

화소 밀집도, 화소 하부구조, 휘도, 조명 조도가 스마트폰 가독성에 미치는 영향

The effects of pixel density, sub-pixel structure, luminance, and illumination on legibility of
smartphone

박종진* · 이형철*† · 김신우*†

JongJin Park* · Hyung-Chul O. Li*† · ShinWoo Kim*†

*광운대학교 산업심리학과

*Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

Abstract

Since the domestic introduction of iPhone in 2009, use of smartphones rapidly increased and many tasks, previously performed by various devices, are now performed by smartphones. In this process the importance of reading little text using small smartphone screen has become highly significant. This research tested how display factors of smartphone (pixel density, sub-pixel structure, luminance) and environmental factor (illumination) affect legibility related discomfort in text reading. The results indicated that legibility related discomfort is largely affected by pixel density, where people experience inconvenience when the pixel density becomes lower than 300 PPI. Illumination has limited effect on legibility related discomfort. Participants reported more legibility related discomfort when stimulus presented in various levels of illumination rather than single illumination level. Sub-pixel structure and luminance did not affected legibility related discomfort. Based on the results we suggest lower limit resolution of smart devices (smartphones, tablet computers) of different sizes for text legibility.

Key words: Perceived discomfort measure, smart phone, legibility, pixel density

요약

2009년 아이폰의 국내 출시 이후 스마트폰의 보급이 급격히 증가하여 기존에 다양한 장비로 수행되어 오던 작업이 스마트폰으로 대체되었다. 이 과정에서 스마트폰의 작은 화면을 통하여 글자를 읽는 과제를 수행하는 비중이 상당히 증가하였다. 본 연구에서는 일상적인 스마트폰 사용 환경에서 디스플레이 요인(화소 밀집도, 화소 하부구조, 휘도)과 환경 요인(조명 조도)이 글자를 읽을 때의 가독성 관련 불편감에 어떤 영향을 미치는지를 확인하였다. 그 결과 지각된 가독성 관련 불편감에 영향을 미치는 것은 주로 화소 밀집도로, 화소 밀집도가 300 PPI 미만인 경우 글자를 읽는데 불편함을 느낀다는 것을 확인하였다. 조명 조도는 제한적인 영향을 보였다. 참가자들은 조명 조도가 변화할 때 변화하지 않을 때 보다 더 큰 가독성 관련 불편감을 보고하였다. 화소 하부구조와 밝기는 가독성 관련 불편감에 영향을 미치지 않았다. 이 결과를 바탕으로 가독성을 고려할 때 다양한 크기를 가지는 스마트 기기(스마트 폰, 태블릿 컴퓨터)에서 가독성을 해치지 않는 해상도의 하한선을 제안하였다.

* 본 연구는 2014년도 광운대학교 교내연구비 사업(이형철)의 지원을 받아 수행되었음.

† 교신저자 : 이형철, 김신우 (광운대학교 산업심리학과)

E-mail: hyung@kw.ac.kr, shinwoo.kim@kw.ac.kr

TEL: 02-940-5425, 02-940-5421

FAX: 02-940-5420

주제어: 인지적 불편감 측정, 스마트폰, 가독성, 화소 밀집도

1. 서론

2009년 애플 아이폰의 국내 출시 이후로 스마트폰 보급이 급격히 증가하였다. 이런 추세는 계속 이어져 2014년 현재 스마트폰을 사용하는 것은 일상적인 일이 되었다. 스마트폰 사용이 확산되면서 기존에 사용하던 다양한 목적의 디지털 기기가 스마트폰으로 통합하게 되었는데, 이는 스마트폰이 개인화된 휴대용 컴퓨터이면서 통신 기기의 역할을 수행할 수 있기 때문이다. 이런 사실은 기존에 존재하던 다양한 디지털 기기(MP3 플레이어, 전자책 리더기, 전자 사진, 데스크탑 컴퓨터 등)가 스마트폰에 의하여 대체되었다는 스마트폰 사용 현황 통계에서도 확인할 수 있다(한국인터넷진흥원, 2012).

스마트폰 서비스 이용 현황 통계를 살펴보면 스마트폰을 사용하면서 수행하는 작업은 대부분 글자 읽는 과제를 포함한다. 한국 인터넷 진흥원의 2012년 스마트폰 서비스 이용 현황 조사에 따르면, 스마트폰 사용 상위 열세 가지 항목 중 글자를 읽는 과제를 포함하는 항목은 여섯 항목이다(달력/일정관리, 모바일 인스턴트 메신저, 기타 정보검색 및 웹서핑, 뉴스, 이메일, 연락처/명함). 또한 글자를 읽는 것과 낮은 관련성을 보이는 일곱 가지 항목 중 지속적으로 화면을 보는 항목은 게임/오락, 동영상의 두 항목 뿐이며 나머지 항목은 휴대성과 인터넷 연결의 장점을 살린 일상적인 정보 열람 서비스의 성격을 띤다(알람/시계, 날씨, 지도서비스, 음악 듣기 및 다운로드, 대중교통 정보). 이는 동영상 감상, 게임/오락과 더불어 글자를 읽는 것은 스마트폰을 사용할 때 보편적으로 수행하는 과제라는 것을 시사한다.

그러나 스마트폰은 기존에 글자를 읽는 과제를 수행하는데 사용되던 기기들과 다른 특성을 가지고 있다. 이런 차이는 크게 다른 기기와는 다른 디스플레이 특성을 가지고 있다는 점과 여러 환경에서 사용된다는 특성에서 기인한다. 첫째, 스마트폰 디스플레이는 휴대용 기기라는 스마트폰의 특성에 따른 제한을 받는다. 비록 스마트폰의 디스플레이 크기가 점점 증가

하고 있지만 휴대용 전화라는 한계 때문에 통상적으로 4에서 6인치 사이의 디스플레이 크기를 가진다. 물론 화면 크기 자체는 글자의 크기에 직접적인 영향을 미치지 않는다. 그러나 글자는 정보를 전달하기 위한 목적으로 사용하기 때문에 크기를 무작정 줄이거나 키우기는 어렵다. 결국 화면이 작아지면 큰 화면에 비하여 상대적으로 작은 글자를 보게 된다. 이는 글자를 구분하기 어렵게 만들기 때문에 그 자체로 가독성에 부정적인 영향을 미친다. 작은 글자의 가독성에 영향을 미칠 만한 요인으로 화소 밀집도와 화소 하부 구조가 있는데, 충분한 화소 밀집도가 제공되지 않으면 글자가 분명하지 않게 보일 수 있기 때문이다. 둘째, 스마트폰은 그 휴대성 때문에 다양한 환경에서 사용하게 된다. 스마트폰의 사용 환경은 일정한 조명 조도가 유지되는 공간이 아니라 조도가 다양하게 변화하는 야외와 상대적으로 낮지만 안정적인 조도를 가지지는 실내를 전부 포함한다. 따라서 스마트폰 디스플레이를 통하여 글자를 읽을 때 화면 밝기와 조명 조도가 가독성에 영향을 미칠 가능성이 있다.

이제까지 언급한 바와 같이 스마트폰의 가독성에 영향을 미칠 것으로 예측되는 요인은 디스플레이 특성 요인과 환경 요인으로 나눌 수 있다. 이 중 디스플레이 특성 요인은 주로 글자를 얼마나 세밀하고 정확하게 표현할 수 있는지 여부와 관계된 두 요인인 화소 밀집도(Colombo and Kirschbaum, 1987)와 화소 하부 구조에 추가로 조명과 관계된 휘도(Krantz and Silverstein, 1992)를 합쳐 세 가지 요인을 들 수 있다. 화소 밀집도는 주로 화면의 해상도를 화면 크기로 나눈 인치 당 화소 수(Pixel Per Inch, PPI)를 사용하여 측정한다. 화소 하부 구조는 하나의 화소를 구성하는 세부 화소의 구조를 가리키는 화소 하부 구조(Subpixel structure)가 어떻게 구성되어 있는지에 따라서 화소를 실제로 구성하는 물리적 화소의 수를 알 수 있다. 휘도(luminance)는 화면의 밝기를 직접 측정하는 방법을 확인할 수 있다. 환경 요인은 관찰 거리와 조명 조도(Shieh and Lin, 2000)를 고려해볼 수 있다. 글자를 읽을 때 관찰 거리는 일정하게 유지되는 반면에 실내와 야외의 조명 조

도는 상황에 따라 물리적으로 매우 큰 차이를 보인다. 따라서 조명 조도는 디스플레이의 밝기와 함께 실내 또는 실외에서 글자를 읽을 때 느끼는 불편감에 영향을 미칠 가능성이 있다.

본 연구에서는 앞서 언급한 화소 밀집도, 화소 하부구조, 휘도, 조명 조도 조건이 스마트폰 디스플레이를 통하여 글자를 읽을 때 나타나는 불편감에 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위하여 수행되었다. 이런 목적을 달성하기 위하여 연구를 크게 두 단계로 나누어 진행하였다. 첫 번째 단계는 불편감 측정 도구를 개발하는 단계로, 모바일 장비를 사용하면서 경험할 수 있는 다양한 자극을 제시하고 그 자극에 의하여 유발된 가독성 관련 불편감에 대한 진술문을 획득한 후 문항으로 정리하였다. 이는 측정하고자 하는 변인인 가독성 관련 불편감, 즉 글자를 읽는데 얼마나 불편한 것인가를 측정하기 위하여 수행된 단계이다. 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 구성한 문항을 사용하여 다양한 디스플레이 요인(화소 밀집도, 화소 하부구조, 휘도)과 사용 환경 조건에 따라 나타나는 가독성 관련 불편감을 측정하고 각 변인의 효과를 확인하였다.

2. 불편감 측정 도구 개발

본 연구는 모바일 디스플레이, 특히 스마트폰을 대상으로 수행된 연구이다. 다른 디스플레이 시청 환경과 다르게 모바일 디스플레이 시청 환경은 다양한 조명 조도 조건 아래에서 시청하며, 매우 가까운 관찰거리(40 cm 이내, Bababekova, Rosenfield, Hue, Huang, 2011)를 가진다는 특징이 있다. 불편감 측정 도구 개발 단계에서는 이런 조건 아래에서 모바일 디스플레이를 사용하여 글자를 읽을 때 인지 할 수 있는 가독성 관련 불편감을 측정하기 위하여 측정 설문을 개발하였다. 측정 도구 개발 과정은 일반적인 심리 검사 개발 과정을 축약하여 사용하였다. 먼저 구조화된 개방형 설문을 사용하여 연구의 목적을 알지 못하는 일반인 참가자에게 모바일 디스플레이에서 글자를 읽을 때 나타나는 가독성 관련 불편감에 대한 진술을 가능한 한 많이 획득하였다. 이렇게 획득한 진술문을 정리하여 높은 빈도를 보이는 진술문을 선택하여 사용하였다.

문항 개발에 개방형 설문 방법을 사용한 이유는 글자를 읽는 것은 자동적인, 매우 쉬운 과제이기 때문이다(Stroop, 1935). 따라서 글자를 읽는 것과 관련된 인지적 과제의 수행 수준을 사용하여 모바일 디스플레이의 여러 요인이 글자를 읽는데 미치는 영향을 측정하게 되면 천정 효과가 나타날 가능성이 매우 높다. 천정 효과는 과제의 난이도가 너무 낮아 기저선 수준의 수행이 매우 높을 때 나타난다. 어떤 독립변인 처치가 영향을 미치더라도 원래 과제 자체가 너무 쉬우면 100% 이상 더 잘 할 수 없기 때문에 측정 결과를 통하여 실험적 처치의 영향을 확인할 수 없게 되는 현상을 말한다(Martin, 2001). 과제를 사용한 실험을 수행하면서 천정 효과를 해결하는 방법은 과제의 난이도를 조정하여 좀 더 난이도가 높은 과제를 제시하는 것이다. 그러나 본 연구에서는 이 방법을 사용할 수 없었다. 왜냐하면 일상적으로 모바일 디스플레이를 통하여 글자를 읽는 것은 매우 쉬운 과제이다. 즉 글자를 읽는 것이 매우 쉽다는 사실은 일상적인 사용 환경에서 경험하는 모바일 디스플레이 사용 경험 자체의 특징이다. 따라서 난이도가 높은 과제를 수행하여 가독성 관련 불편감의 결과를 획득하면 일반적인 환경에서 모바일 디스플레이를 사용하면서 느끼는 가독성 관련 불편감을 적절하게 반영할 수 없다. 따라서 참가자들이 모바일 디스플레이를 관찰하면서 인지하는 불편감과 연관된 문항을 수집하고 수집된 각 항목에 대한 반응을 획득하는 것이 더 적절한 측정 방법이라고 판단하였다.

2.1. 실험 환경

측정 문항이 실험에 사용할 모바일 디스플레이들의 특성을 반영하도록 구성하기 위하여 다양한 모바일 디스플레이를 사용하여 참가자들에게 자극을 제시하고 개방형으로 문항을 획득하였다. 개방형 설문 획득에 사용한 모바일 디바이스는 총 네 가지(A, B, C, D)로 자세한 세부 사항은 표 1에 제시하였다. 참가자가 외형으로 디스플레이를 구분할 수 없도록 모든 모바일 디스플레이는 동일한 크기의 검은 색 상자로 포장하였다.

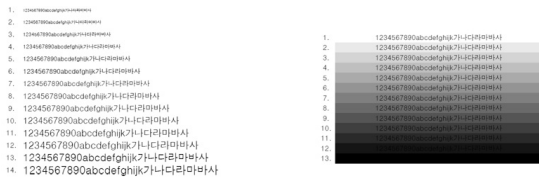


Figure 4. Character string of different size and contrast



Figure 5. Screen capture of various usage environment

2.2. 자극

실제 사용 환경과 유사한 상황에서 가독성 관련 불편감 문항을 획득하기 위하여 글자 크기와 글자 및 배경의 대비를 조작한 자극 2 개(그림 1)와 실제 사용 화면 캡처 4개(그림 2)를 자극으로 사용하였다. 해상도가 다른 디스플레이 C의 경우 같은 그림을 다른 해상도로 제작하여 제시하였다.

2.3. 절차

측정 도구 개발 절차는 총 두 가지 단계로 진행되었다. 첫 번째 단계는 가독성 관련 불편감 진술문 획득 단계였으며 두 번째 단계는 진술문 정리 및 문항 추출 단계였다.

측정 도구 개발 실험에 참가한 참가자들은 연구의 목적을 알지 못하는 20대 대학생 10명 이었다.

가독성 관련 불편감 진술문 획득 단계에서는 실제 사용 환경에서 유발되는 불편감을 최대한 반영하기 위하여 다양한 크기와 대비를 가지는 실험용 글자 자극(그림 1)과 실제 사용 화면을 캡처한 화면 자극(그림 2)을 사용하였다. 그림 1에서 제시된 자극들은 다양한 글자 크기와 글자 색과 배경의 대비가 주는 효과를 확인하기 위하여 사용하였으며, 특히 전자책과 같이 아무것도 없는 배경에 글자만 있는 경우를 가정하여 구성하였다. 그림 2에서 제시된 실제 사용 예는 많은 사용자들이 사용하는 웹 사용 화면에서 글자를 읽는 경우를 가정하여 구성된 자극 세 가지에, 추가로 글자를 읽는 것을 잠재적으로 방해할 수 있는 배경을 포함한 지도 앱 사용 환경도 포함하여 구성하였다.

가독성 관련 진술문은 이 자극을 실내(형광등, 약 600 Lux) 및 실외의 조명 조건(밝은 야외 조건, 오전 11시 - 3시, 7 - 9만 Lux)에서 모바일 디스플레이 4종(표 1)을 사용하여 제시하였다. 관찰 거리는 대략 40cm를 유지하도록 책상과 의자를 배치하였으나, 참가자들의 머리 움직임은 엄격하게 통제하지는 않았다. 참가자는 실외 및 실내 조건 중 어느 한 조건에 먼저 배정되어 무선적인 순서로 모든 디스플레이를 관찰하고 각 디스플레이에 대하여 지각된 가독성 관련 불편감을 가능한 한 많이 진술하도록 요청받았다. 처음 자극을 관찰할 때는 모든 자극을 순서대로 제시하였으며 진술문을 작성하는 경우에는 모든 자극을 자유롭게 관찰할 수 있었다. 각 조명 조건 사이의 밝기 차이가 매우 크기 때문에 명순응 및 암순응의 영향을 최소화하기 위하여 조명 조건이 바뀌고 나서 충분히 시간을 두고(5분 이상) 실험을 진행하였다.

Table 1. Display specifications of mobile devices used to develop measurement scale

Mobile Device	Size	Resolution	PPI	Subpixel structure	Luminance (nit)
A	4	480×800	233	Pentile RGBG	300
B	4	480×800	265	Stripe RGB	807
C	3.45	640×960	326	Stripe RGB	530
D	4.27	480×800	218	Stripe RGB	310

진술문 정리 및 문항 추출 단계에서는 이렇게 얻어진 가독성 관련 불편감 측정 진술문을 모아 정리하였다. 동일한 진술문을 평정자 3명이 독립적으로 빈도를 정리하고 높은 빈도를 가지는 진술을 문항으로 정리하였다. 문항을 가능한 한 많이 추출하는 것이 목표였기 때문에 처음에는 가독성과 무관하게, 불편감과 연관된 문항은 모두 추출하여 총 22개의 문항을 추출하였다. 최종적으로 그 중 직접적으로 가독성과 연관된 것으로 판단된 문항만 연구에 사용하였다. 예를 들어, “색감이 바래 보였다” 같은 문장은 불편감과 연관될 수 있으나 가독성과는 연관이 없다고 판단하여 제거하였고, “글자가 깨져 보인다”와 같이 글자를 읽는 과제와 연관된 것으로 판단된 문항만 포함하였다. 그 결과 표 2에 제시한 바와 같이 총 8개의 가독성 관련 불편감 평정 문항을 연구에 사용하기로 결정하였다.

Table 2. Legibility discomfort scale used in the experiments

No.	Statement
1	The characters look jittered.
2	The characters look clear.
3	The characters look dim.
4	It is uncomfortable to read the characters.
5	It feels awkward to view the characters.
6	Fine details of the characters do not appear sharp.
7	Colors appear in the characters.
8	Characters appear dim as font gets smaller.

3. 가독성 관련 불편감 측정 실험

본 연구의 목적은 다양한 디스플레이 특성 요인이 가독성 관련 불편감 인지에 미치는 영향을 측정하는 것이다. 이 목적을 실험을 통하여 달성하려면 연구의 관심 요인을 제외한 다른 모든 요인을 효과적으로 통제하여야 한다. 그러나 본 연구의 관심 요인인 화소 밀집도, 화소 하부구조, 휘도, 조명 조건 중 조명 조건을 제외한 요인은 통제가 매우 어려운 요인이다. 이는 각 요인이 디스플레이의 물리적 특성을 직접 반영하기 때문인데, 이 모든 조건을 시뮬레이션 하거나 또는

연구의 관심 요인만 조작하고 기타 요인을 완전히 통제하여 새로운 모바일 디스플레이를 제작하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 관심 요인에서 큰 차이를 보이지만 다른 요인은 유사한 모바일 장비를 사용하여 다양한 특성을 가진 자극을 제시하고 각 모바일 디스플레이에서 나타나는 가독성 관련 불편감을 비교하는 방법을 사용하였다.

가독성 관련 불편감에 영향을 줄 것이라고 가정된 요인은 총 네 가지 요인으로, 모바일 디스플레이 특성 요인은 총 3 가지로 화소 하부 구조, 화소 밀집도, 휘도였으며 추가로 환경 요인인 조명 조건을 일부 조건(실험 3 화면 휘도 요인 실험 및 실험 4 고 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험, 3.3절 참고) 에서 조작하였다. 가독성 관련 불편감은 앞선 측정 도구 개발 과정에서 개발된 문항을 사용하여 측정하였다. 요인에 따라 총 4회에 걸쳐 측정하였으며, 개별 실험은 각각 관심 요인 외의 다른 요인이 상대적으로 유사한 장비를 서로 비교하는 형식으로 이루어졌다.

3.1 실험 환경

가독성 관련 불편감 측정에 사용된 전체 모바일 장비는 앞선 측정 도구 개발 실험에 사용한 모바일 장비 네 개에 장비 두 개를 추가하여 총 여섯 개의 모바일 장비를 사용하였다(표 3). 모든 장비는 동일한 크기의 검은 색 상자로 포장되어 참가자가 외관으로 그 차이를 구분 할 수 없도록 하였다.

Table 3. Display specifications of mobile devices used to test legibility discomfort

Mobile Device	Size	Resolution	PPI	Subpixel structure	Luminance (nit)
A	4	480×800	233	PenTile RGBG	300
B	4	480×800	265	Stripe RGB	807
C	3.45	640×960	326	Stripe RGB	530
D	4.27	480×800	218	Stripe RGB	310
E	4.5	1280×720	329	Stripe RGB	500
F	4.65	1280×720	316	PenTile RGBG	310

앞서 언급한 바와 같이 관심 요인 중 화소 하부 구조, 화소 밀집도, 휘도 요인은 디스플레이의 물리적 특성을 직접 반영한다. 화소 하부 구조는 하나의 화소를 이루는 하부 화소 구조가 물리적으로 가지는 배치를 가리킨다. 여기서 사용한 장비는 펜타일 방식(RGBG Pentile)과 스트라이프(RGB Stripe) 방식이라는 두 가지 종류의 화소 하부 구조를 가지고 있다. 펜타일(RGBG Pentile) 방식은 화소 두 개가 네 개의 물리적 화소로 구현되어 있다. 본래 인간이 구분 가능한 빛을 구현하려면 서로 다른 세 파장을 필요로 하기 때문에 이 방식을 사용한 디스플레이는 최적화 알고리즘을 통하여 각 화소를 표현한다(그림 3, “Technology - The PenTile vision”, 2014). 스트라이프(RGB Stripe) 방식은 화소 하나가 세 개의 물리적 화소로 구현되어 있다. 스트라이프 방식은 인간이 세 가지 파장의 빛을 사용하여 모든 색을 지각한다는 지각적 원리에 충실하게 제작된 전통적인 방식이다. 따라서 스트라이프 방식에 비하여 펜타일 방식은 화소 밀집도 측면에서 가독성에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있다. 펜타일 방식은 두 화소를 네 하부 화소로 구성하기 때문에 펜타일 방식과 스트라이프 방식의 화소 수가 동일하더라도 펜타일 방식의 하부 화소 수는 2/3 수준이기 때문이다.

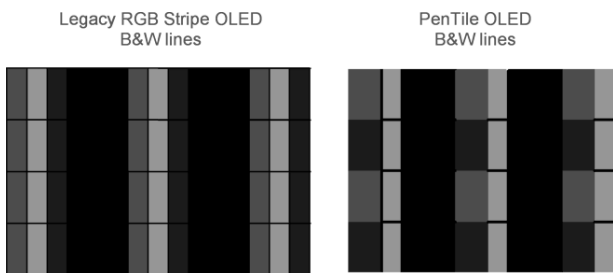


Figure 6. Subpixel layout for RGB stripe, compared to the layout for PenTile OLED (“Technology - The PenTile vision”, 2014)

화소 밀집도는 PPI(Pixel Per Inch, 1인치 당 화소 수)라는 단위를 사용한다. 이와 비교할 수 있는 좀 더 일반적인 기준은 종이에 인쇄된 출판물에 사용하는 DPI(Dot Per Inch, 1인치 당 점의 수)로, 최근에는 프린터를 이용한 전자 출력이 보편화되어 인쇄물의 경우 300 DPI를 넘어서는 수준을 사용하는 경우가 많다. 따

라서 이보다 낮은 PPI는 가독성에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있다.

휘도는 화면의 최대 백색 휘도를 의미한다. 휘도가 낮은 디스플레이는 조명이 밝을 때 화면이 잘 보이지 않는 경우가 있는데, 이런 현상은 주로 화창한 날 야외에서 어두운 모바일 디스플레이를 볼 때 특히 잘 느낄 수 있다. 최대 휘도 수준 역시 물리적으로 결정되어 있어, 조작하는 것이 불가능하다.

조명 조도 조건은 환경을 변화시키거나 조명을 바꾸는 것으로 조작하는 것이 가능하다. 이 요인은 앞서 언급한 바와 같이 휘도에 따라서 가독성에 미치는 영향이 달라지는 경향이 있어 일부 조건(휘도 / 조명 요인 실험 및 고 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험)에만 적용하였다.

관심 요인 조작이 물리적으로 제한되기 때문에 본 연구에서는 관심 요인 관련 특성은 크게 다르지만 기타 특성들은 유사한 장비를 선택하였다. 각 실험에 사용된 디스플레이는 관심 요인을 제외한 다른 요인은 상대적으로 유사하였다. 각 관심 요인 별 디스플레이 갯수는 각각 화소 하부 구조 요인에서 4개(실험 1: A vs. B, 실험 4: E vs. F)를 사용하였으며, 화소 밀집도 요인 실험에서 2개(C vs. D)를 사용하였고, 화면 휘도 요인 실험에서 3개(B vs. C vs. D)를 사용하였다. 조명 조도 조건은 휘도 조건과 관련을 가질 것으로 예상하여 일부 조건(휘도 / 조명 요인 실험 및 고 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험)에서 제한적으로 비교하였다.

3.2 자극

자극은 앞서 측정 도구 개발에 사용한 자극(그림 1, 2)을 네 개 장비(A - D)에서 제시하였다. 앞선 측정 도구 개발 조건에 사용하지 않은 두 개 장비(E, F)는 화면의 해상도가 높고 크기가 커 새로운 자극을 구성하여 사용하였다(그림 4, 5).

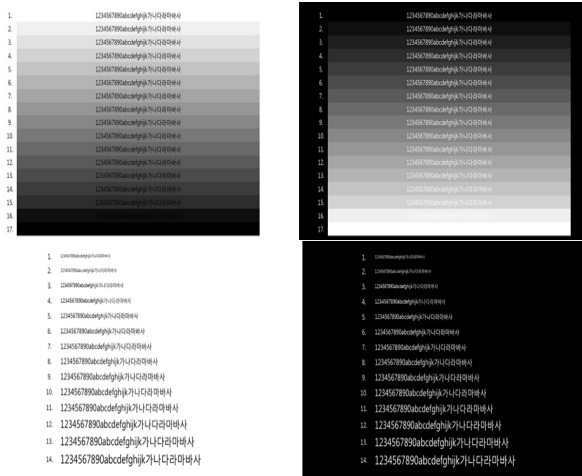


Figure 7. Character string stimuli used to test display E and F



Figure 8. Screen capture stimuli used to test E and F

3.3. 실험 설계 및 실험 참가자

실험은 관심 요인 및 디스플레이 특성에 따라 총 4회에 걸쳐 이루어졌다(표 4). 실험 1은 화소 하부 구조 차이에 따른 가독성 관련 불편감을 측정하고자 하였다(저 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험). 실험 2는 화소 밀집도에 차이에 따른 가독성 관련 불편감을 측정하고자 하였다(화소 밀집도 요인 실험). 실험 3은 휘도 차이에 따른 가독성 관련 불편감을 측정하기 위하여 실험 1, 2에서 측정한 디스플레이 중 3개(B, C, D)를 실내 및 실외 조건에서 비교하였다(휘도 / 조명 요인 실험). 실험 4는 실험 1과 동일하게 화소 하부 구조 사이의 차이를 더 높은 화소 밀집도를 가진 디스플레

이 사이에서 비교한 것으로, 디스플레이 E와 F를 실내 및 실외 조건에서 비교하여 가독성 관련 불편감을 측정하였다(고 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험).

모든 실험의 참가자는 광운대학교에서 모집된 유급 피험자로 실험의 목적을 알지 못하였다. 참가자는 실험 1, 실험 2, 실험3에 각각 20명씩, 그리고 실험 4에 22명 참가하여 총 82명이 참가하였다. 각 실험마다 다른 피험자를 표집하였다.

Table 4. Display features tested in the experiments

Expt.	Display features	Involved displays	Levels of display feature
1	Subpixel structure	A	RGBG PenTile
		B	RGB Stripe
2	Pixel density	C	326
		D	218
3	Luminance	B	807
		C	530
4	Subpixel structure	D	310
		E	RGB Stripe
		F	RGBG PenTile

3.4 실험 절차

기본적인 실험 절차는 모든 실험에서 동일하였다. 그러나 야외 조명 조건을 포함한 경우(휘도 요인 실험 및 고 밀집 / 화소 하부 구조 실험)에는 동일한 절차를 실내 및 실외 조건에서 반복하였다. 참가자가 실험실에 들어오면 실험 절차를 설명하고 지정된 조명 조건을 가진 자리에 착석하도록 하였다. 참가자는 디스플레이에 제시된 자극을 시간제한 없이 자유롭게 관찰하면서 그 디스플레이에 대하여 표 2에 제시한 가독성 관련 불편감 설문에 7점 척도 상에서 응답하도록 요청받았다. 디스플레이 순서는 무선적으로 제시되었으며, 모든 디스플레이에 대한 설문을 완료할 때까지 동일한 절차를 반복하였다. 실내 조명 조건(형광 등 조명, 조도 600 Lux)만 수행한 실험은 각 디스플레이를 한 번씩 평가하고 실험을 종료하였다. 그러나 실외 조명 조건(휘도 요인 실험: 태양광, 평균 조도

79,725 Lux, 표준편차: 13,339 Lux), 고 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험: 할로겐 램프, 조도 2만 Lux)을 포함하는 실험은 무선적인 순서로 두 조명 조건을 진행하여 실내나 실외 중 어느 한 조건에서 모든 디스플레이를 다 평가하고 나머지 조건에서 모든 디스플레이를 한 번 더 평가하였다. 이 과정에서 명순응과 암순응이 영향을 미치지 않도록 구성하기 위하여 약 5분간 조도에 순응할 시간이 주어졌다.

3.5 결과

가독성 관련 불편감은 앞선 가독성 관련 불편감 문항 개발 과정에서 개발한 문항을 사용하여 측정되었다. 또한 가독성 관련 불편감은 각 문항의 원 점수를 사용하지 않고, 모든 문항의 평균을 사용하였다. 이는 앞서 개발한 문항들이 각각 가독성 관련 불편감의 다양한 측면 중 일부만 반영하도록 구성되어 있기 때문이다. 가독성 관련 불편감은 리커트(Likert) 7점 척도로 측정되었다. 이 척도는 1-3점의 경우 문항에 동의하지 않음을 의미하며, 4점은 애매모호함을 의미하고, 5-7점의 경우 문항에 동의한다는 것을 의미한다. 따라서 어떤 한 조건에서 가독성 관련 불편감이 3점 이하인 경우 참가자들이 그 조건에서 디스플레이로 글자를 읽을 때 가독성 관련 불편감을 기술하는 문항에 동의하지 않았으므로, 가독성 관련 불편감이 확실히 없다고 해석할 수 있다.

실험 1은 저 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험으로, 서로 다른 수준의 화소 하부 구조를 가지고 있는 디스플레이의 가독성 관련 불편감 차이를 비교하기 위하여 수행되었다. 그림 6에 제시된 바와 같이 두 디스플레이의 가독성 관련 불편감은 거의 유사하게 측정되었으며 통계적인 차이도 나타나지 않았다(디스플레이 A 3.13, 디스플레이 B: 2.60). 즉 화소 하부 구조에 따른 가독성 관련 불편감의 차이는 나타나지 않았다. 또한 두 디스플레이의 가독성 관련 불편감은 모두 3점보다 크지 않은 것으로 나타났다(A: $t(19) = 0.48, p = 0.31$, B: $t(19) = -1.96, p = 0.94$). 이 결과는 실내에서 디스플레이 A와 B에서 글자를 읽는 것이 불편하지 않다는 것을 시사한다.

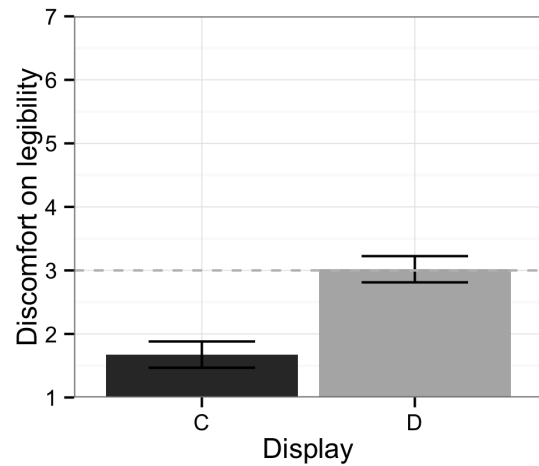


Figure 9. Legibility related discomfort as a function of pixel density

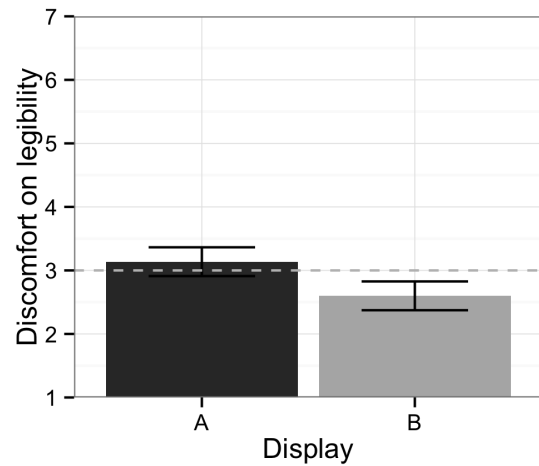


Figure 10. Legibility related discomfort as a function of sub-pixel structure

실험 2는 화소 밀집도 요인을 측정하기 위하여 서로 다른 화소 밀집도를 가지고 있는 디스플레이의 가독성 관련 불편감 차이를 비교하였다. 그 결과는 그림 7에 제시하였다. 화소 밀집도를 비교한 실험 1의 두 디스플레이와는 다르게 이 조건에 할당된 두 디스플레이 C와 D의 가독성 관련 불편감은 그 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났다(디스플레이 C: 1.68 vs. 디스플레이 D: 3.02, $t(19) = -4.60, p < 0.000$). 그러나 이 조건에서도 두 디스플레이 C와 D의 가독성 관련 불편감은 모두 3보다 크지 않아(디스플레이 C: $t(19) = -10.64, p = 1$, 디스플레이 D: $t(19) = 0.07, p = 0.47$) 실내에서 두 디스플레이 C와 D에 제시된 글자를 읽는 것이 불편하지 않음을 시사하는 결과를 얻었다.

실험 3은 휘도 / 조명 요인 실험으로 여러 휘도 수준을 가지고 있는 디스플레이의 가독성 관련 불편감 차이를 비교하기 위하여 수행되었다. 경험적으로 지각된 밝기는 조명 변화에 의하여 영향을 받으므로, 이 실험에서는 디스플레이 B, C, D의 가독성 관련 불편감을 조명 조건을 변화시키면서 측정하였다. 조명 조건은 실내의 경우 형광등 조명 아래에서 진행하여 일반적으로 밝기가 600 Lux 였으나, 야외 조건의 경우 태양 아래에서 과제를 수행하였기 때문에 과제를 수행할 때 조명의 밝기는 평균 79,725 Lux(표준편차 13,339 Lux) 였다.

실험 3의 결과는 그림 8에 제시되었다. 그림 8에 제시된 바와 같이, 디스플레이 요인의 주효과는 통계적으로 유의미하였으나($F(2, 38) = 8.99, p < 0.000$) 조명 요인의 주 효과 및 두 요인의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하지 않았다(조명 요인: $F(1, 19) = 1.31, p = 0.27$, 상호작용: $F(2, 38) = 1.83, p = 0.17$). 디스플레이 요인의 통계적 유의미성은 휘도 요인보다 실험 2에서 나타난 화소 밀집도의 차이를 반영한 것으로 보이는데, 이는 디스플레이의 휘도와 가독성 관련 불편감의 상관 계수가 부적으로 나타났으며($r = -0.19$) 그 차이가 통계적으로 유의미하지 않다는 점에서 알 수 있다($t(58) = -1.84, p = 0.16$).

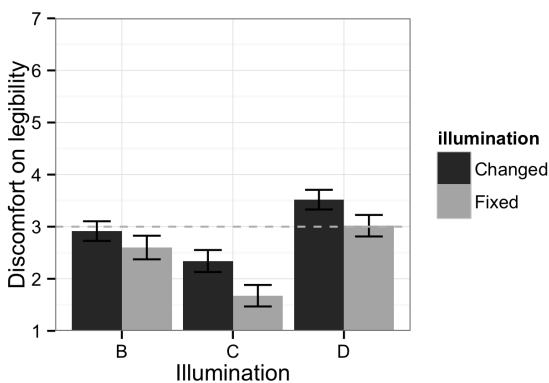


Figure 11. Legibility related discomfort as a function of illuminance change

한편 조명 요인의 차이가 통계적으로 유의미하지 않다는 것은 서로 다른 조명 조건에서 가독성 관련 불편감이 다르지 않게 나타났다는 것을 의미하지만, 이것만으로는 조명이 가독성 관련 불편감에 영향을 미치지 않았다고 단언할 수 없다. 조명 조건의 변경이

포함되지 않은 실험 1, 2의 결과와 포함된 실험 3의 결과 중 실험 3의 결과가 전체적으로 더 높은 가독성 관련 불편감을 보이기 때문이다(그림 9). 이는 실험 1, 2에서 측정한 각 디스플레이의 가독성 관련 불편감과 실험 3에서 측정한 각 디스플레이의 가독성 관련 불편감(조명 조건 평균)을 비교하는 것으로 확인 해 볼 수 있다. 실험 1, 2와 3에서 2회에 걸쳐 측정된 디스플레이 B, C, D 중 디스플레이 C는 가독성 관련 불편감은 조명이 변화하지 않은 조건과 조명이 변화한 조건 사이에서 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(디스플레이 B: $t(37.74) = -0.90, p = 0.372$, 디스플레이 C: $t(30.148) = -2.65, p < 0.05$, 디스플레이 D: $t(37.94) = -1.31, p = 0.19$). 이는 가독성 관련 불편감이 조명의 변화에 영향을 받을 가능성이 있음을 시사한다. 앞선 실험 2의 결과와 다르게 디스플레이 C의 가독성 관련 불편감은 실내 조건의 경우 통계적으로 유의미하게 3점 이상으로 나타났는데($t(19) = 2.80, p < 0.01$), 이 역시 조명 요인의 변화가 가독성 관련 불편감에 영향을 미친 것으로 추정된다. 그러나 이 조건을 제외한 다른 모든 조건은 가독성 관련 불편감이 3점 이상으로 나타나지 않아, 디스플레이 C를 제외하면 여전히 이 연구에 사용된 디스플레이는 일상적인 환경에서 글자를 읽기에 불편하지 않다고 할 수 있다.

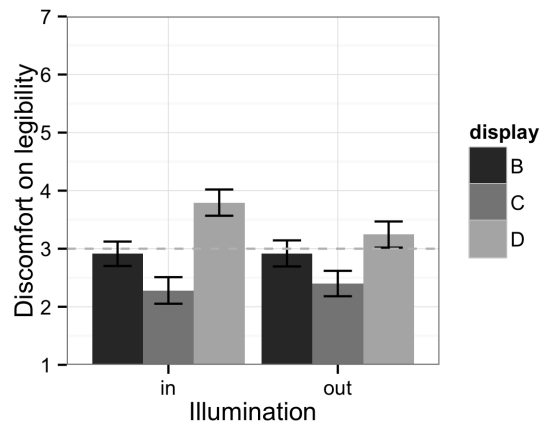


Figure 12. Legibility related discomfort as a function of illumination and luminance

실험 4는 고 밀집 / 화소 하부 구조 요인 실험으로, 앞선 실험의 결과를 재확인하기 위하여 유사한 화소 밀집도를 가지고 있으나 서로 다른 화소 하부구조를 가진 두 디스플레이를 비교하였다. 이 실험에서는 디

스플레이는 E, F를 사용하였는데, 화소 하부구조와 휘도를 제외한 디스플레이 특성이 서로 매우 유사하였다. 실험 4의 결과는 그림 10에 제시되어 있다. 반복 측정 변량분석 결과 디스플레이 종류의 차이는 통계적으로 유의미하게 나타났으나($F(1, 21) = 4.71, p < 0.05$) 조명 조건과 디스플레이 및 조명 조건의 상호작용은 통계적으로 유의미하게 나타나지 않았다(조명 조건: $F(1, 21) = 0.55, p = 0.55$, 상호 작용: $F(1, 21) = 1.57, p = 0.22$). 또한 가독성 관련 불편감은 어떤 조건에서도 3점보다 높게 나타나지 않아 글자를 읽는 것이 불편한 조건 또한 없었다($ps > 0.05$).

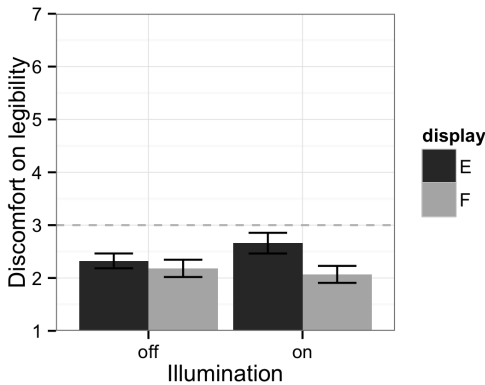


Figure 13. Legibility related discomfort as a function of sub-pixel structure and illumination

실험 4의 결과는 앞선 실험의 결과를 반복하여 보여준다. 이 실험에 사용된 디스플레이는 실험 2에서 가장 큰 효과를 보인 요인인 화소 밀집도가 매우 유사하며(E: 329, F: 316), 휘도(E: 500, F: 310)와 화소 하부구조(E: 스트라이프 방식, F: 펜타일 방식)에서 차이를 보였다. 측정된 가독성 관련 불편감은 그 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났으나 그 차이는 작았으며 예상과 다른 경향성을 보인다. 휘도가 더 높고 화소 하부 구조 특성 상 더 많은 물리적 화소를 보이는 디스플레이 E의 가독성 관련 불편감이 더 높게 나타났는데, 이는 디스플레이의 통제되지 않은 다른 요인에서 그 차이가 나타났다고 보는 것이 타당할 것이다. 또한 모든 수준에서 두 디스플레이의 가독성 관련 불편감이 3점 이하의 결과를 보였다. 이는 다른 요인보다 화소 밀집도가 가독성 관련 불편감에 미치는 영향이 크다는 것을 시사하는 앞선 실험들의 결과를 다시 한 번 보여주는 것이라고 할 수 있다.

4. 논의

본 연구는 모바일 디스플레이의 가독성에 영향을 미칠 것으로 예측되는 여러 특성(화소 밀집도, 화소 하부구조, 휘도, 조명) 중 실제로 가독성의 저하에 영향을 미치는 요인을 찾아내고, 가독성의 저하에 영향을 미치는 요인의 수준을 확인하려는 목적으로 수행되었다. 이를 위해 다양한 특성을 가진 모바일 디스플레이를 사용하여 검증하였다. 그 결과 연구에서 사용한 디스플레이 수준에서는 가독성 관련 불편감에 주로 화소 밀집도가 영향을 미친다는 것을 확인하였으며, 다른 요인들은 작은 영향을 미치거나 또는 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다.

가독성에 대한 화소 밀집도의 효과는 예측할 수 있는 것이었다. 실험 결과 주로 가독성 관련 불편감이 3점 이상으로 나타나는 디스플레이(디스플레이 A, B, D)는 인쇄물에 보편적으로 사용되는 300 DPI에 대응하는 수준인 300 PPI보다 낮은 화소 밀집도를 보였다. 이는 글자를 주로 표시하기 위한 디스플레이가 가져야 하는 최소 화소 밀집도 기준에 대한 시사점을 줄 수 있다. 이 결과는 연구에 사용된 스마트폰 뿐 아니라 스마트폰과 사용 환경을 공유하는 기기라면 화면 크기와 무관하게 적용시키는 것이 가능하다. 표 6에 현재 많이 사용되는 스마트 기기의 화면 크기와 해상도에 따른 인치당 화소 밀집도(PPI)가 제시되어 있다. 이를 바탕으로 가독성 측면에서 화면 크기에 대한 적정 해상도를 고려해 보면 720p(1280 x 720) 해상도의 경우 4인치, 그리고 1080p(1920 x 1080) 해상도의 경우 7인치의 디스플레이 크기가 가독성 관련 불편감이 지각되지 않는 한계 해상도라고 할 수 있다.

Table 6. Pixel densities in various screen sizes and resolutions

Screen size (inch)	Pixel density (PPI)		
	1280 x 720	1366 x 768	1920 x 1080
4	367	392	551
5	294	313	441
6	245	261	367
7	210	224	315
8	184	196	275

그러나 화소 하부구조와 휘도 및 조명의 효과는 나타나지 않았다. 화소 하부구조의 경우 하나의 화소를 구성하는 하부 구조에 물리적 차이가 존재하기 때문에 가독성 관련 불편감에 영향을 미칠 것이라고 생각하였으나 그 효과는 미미하였다. 이는 화소 하부구조가 가독성이라는 제한된 측면에 큰 영향을 미치지 않음을 시사한다.

반면에 휘도 및 조명의 효과는 해석하기에 좀 더 복잡하다. 우리는 일상적으로 야외에서 휘도가 낮은 모바일 디스플레이를 사용하면서 불편감을 겪으며, 이는 그림, 동영상, 글자 읽기 등 디스플레이를 통하여 제시되는 자극의 종류와 무관하게 경험할 수 있다. 본 연구에서도 휘도와 조명 조건이 가독성 관련 불편감에 미치는 영향을 제한적으로 확인할 수 있었다. 그러나 본래 예측했던 휘도나 조명 조도 조건에 따른 가독성 관련 불편감은 나타나지 않았다. 그 대신 조명 조건이 변화한 조건과 그렇지 않은 조건에서 나타난 가독성 관련 불편감에서 전반적으로 조명 조건을 변화한 경우 약간 더 높은 가독성 관련 불편감을 보이는 경향을 확인하였으며, 통계적으로 차이를 보인 디스플레이도 있었다(디스플레이 C).

이런 결과는 두 가지 측면에서 조명과 휘도에 대한 시사점을 제공한다. 첫째, 스마트폰을 사용할 때 조명 수준과 무관하게 휘도가 최소 300 nit을 넘어서면 가독성에 부정적인 영향을 미치지 않는다는 것이다. 이는 180 cd/m² 이상의 휘도를 가지면 다양한 조명 조건에서 시각적 불편감을 느끼지 않는다는 선행 연구의 결과와 일치한다(Shieh and Lin, 2000). 따라서 본 연구의 결과에 따르면 주로 글자를 읽기 위한 디스플레이는 적절한 수준의 밝기만 지원하면 사용자의 가독성에 부정적인 영향을 미치지 않을 것이다. 그러나 글 읽기가 아닌 사진이나 동영상 같은 영상물을 감상할 때는 휘도가 사용자의 주관적 즐거움에 영향을 미칠 수는 있을 것이다. 다시 말해, 휘도나 화소 하부구조와 같은 요인은 불편감, 즉 글 읽기의 어려움이라는 기능적 요소가 아니라 사용자의 감성영역에서 품질을 평가하는 것과 관련된 요소일 가능성이 있다. 예를 들어 휘도가 낮다고 해서 가독성의 불편감 발생하지는 않지만, 그럼에도 불구하고 사용자는 밝은 디스플레이를 더 선호할 수는 있는 것이다. 이러한 가능성은

좀 더 일반적인 자극을 사용한 추가적인 연구에서 검증되어야 할 것이다.

둘째, 휘도와 조명에 따른 가독성 관련 불편감 결과를 응용하여 직접적인 사용자 환경의 개선이 가능하다. 앞서 언급한 바와 같이 180 cd/m² 이상의 휘도를 가지면 다양한 조명 조건에서 시각적 불편감을 느끼지 않는다는 선행 연구의 결과가 존재한다(Shieh and Lin, 2000). 그러나 본 연구의 측정 결과 조명 조건이 변화하는 경우 가독성 관련 불편감이 약간 증가하는 경향을 보인다. 이는 우리가 일상적으로 휘도 관련 불편감을 느끼는 상황이 조명 조건 그 자체보다는 조명 조건의 전환과 관계가 있을 가능성을 시사한다. 다시 말해, 실내에서 실외로 이동하는 경우 충분히 밝지 않은 모바일 디스플레이를 통하여 무언가 읽거나 볼 때 느끼는 불편감은 장비 자체가 가지는 한계로 비롯될 수 있지만, 더불어 명순응(혹은 암순응)의 기체가 느끼게 작동하기 때문에 발생하는 것일 가능성이 높음을 시사한다(Hollins, and Alpern, 1973).

또한 본 연구 결과는 모바일 디스플레이를 설계할 때 사용 환경과 사용자를 가정하면 성능과 비용 사이의 기회비용을 최소화할 수 있음을 시사한다. 최근 급변하는 환경 속에서 다양한 최고 사양 휴대폰 사이에 점차적으로 중저가 모델이 시장에서 출시되고 있으며 이런 모델의 경우 앞으로 전 세계적으로 더 확대될 가능성이 높다. 이런 경우 제품이 사용되는 사용 환경과 사용자를 고려하면 상대적으로 낮은 비용의 디스플레이로 충분한 만족감을 제공할 수 있을 것이다.

본 연구의 결과와 같이 인간의 지각적 능력을 측정 한 결과를 응용하면 하드웨어를 개발할 때 사용자를 고려한 기술 개발이 어떤 방향을 가져야 하는지에 그 방향성에 대한 시사점을 얻을 수 있다. 본 연구는 특정한 과제(즉, 글자 읽기)를 수행할 때 디스플레이의 물리적 특성과 사용자의 지각 사이의 관계를 보여주었다. 이 결과와 인간의 인지 및 지각 능력에 대한 기존 연구 내용을 결합하면 화면의 밝기를 자동적으로 조절하는 사용자 경험 기반 기술의 방향성을 생각해 볼 수 있다. 예를 들면 어두운 실내에서 밝은 야외로 나가는 경우, 화면을 순간적으로 최대 밝기로 조절하고, 야외 조명 조건이 유지되면 밝기를 역치 이하에서 꾸준히 변화시켜 약 300 nit 수준까지 조절하는 방법

을 사용할 수 있다. 이런 방법을 사용하면 사용자의 지각이라는 측면에서 일관적인 경험을 제공할 수 있다. 화면의 밝기를 자동으로 변화시키고 외부 환경의 밝기를 안정적으로 측정하는 기술은 현재에도 이미 충분히 나와 있다. 그러나 이런 기술을 어떻게 조합하여 사용자의 감정적 만족감을 충족시킬 것인지 그 방향성을 잡아나가는 것은 본 연구의 결과와 같이 사용자의 경험에 근거해야 한다.

그리고 본 연구에서 완전히 설명하지 못한 부분 역시 존재한다. 앞서 언급한 바와 같이 본 연구의 관심 요인은 디스플레이의 물리적 특성과 관계되며, 따라서 관심 요인을 오나벽하게 통제하려면 디스플레이의 물리적 특성을 조작해야 한다. 그러나 모바일 디스플레이의 물리적 특성을 조작하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 시판중인 디스플레이를 사용하였다. 이 과정에서 특정 디스플레이 조건의 경우 실험 조건에 따른 체계적인 차이를 보이는 경우가 있다. 화소 하부구조 요인의 경우 오직 OLED 방식으로 생산된 모바일 디스플레이만 RGBG PenTile 방식의 화소 하부구조를 가질 수 있다. 그러나 RGB Stripe 방식의 화소 하부구조는 OLED 방식과 LCD 방식의 디스플레이가 모두 가질 수 있다. 따라서 실제로 화소 하부구조의 효과가 존재하지만 디스플레이 종류의 다른 차이 역시 존재하여 서로 상쇄한 결과 화소 하부구조의 차이가 나타나지 않았을 가능성이 존재한다. 디스플레이 크기와 해상도 역시 디스플레이 특성이기 때문에 완전히 통제하는 것은 불가능하며 따라서 화소 밀집도가 가독성 관련 불편감에 주는 효과의 크기를 체계적으로 확인하는 것은 불가능하였다. 따라서 화소 밀집도가 가독성 관련 불편감에 미치는 효과를 좀 더 정확하게 측정하려면 다양한 디스플레이 조건을 사용한 추가적인 연구가 필요하다는 것을 시사한다.

하드웨어의 물리적 발전이 점차적으로 한계에 다다르고 있는 가운데, 기존의 기술을 어떤 방향으로 개발해야 하는지 그 기준을 사용자로 삼으려면 장치를 사용하면서 수행하는 과제에 대하여, 물리적 특성에 대한 인간의 지각을 측정하는 다양한 연구가 선행되어야 할 것이다. 이런 관점에서 본 연구는 사용자를 중심으로 하는 모바일 디스플레이 설계 및 사용을 위한 도움을 줄 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Bababekova, Y., Rosenfield, M., Hue, J. E., & Huang, R. R. (2011). Font size and viewing distance of handheld smart phones. *Optometry & Vision Science*, 88(7), 795-797.
- Colombo, E. M., Kirschbaum, C. F., & Raitelli, M. (1987). Legibility of texts: The influence of blur. *Lighting Research and Technology*, 19(3), 61-71.
- Hirsch, J., & Curcio, C. A. (1989). The spatial resolution capacity of human foveal retina. *Vision research*, 29(9), 1095-1101.
- Hollins, M., & Alpern, M. (1973). Dark adaptation and visual pigment regeneration in human cones. *The Journal of general physiology*, 62(4), 430-447.
- Krantz, J. H., Silverstein, L. D., & Yeh, Y. Y. (1992). Visibility of transmissive liquid crystal displays under dynamic lighting conditions. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 34(5), 615-632.
- Lim, J Y, Yoo, J Y, Jang, S J, Kim, M Y & Yoo, J M. (2012). *Pattern of smartphone usages report 2012 (2012년 스마트폰이용실태조사)*, Korea internet & security agency and Korea communications commission.
- Martin, D. W. (2007). *Doing psychology experiments (5th ed.)*. Belmont, Wadsworth Publishing Company.
- Shieh, K. K., & Lin, C. C. (2000). Effects of screen type, ambient illumination, and color combination on VDT visual performance and subjective preference. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26(5), 527-536.
- Stroop, R. J. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643 - 662. doi:10.1037/h0054651.
- Technology - The PenTile vision (2014). Retrieved May 12, 2014, from <http://www.nouvoyance.com/technology-oled.html>
- 원고접수: 2014.02.12
수정접수: 2014.05.26
게재확정: 2014.07.09