시각 요소의 JND(Just Noticeable Difference)를 고려한 디스플레이 화질의 선호도 평가 방안

Evaluation of the Display Quality of Mobile Phone Considering the User's JND(Just Noticeable Difference) of Visual Elements

김형섭, Hyungsup Kim, 서원용, Wonyoung Suh, 김인기, Inki Kim, 윤명환, Myung Hwan Yun
서울대학교 산업공학과

요약 최근 관련 기술의 발전과 디지털 컨버전스의 가속화로 모바일 제품이 소형화, 다기능화 되어 가고 있다. 이러한 경향에 따라, 다양한 기능을 지원하기 위한 높은 사양의 디스플레이가 요구되고 있으며, 많은 업체들이 고화질, 고해상도 디스플레이의 개발에 경쟁적으로 매진하고 있다. 그러나 사용자의 인지적 특성을 고려하지 않은 고해상도 경쟁은 생산비용만 높이는 결과를 초래할 수 있다. 본 연구는 디스플레이의 설계 요소별 선호도를 분석하고, 사람이 탐지할 수 있는 두 자극 간의 최소한의 차이역(difference threshold)인 JND(Just Noticeable Difference)을 활용하여, 설계 요소의 인지적 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 모바일 제품에 주로 사용되는 TFT-LCD 를 평가 대상으로, 30 명의 피실험자를 대상으로 JND 측정실험을 수행하였으며, 실험결과를 바탕으로 디스플레이에 대한 주요 설계변수들의 특성을 파악하였다. 이 연구결과는 사용자의 선호도를 고려한 모바일 제품의 디스플레이 설계지침으로 활용될 수 있을 것이다.

핵심어: Mobile device, Display, JND

1. 서론

최근 모바일 디바이스는 급증하는 사용자와 기술의 급속한 발전, 디지털 컨버전스의 가속화에 힘입어 사용 환경이 다양해지고 있다. 이러한 흐름에 따라 모바일 제품은 소형화, 경량화, 다기능화 되고 있다[1]. 특히, 소형화로 인한 디스플레이 크기와 화질의 변화는 소비자의 제품 사용성, 선호도에 있어 제약적인 요소가 되고 있으며[2], 이에 따라 디스플레이의 사용자 선호도에 대한 고려가 중요해지고 있다.

모바일 디바이스의 디스플레이는 사용자가 알아차릴 수 없는 고화질 이미지를 구현하기 위해 불필요한 지연을 발생시키기 때문에[3] 사용자의 만족도를 저해하는 원인이 된다. JND 를 모바일 디바이스 디스플레이 디자인에 적용함으로써 사용자 지각 및 만족도에 영향을 미치지 못하는 요소를 줄이고 효율적인 사용자 인터페이스를 구현할 수 있을 것이다. 그러나 JND 에 관한 연구는 이미지 처리, 가상현실, 음성인식 등의 분야에서 많이 진행되고 있으며, 모바일 디바이스에 적용하는 연구는 거의 이루어지지 않고 있다[4].

본 연구는 디스플레이의 선호도와 설계 변수간의 관계를 분석하고, JND 개념을 이용하여 각 설계 변수의 사용자의 인지적 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 모바일 디바이스에 주로 사용되는 TFT_LCD 를 평가 대상으로 하여, 휴대폰 사용과 관련된 감성요소에 대한 선호도 평가를 실시하였으며, LCD 화질 관련 설계변수 4 가지에 대한 JND 측정실험을 수행하였다. 선호도 평가 결과는 통계적인 분석을 통하여 설계 변수와 감성 선호간 관계를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 실험 1: LCD 화질선호도 평가

감성이란 인간의 여러 가지 감각이 합성되어 종합화된 것으로 생리적인 특성을 중시하는 감각과 심리량으로써의 느낌 등이 통합화된 것으로 정의한다[5]. 본 연구에서는 대표적 소형 모바일 디스플레이인 휴대폰을 실험대상으로 선정하였다. 휴대폰 디스플레이의 이미지 평가에 활용될 수 있는 감성을 도출하기 위하여 휴대폰의 사용편의성 및 감성선호도 측정과 관련된 선행연구 및 기존 문헌에서 22 개의 초기 감성요소를 추출하였으며[6], AHP(Analytic Hierarchy Process)를 활용하여 감성간의 개념적 크기를 기준으로 7 개의 최종 감성요소를 선정하였다.

표 1. AHP 로 도출된 최종 감성요소

순번	감성요소	정의
1	밝음	화면의 밝은 정도
2	선명함	화면에서 색과 색 사이의 뚜렷한 구별이 가능한 정도
3	색감	제품의 색에 관한 이미지와 온도감을 나타냄
4	사실감	디스플레이가 어느 정도 사실적으로 나타나는가에 관한 요소
5	입체감	디스플레이가 어느 정도 입체적으로 나타나는가에 관한 요소
6	정교성	디스플레이가 어느 정도 세밀하게 나타나는가에 관한 요소
7	만족성	사용자가 제품에 대해 만족하는 정도

또한, 전문가 의견 및 기존 연구를 참고하여, 휴대폰 LCD 화질과 관련한 6 가지의 설계변수를 추출한 후[7], AHP 를 활용하여 4 개의 최종 설계변수를 선정하였다.

표 2. AHP 로 추출된 최종 설계변수

순번	감성요소	정의
1	DPI	Dot per Inch
2	Brightness	빛이 투사되었을 때 시감각이 느끼는 명암의 정도
3	Contrast	빨강/파랑 등과 같이 성질이 반대가 되는 것
4	Color(RGB)	분광의 조성차에 의해 성질의 차가 인정되는 시감각의 특성

휴대폰 LCD 를 보는 것과 유사한 환경을 컴퓨터 모니터에서 구현하기 위하여 17 인치 모니터(Hewlett packard1702, pixel 800*600)와 자체제작 이미지 동영상 및 LCD 사진을 사용하여 실험을 수행하였다. 모니터의 색상 퇴색 현상을 제거하기 위해 사용기간 1 개월 미만의 LCD 모니터를 사용하였다. 이미지 자체의 밝기를 제외한 다른 요인들에 의한 밝기 변동을 최소화하기 위해 평가는 암실에서 수행하였고, 실험에 사용한 샘플 이미지 외의 다른 영역은 검은 색으로 만들었다. 휴대폰을 사용하는 거리와 비슷하게 30cm 거리를 두고 평가하였다. 실험 참가자는 시력적으로 문제가 없는 20 대 30 명으로 구성되었다.

화질의 감성평가를 위해 15 장의 이미지 샘플을 사용하였다. 샘플을 소형 모바일 디바이스의 대표적 예인 휴대폰을 대상으로 고려하여 제작하였다. 휴대폰 LCD 의 일반적인 크기에 해당하는 3cm*4cm 의 직사각형 내에 들어가는 크기로 샘플의 이미지 크기를 조정하였다.

표 3. 이미지 샘플의 spec

DPI	bright-ness	con-trast	Red	Green	Blue
50	104.86	82.85	114.39	103.64	86.05
36	111.45	51.24	132.76	104.38	91.61
200	101.17	83.53	123.67	94.55	76.04
200	100.93	68.15	101.41	101.21	98.20
200	106.21	99.69	118.33	104.06	85.09
130	115.62	88.53	119.38	121.84	72.66
200	106.41	83.66	105.32	112.78	76.07
50	145.42	55.37	146.97	145.83	139.20
200	104.80	59.07	111.54	103.91	91.57
96	77.72	78.64	76.72	80.81	63.76
200	80.35	77.93	89.32	79.35	61.85
40	207.90	64.84	203.60	210.02	208.37
200	97.97	84.61	105.29	94.56	96.31
72	92.48	67.70	102.79	80.70	126.62
200	132.31	80.29	141.64	130.71	115.74

실험은 화질의 만족도 평가를 위해 이미지 사진을 평가자에게 노출시키고, 구조화된 설문문항에 응답하는 방식으로 수행되었다. 실험은 RCBD(Randomized completed block design)로 계획되었으며, Blocking 은 이미지의 동질성에 대해서 이루어졌다. 각 block 안에서 이미지 샘플의 평가 순서는 랜덤하게 제시하였는데, 이와 같이 block 을 나누는 이유는 LCD 화질의 만족도에 대한 평가에 이미지의 내용이 주는 영향을 배제하기 위한 것이다.

2.2 실험 2: 각 변수별 JND 측정

각 설계 변수 수준별 사용자의 JND 를 분석하기 위해 각 설계 요소의 수치를 변화시키면서 변화에 대한 사용자의 인지 정도를 측정하였으며, 세부 내용은 표 4 와 같다.

DPI 의 경우, 수준 5 를 기준으로 하여 점차 해상도를 개선시켜 보여주었다. 기준이미지-점멸-비교이미지의 Loop 를 통해 20DPI 까지 보여주도록 한다. 또한 수준 40 을 기준으로 하여 150DPI 까지 10 단위의 변화를 측정하였다. 기준을 달리하여 측정한 이유는 다른 기준에 대해서도 동일한 베버상수를 가지는지 확인하기 위한 것이다. 이 실험을 통해 상이한 기준에 대해 동일한 상수가 유지되는 것을 확인하면, 상수값을 통해 임의의 기준값에 대한 JND 를 계산할 수 있게 된다. JND 측정 결과는 각 피실험자가 3 차례씩 반복한 값을 평균하여 사용하였다. Contrast 는 70.5 를 기준으로 contrast 가 증가하는 경우와 감소하는 경우의 시나리오를 준비하여 랜덤하게 재생시켰으며 4 회 반복하여 JND 를 측정하였다. Brightness 는 92.54 인 기준이미지를 사용하여 밝기가 증가하는 경우와 감소하는 경우를 랜덤하게 재생시켰으며 각 피실험자에 대하여 4 회 반복실험을 통해 JND 를 측정하였다. 색상의 경우 RED, GREEN, BLUE 의 양을 각각 조절할 때 다른 색상 요소들은 고정한 상태에서 JND 를 측정하였다. 기준이미지는 RED = 186, GREEN = 171, BLUE = 159 의 양을 가지고 있으며, 이에 대하여 각 색상의 양을 늘리거나 줄여가면서 이미지를 준비하고 이를 랜덤하게 제시하였다. 각 피실험자에 대해 4 회 반복하여 JND 를 측정하였다.

표 4. 변수별 JND 측정 실험 설계

	DPI	Con-trast	Brightn ess	색상		
				R	G	B
수준	5	70.5	92.54	186	171	159
증감	증가	증감	증감	증감	증감	증감
반복	3	4	4	4	4	4

3. 연구 결과

3.1 실험 1: LCD 화질선호도 평가

실험 1 은 LCD 화질 만족도의 감성모형을 구축하여 만족도에 영향을 주는 주요 요인들을 추출하는 것을 목적으로 한다. 추출된 변수들을 대상으로 화질 만족도와 각 변수들의 관계를 밝히기 위해서, 종속변수에 대한 독립변수들의 선형회귀분석을 실시하게 된다.

화질만족감에 대한 선형회귀모형은 표 5 와 같다. 이 모형은 통계적으로 유의하며($p<0.0001$), R-SQUARE 값은 0.84, MSE 는 23.58 이다. 만족도에 영향을 미치는 감성요소로는 정교성, 입체감, 선명함, 사실감, 색감 등이 있었으며, 이 들이 증가할수록 만족도가 높아짐을 알 수 있다. 또한 설계변수 중 brightness, Contrast 가 감소할수록 만족도가 높아짐을 알 수 있다.

선형회귀모형에서 유의한 영향을 주지 않는 것으로 나타난 설계 변수의 경우에도, 실제로 영향력이 없었다고 볼 수는 없기 때문에 개개 변수의 영향력을 보다 정확히 파악하기 위해 각 설계변수에 대하여 부분 모형을 통한 분석을 실시하였다.

표 5. 화질만족감의 선형회귀모형(R^2= 0.84)

variable	Estimate Parameter	Standardized estimated Parameter	p
정교성	5.53	0.44	〈0.0001
선명함	3.34	0.29	0.0008
사실감	2.83	0.25	0.0004
입체감	3.41	0.31	〈0.0001
색감	2.42	0.22	〈0.0001
Brightness	−0.20	−0.40	0.0033
Contrast	−0.21	−0.26	0.0020
R*G*B	0	0.12	0.0011

우선 DPI 에 대한 부분모형은 표 6 과 같다. 이 모형은 통계적으로 유의($p<0.0001$)하며, DPI 뿐만 아니라 DPI 의 2 차항 또한 유의한 것으로 나타난다. DPI 와 다른 변수들 간의 교호작용은 유의수준 0.1 에서 유의하지 않은 것으로 나타났다.

표 6. DPI 에 대한 부분모형

Parameter	Estimated val-ue	p
Intercept	−12.45	〈0.0001
DPI	1.41	〈0.0001
DPI*DPI	−0.01	0.0084

Contrast 를 나타내는 luminance 의 표준편차에 대한 부분모형은 표 7 과 같다. 이 모형은 통계적으로 유의하며($p=0.0052$), 2 차항까지 유의한 것으로 나타났다.

표 7. Contrast 에 대한 부분모형

Parameter	Estimated value	p
Intercept	−67.12	〈0.0001
Lumin_std	3.05	0.0052
Lumin_std*Lumin_std	−0.02	0.0072

색상과 관련된 설계변수인 RED, GREEN, BLUE 의 양과 관련된 부분모형은 통계적으로 유의하며($p<0.0001$), RED 와 GREEN 의 교호작용을 제외하고는 각 설계변수, 설계변수의 2 차항 및 교호작용이 모두 유의한 것으로 나타났다. 표 8 에서 보듯이, 특히 GREEN, BLUE, G*B, R*G*B 가 매우 유의한 요인으로 작용하고 있다.

표 8. RGB 에 대한 부분모형

Parameter	Estimated value	p
Intercept	1056.9	<0.0001
Red	-3.24	<0.0001
Green	-31.62	<0.0001
Blue	14.62	<0.0001
Red*Green	0	0.1283
Red*Blue	-0.09	0.0027
Green*Blue	0.06	0.0043
Red*Green*Blue	0	0.0107
Red*Red	0.06	0.0004
Green*Green	0.14	<0.0001
Blue*Blue	-0.04	0.0010

3.2 실험 2: 각 변수별 JND 측정

실험 1 에서 분석한 4 가지 설계 변수는 화질만족도에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 이들 설계변수의 JND 를 측정하는 것이 실험 2 의 목적이다.

JND 측정은 통상 자극의 변화에 대한 탐지확률이 50%가 되는 변화지점으로 설정한다. 이를 위해 DPI, contrast, brightness, color(red, green, blue)에 대한 각각의 탐지확률을 2 차원 평면상에 plot 하고, 이 그래프를 2 차 혹은 그 이상의 다항식으로 추정하여 추정식으로부터 탐지확률이 50%가 되는 지점을 계산해낸다. 이렇게 계산된 JND 는 각 변수별 사용자의 인지적 능력을 고려한 설계변수별 특성을 분석할 수 있게 된다. 각 설계변수의 수준에 대한 탐지확률을 2 차원 평면에 plotting 하고, 이 그래프를 2 차 이상의 다항식에 의해 fitting 시킨 결과가 아래와 같다.

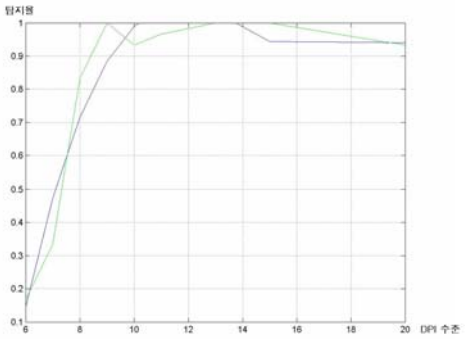

그림 1. DPI 의 JND 측정(기준 DPI=5)

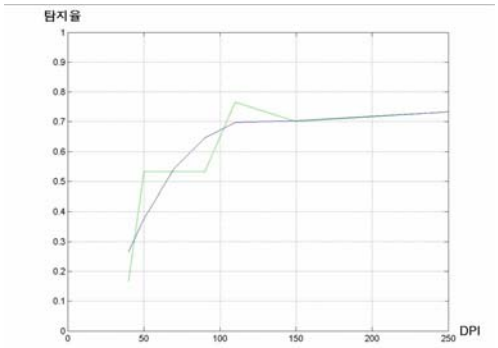

그림 2. DPI 의 JND 측정(기준 DPI=40)

그림 1, 그림 2 는 DPI 의 증가에 따른 탐지확률의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 흐린 선은 측정된 탐지확률을 plot 한 것이고, 진한 선은 흐린 선을 3 차의 다항식으로 fitting 하여 보다 smooth 하게 나타낸 곡선이다. 이 곡선으로부터 탐지확률이 50%가 되는 JND 를 계산하면, 기준 DPI 가 5 일 때는 6.94DPI, 기준 DPI 가 40 일 때는 63.95DPI 가 나온다. 이 추정값을 가지고 베버상수를 계산하면, 기준 DPI 가 5 일 때 0.39, 기준 DPI 가 40 일 때 0.59 로, 동일한 베버상수 값이 도출되지 않았다. 이는 DPI 가 올라갈수록 인간이 느끼는 인지적인 차이가 정비례가 아닌 상태로 증가한다는 것을 의미한다. 추후, 인간이 더 이상 변화를 느끼지 못하는 수준을 측정하게 된다면, 측정된 DPI 를 기준으로 주변 값에 대해 JND 를 측정함으로써 인간이 느낄 수 있는 acceptance range 를 구할 수 있다.

그림 3 은 contrast 를 변화시켰을 때 탐지확률의 변화를 나타낸 것이다. 기준 contrast 인 70.51 를 중심으로 Contrast 가 증가할 때와 감소할 때 모두 점차 탐지 확률이 증가함을 알 수 있다. 탐지확률이 50%가 되는 지점은 기준을 중심으로 Luminance 의 표준편차가 64.20 과 82.07 인 지점이며, 이 지점이 기준에 대한 JND 가 된다. Contrast 의 베버상수는 Contrast 가 줄어들 때 0.09, 증가할 때 0.16 으로 계산된다. 이는 contrast 가 줄어들 때보다 늘어날 때가 더 인지적으로 차이를 느끼지 못한다는 것이다. 가장 만족도가 높은 contrast 를 측정한

뒤, 이에 대한 변화값을 조정함에 있어서 줄어들 때의 차이를 늘어날 때 보다 작게 잡음으로써 인지적인 부조화를 감소시킬 수 있다.

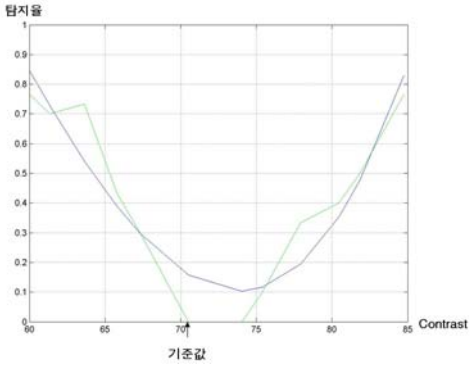

그림 3. Contrast 의 JND 측정

그림 4 는 brightness 를 변화시켰을 때 탐지확률의 변화를 나타낸 것이다. 기준 brightness 인 92.54 를 중심으로 JND 는 80.26, 106.08 인 것으로 추정된다. 양쪽 JND 에 대하여 베버상수를 구하면, brightness 가 줄어드는 방향에 대해 0.13, 늘어나는 방향에 대해 0.14 로 계산된다. 비슷한 결과값으로 나타났으며, 줄어들거나 늘어나는 변화량이 아닌, 절대적인 인간 인지 한계에 대한 추가 연구가 필요할 것이다.

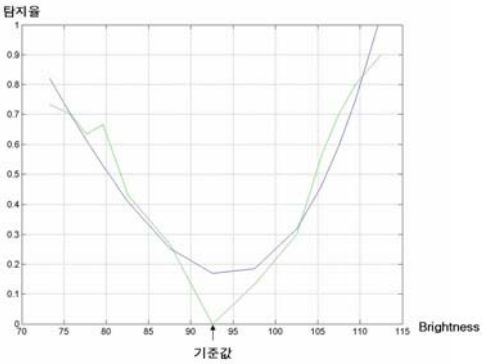

그림 4. Brightness 의 JND 측정

Color 에 대한 JND 를 구하기 위해 R, G, B 의 양에 따른 탐지확률의 변화를 도시하고 2 차 다항식에 의해 fitting 한 곡선으로부터 50%의 탐지확률 지점인 JND 를 구하면 그림 5 와 같다.

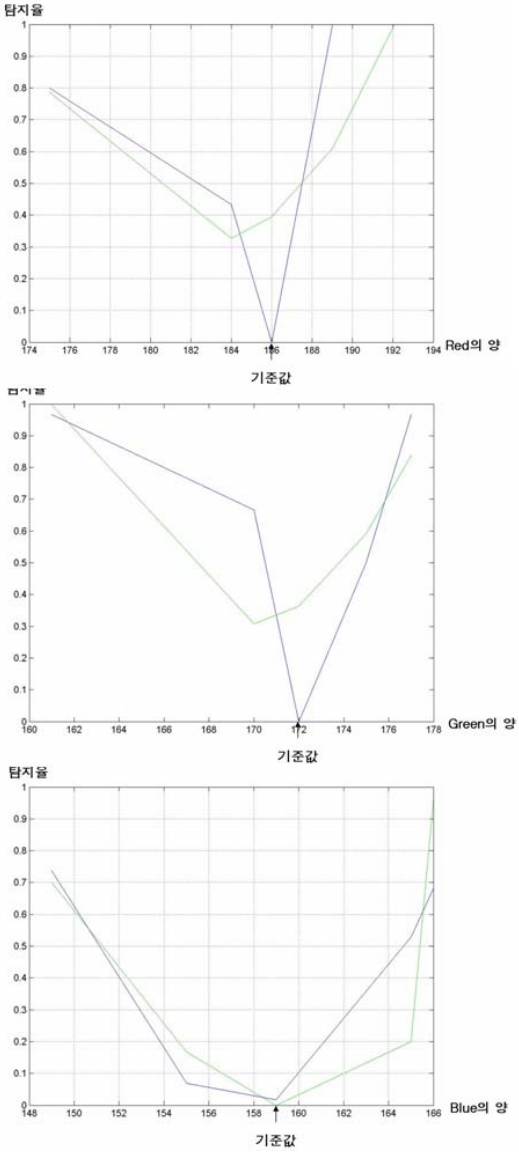

그림 5. Red, Green, Blue 색상의 JND 측정

표 9. Color 의 JND

Color	JND(감소방향)	기준량	JND(증가방향)
Red	177.93	186.00	187.70
Green	165.01	171.00	174.04
Blue	150.53	159.00	164.80

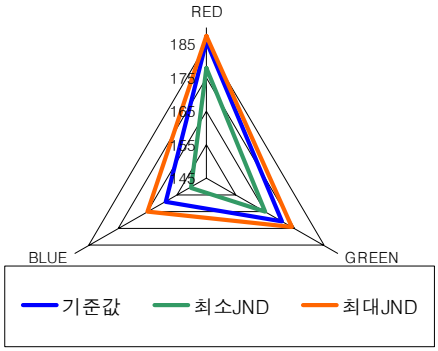

그림 6. Color 별 JND 의 범위 비교

색상의 경우, 밝기나 대조와는 달리, R, G, B 의 각 변수들의 조합에 의해서 하나의 색상이 도출되므로 개별적인 JND 보다는 JND 의 상대적인 비율이 더욱 의미가 있다. 그림 6 의 그래프를 보면, 기준치로부터 RED 의 JND 가 조밀하고, 그 다음이 GREEN, 그리고 BLUE 는 가장 기준치로부터 멀리 떨어져 있음을 알 수 있다. 이것은 RED 톤의 변화에 가장 민감하고, BLUE 톤의 변화에 가장 둔감하다는 것을 의미한다.

4. 결론

본 연구에서는 감성평가 실험을 통해 디스플레이에 관한 감성만족도 모형을 개발하고, 사용자의 감성 만족도를 고려한 주요 설계 변수의 최적 수준을 도출하였다. AHP 기법을 이용해 화질 만족도에 영향을 주는 것이라 판단되는 중요 감성으로 정교성, 선명함, 사실감, 입체감, 밝음 및 색감의 6 가지를 도출했다. 도출된 중요 감성들을 이용한 감성평가 실험 결과를 다항회귀모형, 선형회귀모형, GLM 등의 통계 기법을 활용하여 분석해 사용자의 화질 만족도를 가장 잘 설명할 수 있는 감성 모형을 도출하였다. 또한 각 설계변수의 JND 를 측정하여 설계변수 별 사용자의 민감도를 도출하였으며, contrast, brightness, RGB 의 경우 설계변수의 증가, 감소에 대한 각각의 민감도를 도출하고 이를 비교하였다.

모바일 디바이스는 제품의 특성상 디스플레이가 소형화되는 것이 대부분이며, 이로 인해 일반 LCD 와는 다른 관점에서 사용자의 화질 만족도를 고려해야 한다. 위의 실험 결과들은 이러한 모바일 디바이스 디스플레이를 설계함에 있어 초점을 맞추어야 할 요인들과, 그 요인들의 범위를 추정할 수 있는 근거를 제시하고 있다. 따라서 이후 모바일 디바이스의 디스플레이 설계에 있어 상세 지침들을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 최영준, 기능-감성의 계층구조 전개 기법을 이용한 휴대전화 사용편의성 평가방법론, 서울대학교, 2005

[2] 정광태 외, 휴대폰의 사용자 인터페이스 설계를 위한 사용자들의 기초 사용특성 분석, 대한산업공학회, 15 권, 1 호, pp.73~81, 2002

[3] Greenberg, D.P.,, A framework for realistic image synthesis, Communications of the ACM, Vol. 42, 8, pp. 44~53, 1999

[4] Mania, K., Adelstein, B.D., Ellisk, S.R., Hill, M.I., Perceptual sensitivity to head tracking latency in virtual environments with varying degrees of scene complexity, 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization, pp.39~47, 2004

[5] 한성호 외, 사용편의성 평가기술 개발, 대한인간공학회, 1998

[6] 윤명환 외, Incorporating user satisfaction into the look-and-feel of mobile phone design, Ergonomics, Vol. 46, pp.1423-1440, 2003

[7] Tombling, C., and Tillin, M., Innovations in LCD technology, Synthetic Metals, Vol. 122, pp.201~214, 2001