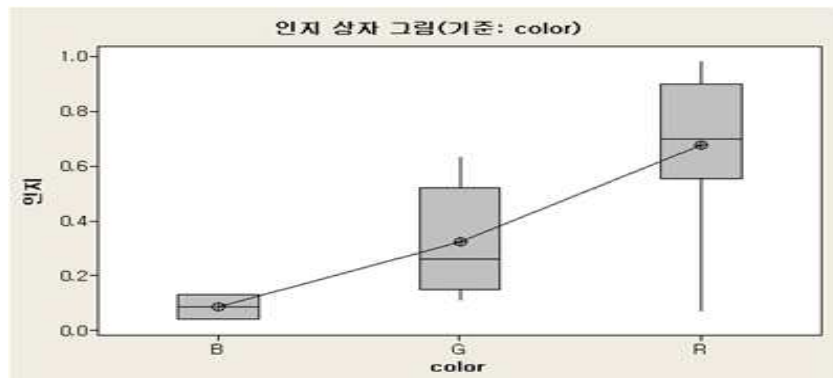
Color가 변하지 않고 휘도만 변할 때의 인지력에 대한 시험결과는 휘도 변화율은 약 2% 시점에서 약 50%의 사람이 인지하기 시작한다.



<그림 13> 휘도변화에 따른 인지율

4.3.2 Color에 따른 인지

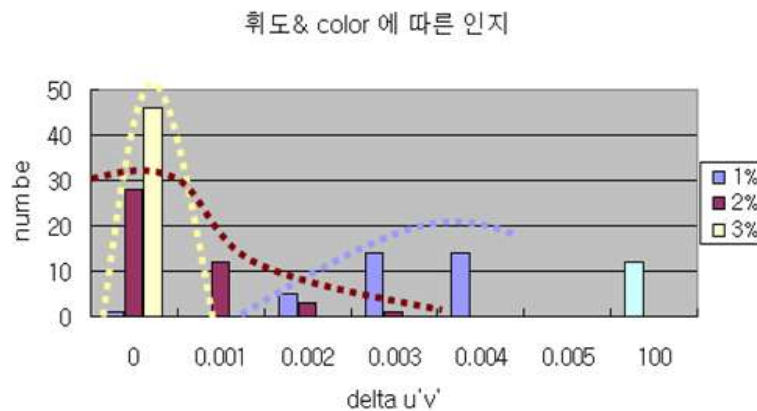
Color에 따라 동일한 비율로 휘도가 변할 때는 Red > Green > Blue 순으로 사람의 눈에 인지가 된다.



<그림 14> Color 에 따른 인지율

4.3.3 휘도변화율(%)과 Color 변화에 따른 잔상 인지

휘도 1%가 변할 때 color 변화는 0.004, 휘도 2%가 변할 때 color 변화는 0.001, 휘도 3%가 변할 때 color 변화는 0.000을 벗어나면 50% 이상의 사람이 인지한다.



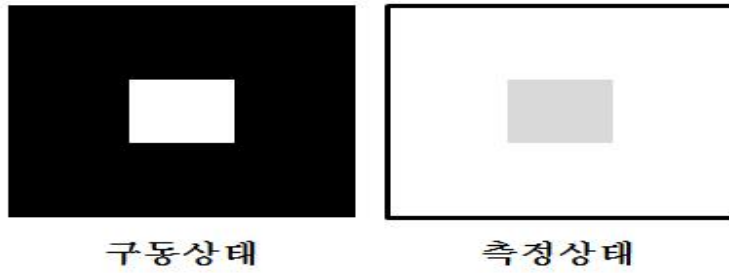
<그림 15> 휘도변화율(%)과 Color변화에 따른 잔상 인지율

5. 결론

위 실험결과를 정리해보면, 사람은 휘도와 색좌표의 변화에 비교적 민감하게 반응을 한다. 특히 LCD와 달리 OLED와 같이 화소별로 독립적으로 발광하는 OLED 소자의 수명은 일반적인 디스플레이 수명인 초기 휘도 대비 50% 휘도인 시점을 평가하는 것 외에 추가적으로 잔상 발현 시점도 의미가 있다.

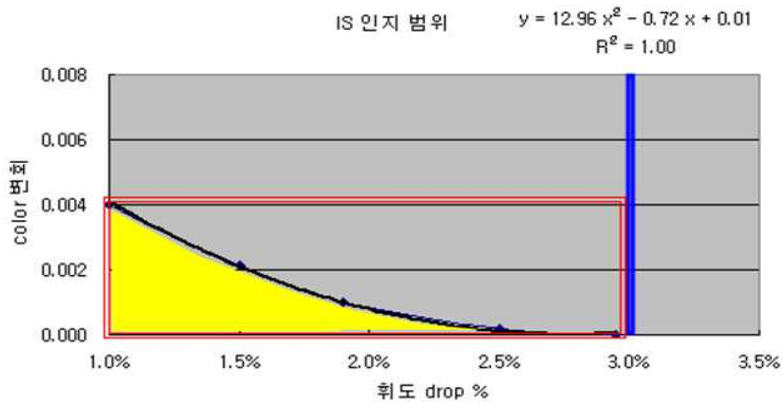
잔상을 평가하기 위한 시험방법으로는 <그림 16>과 같이 디스플레이에 열화가 가장 빨리 발생하는 white와 열화가 거의 진행되지 않는 black을 사용한 이미지를 사용하여

정해진 시간동안 구동시킨 후 전체를 white 상태로 구동하여 white로 구동되었던 부분과 black 상태로 구동되었던 부분의 휘도와 색좌표를 측정하여 black으로 구동되었던 부분의 휘도와 색좌표 대비하여 white로 구동되었던 휘도와 색좌표 변화율을 계산하면 된다.



<그림 16> 디스플레이 잔상평가용 image

잔상 발현 시점에 대한 기준은 위 실험결과에 의하여 사람이 인식하는 아래 <그림 17>의 영역과 같이 휘도1% 변화/색좌표 $\Delta 0.004$, 휘도 2% 변화/색좌표 $\Delta 0.001$, 휘도 3% 변화/색좌표 $\Delta 0.000$ 의 범위가 되고, 잔상에 대한 수명은 제안한 범위에 도달하는 시간으로 제안한다.



<그림 17> OLED 잔상 수명 기준(案)

디스플레이의 수명은 사용하는 어플리케이션(application)에 따라서 환경이 상이하다. 휴대폰, 노트북, TV의 경우에는 동일한 디스플레이를 사용하더라도 주로 사용하는 색상이 다르고 고정적인 이미지를 사용하는 빈도에도 차이가 난다. 그러므로 어플리케이션별로 별도의 기준이 필요한 것으로 사료된다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 김진성. 「」“유기발광소자의 퇴화에 관한 연구.” “석사학위논문.” 중앙대학교 대학원, 2003.
- [2] 신동원. 「」“유기 메모리 발광 소자 제작 및 특성 평가.” “석사학위논문.” 한양대학교 대학원, 2007.
- [3] 이종범. 「」“환경물질을 제외한 전자부품의 신뢰성평가 방법 연구 : Pb와 Br을 제거한 PWB를 중심으로.” “박사학위논문.” 경희대학교 대학원, 2005.
- [4] 이황직. 「」“OLED 발광물질을 위한 2-Thio-EDOT 유도체들의 합성.” “석사학위논문.” 명지대학교 대학원, 2007.
- [5] 토비타 미찌아키(飛田 道昭)타츠로(石飛 達郎), 시렌 카즈시(枝連 一志), 나카야 타다오(仲矢 忠雄)이시토비. 「」“고분자 OLED 재료의 개발.” “Monthly “Display”, TechnoTimes of Japan” (TechnoTimes of Japan), September 2005.
- [6] 양중환, 윤종근, 「」“AMOLED 불량 및 신뢰성 평가”, Information Display, 2007.
- [7] 김동철. 「」“신뢰성 보증시스템에 관한 연구.” “박사학위논문.” 성균관대학교 대학원, 2007.
- [8] AzizD. Popovic and HanyZoran. “Reliability and Degradation of Small Molecule-Based Organic Light-Emitting Devices (OLEDs).” IEEE JOURNAL ON SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 8, NO.2, 2002.
- [9] Chan, H. Anthony (EDT)/ Englert, Paul J. (EDT). AcceleratedStressTesting Handbook.WILEY,2004.
- [10] D.PopovicAziz and ZoranHany. “Degradation Phenomena in Small-Molecule Organic Light-Emitting Devices.” American Chemical Society, 2004.
- [11] OhtaNoboru. “色彩工學(Color Engineering).” 국제, 2003.
- [12] PopovicAziz* and Zoran D.Hany. “Degradation Phenomena in Small-Molecule Organic Light-Emitting Devices.” 2660 Speakman Drive, Mississauga, Ontario, Canada L5K 2L1: Xerox Research Centre of Canada, 2004.
- [13] Wayne B. Nelson, “Accelerated Testing - Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis.” WILEY INTERSCIENCE, 2004.