Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.20, No.2, pp. 59-70, August 2001

CRT 모니터의 감성품질 정량화를 위한 심물리학적 접근: White Uniformity 품질 평가*

A Psychophysical Approach to evaluating the perceived image quality of CRT: White Uniformity Quality

이욱기** · 김성환*** · 이선규** · 이광희** · 김상수****

ABSTRACT

White uniformity is one of the important inspection factors determining the image quality of CRT screen. In the full white pattern, white uniformity means the degree of uniform distribution of white color across the whole screen. To elicit the sensitivity factors affecting the decision of the white uniformity quality, experiments in which participants were confronted with 6 evaluation points embedded in 3 measurement groups on a CRT screen were conducted to gather the psychophysical data that are the level of white uniformity subjects perceived and CA100 produced. These data were used to develop a modified CIE1976 equation for calculating white uniformity. Performance comparison between the original CIE1976 equation and the modified equation was conducted in terms of accuracy test and magnitude estimation. It was concluded the modified equation is more sensitive in the change of white uniformity, compared to the original CIE1976 equation.

Keywords: CRT, Psychophysics, CIE1976, Accuracy test, Magnitude estimation

* 본 연구는 금오공과대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음.
** 금오공과대학교 산업경영학과 전화:054-467-4376, Email: wookgee@kumoh.ac.kr
*** LG전자 생산기술원 지식기반그룹 전화:031-660-7066, Email: kimseonghwan@lge.com
**** LG전자 DID사업부 생산기술그룹 전화:054-460-2764, Email: greatkim@lge.com

1. 연구의 목적

모니터 화질평가에 대한 중요성이 증대되고 있지만, 화질 평가는 평가자 및 관련 제조업체마다 서로 다른 기준(정량적 또는 정성적, 주관적 또는 객관적)에 의해 이루어지고 있으며 주로 검사자의 주관적인 육안판정에 의존하고 있다. 특히, 모니터 품질평가의 주요 요소인 백색균일성(white uniformity)은 전면 백색바탕(full white pattern)에서 구현된 색의 균일성 정도로 정의되고있으며, 일반적으로 검사자의 육안 및 광학 기기를 이용하여 측정 및 검사를 시행하고 있다. 그러나, 품질평가를 육안검사에 만 의존할 경우 검사자들 간의 개인차 때문에 품질 평가의 일관성 및 신뢰성이 저하되는 문제점이 있는 것으로 지적되고 있다. 따라서, 본 연구에서 모니터의 감성품질을 모니터 사용자가 평가하는 품질의 정도로 정의하며 또한 감성품질은 모니터의 백색균일성(white uniformity)에 의해 결정된다는 가정 하에, 백색균일성을 객관적이고 정량적으로 평가할 수 있는 기준을 개발하고자한다. 이를 위해 균일성(uniformity) 평가에 이용되는 CIE1976 방법론에 보다 경험적이고 객관적으로 중요하다고 알려진 균일성 품질결정인자들을 반영한 수정된 CIE1976을 개발하고 이의 평가 결과를 제시한다.

따라서, 본 연구에서 모니터의 균일성 품질결정인자들에 대한 설명과 이에 근거하여 개발된 수정CIE1976 방정식을 제시하고, 기존 CIE1976 방정식과의 성능 비교를 심물리학적(psychophysical)접근을 통해 규명하고자 한다.

2. 연구 배경

모니터 품질평가체계에는 일반적으로 주관적 접근법과(subjective approach) 객관적 접근법(objective approach) 등 두 가지가 제시되고 있다. 주관적 접근법은 인간의 시각적 인식에 근거한 방법론이고, 객관적 접근법은 다양한 기기 및 소프트웨어의 이용을 통한 기계적(또는 광학적) 특성에 근거하는 방법론이다(Besuijent and Spenkelink, 1998). 이상적인 상황 즉, 색상측정방법론의 궁극적인 목표는 주관적 또는 객관적 방법론에 의해 도출된 품질평가 결과가 정확하게 일치하는 경우이다. 그러나, 현실적으로 두 방법론의 적용 결과에서 차이가 나는 것은 응용과정에서 적절한 측정 및 평가방법론의 부재 및 부적절한 적용에 의해 발생한다고 볼 수 있다 (Brun, 1980; Gould et al., 1987).

모니터의 품질평가 방법론 측면에서, 측정의 목적이 모니터 사용자가 스크린에 표시된 대상물을 어떻게 인지하는 가를 측정하는 것이 그 목적이므로, 모니터를 측정한다는 의미는 인간의 시각적 인지행위를 측정한다는 말과 동일하다고 할 수 있다. 따라서, 모니터 품질 측정 및 평가는 인간의 시각 시스템 특성의 측정 및 평가이고, 인간의 시각 인지시스템 모델을 개발하는 것은 기계적 측정으로 인간의 시각적 평가를 대체한다는 의미이다 (Glasser, 1997).

한편, 색상과학분야에서 객관적 측정방법론

개발 노력의 결실 중 하나로서, 1931년 영국의 두 과학자 Guild 와 Wright가 각각 서로 다른 실험에서 색상대조(color-matching) 시스템을 제시하였다. 특히, CIE1931 색상 시스템의 기저는 이와 같은 색상대조함수(color-matching function)이며(Berns, 2000), 그 후 추가적인 연구활동을 통해 CIE1976가 제시되었다. 이 CIE1976은 삼자극(tristimulus) 개념에 근거하여 균일성을 정량적으로 평가하는 방법론이며 이러한 정량적 방정식의 최종 결과 값은 기계적으로 (CA100 등과 같은 광학기기) 측정된 색상차에(color difference) 근거한 것이다.

특히, CIE1976 시스템은 전면백색화면(full white screen)을 5개 또는 9개의 구간으로 나누어 모니터의 균일성을 측정함으로서 인지적 색상 구조가(perceptual color specification) 2차원의 색좌표 상에서 구현될 수 있도록 설계되어졌다. 예를 들어, CIE1976 시스템에서 균일성을 산출할 때(균일성이 불안정할 경우) 스크린의 중심점에서의 색좌표 값(color coordinate)과 목표위치의 색좌표 값과의 비교를 통해 그 균일성 정도를 산출한다. 그러나, CRT 모니터의 경우, 전자빔이 새도우 매스크(shadow mask)에 도달하는 각도가 매우 큰, 스크린의 구석부분에서 균일성이 매우 나빠지는 경향이 있다. 또한, 실생활에서 색상의 균일성 평가는 인간의 인지적 요소에 더 의존한다는 것을 고려할 때, 여전히 인지적 평가와 색상좌표에 의한 평과 결과 사이에 차이가 발생하여 CIE1976의 수행도에(performance) 문제가 제기되고 있다.

따라서, 색상시스템의 균일성 평가 성능을 향상시키기 위해, 실제 실험자료에 근거한 $\Delta E^*u'v'$나 ΔE^*ab와 같은 수정된 CIE 방정식이 제시되었다. 또한, CMC 색상차 방정식(Clarke et al., 1984)은 이들 중 가장 일반적으로 알려진 것으로 염색산업에서 색상차에 대한 시각적 실험에 근거하여 제시되었고, CIE1994는 다양한 시각조건에서 색상차를 고려하여, 명도(lightness), 채도(chroma)와 색조(hue) 요소의 상대적 가중치를 조절할 수 있도록 개발되어 일반 산업체에서 많이 이용되고 있다. 그러나, 이러한 연구들의 노력에도 불구하고 이러한 연구들의 단점은 품질평가의 객관성을 강조하기 위해 인간의 색상 인지와 직접적인 관련이 적은 물리적 인자들을 이용하고 있다는 점이다 (Hill et al., 1997; Walraven, 1992). 즉, 색상의 광도(brightness), 명도(lightness) 또는 색조(hue)를 하나의 물리적 인자로 완벽하게 설명하는 것은 불가능하며, 기존의 연구에서 검사자가 제품을 평가할 때 어느 인자가 중요한지에 대한 공통의견, 또는 주관적 및 기계적 측정의 평가결과가 다를 때 어떻게 이를 해결할 것인지에 대한 연구자들의 공동된 의견이 도출되지 않다는 점을 인지하여야 할 것이다 (Fairchild, 1998).

3. 수정CIE1976 방정식

삼원색(tricromatic) 색상표현법은 3차원 공간에서 색상을 벡터로 표시하기 위해 기본적으로 XYZ 색좌표로 설계되었다(Fairchild,

1997). CIE1931이 최초로 제시된 후, CIE1976은 CIE1931의 X, Y 색상좌표의 선형변환에 근거하여 제시되었으므로, 여전히 CIE1976에서 색상인자들은 직선성을 띄고 있다(Synder, 1980; Walraven, 1992). 예를 들어, CIE1976은, CIELUV로 표현되는, 다음과 같은 식(1)으로 표현된다.

$$\triangle E^{*}u'v' = [(L'_1 - L'_2)^2+(u'_1 - u'_2)^2+(v'_1 - v'_2)^2]^{1/2} \quad (1)$$

여기서 L'은 휘도(luminance)를 의미하고 u'와 v'는 전면백색바탕(full white field)에서 색좌표를 의미한다. 이처럼 CIE 1976은 휘도(luminance) 및 색좌표를 (chromaticity scale diagram) 이용하여 균일성을 평가하기 때문에 두 관측지점에서의 균일성 정도를 평가하는 데 매우 유용한 도구이다. 따라서, 색상오차가 심한 것으로 알려진 TV나 CRT와 같이 첨가적색상대조(additive color-mixing) 시스템의 색상계(gamut)를 구현하고자 할 때 주로 이용된다. 그러나, 다른 종류의 휘도(luminance) 색상인자를 포함할 경우, 표현된 색상의 해석에는 매우 세심한 주의가 요구된다. 예를 들어, 고채도검정(high-chroma dark) 색상의 경우, 기준이 되는 검정색과 시각적으로 더 밝은 검정색은 동일한 색조(hue)나 채도(chroma)를 가지지만 기계적 측정에서 두 색상에 대한 u'v' 공차는 서로 다르다. 따라서, CIE1976의 u'v' UCS 좌표에서 휘도(luminance) 인자로 구성된 함수의 색좌표에서 균일성과 인지적(perceptual) 균일성 사이에 차이가 난다 (Bern 2000).

이러한 관점에서 기존의 CIE1976 방정식에 모니터의 중앙과 목표 위치의 색상차, 주변과의 색상차, 불량의 면적, 색의 종류 등의 인자를 고려한 수식을 제시하고자 한다. 또한 이러한 인자들은 기존의 경험, 인간공학(Jorna, 1991; Padmos and Milers, 1992; Zhu and Wu, 1990), 심물리학(Geshceider, 1985), 디스플레이(Barten, 1990; Barten, 1991; Brill, 1990; Cappels, 1993; MacAdam, 1942; Purnomo et al., 1997; Sherr, 1993; Siminoff, 1997; Snyder, 1984), 국제표준 (ISO 9241-3) 등에 근거하여 제시되었으며, 모니터 화질평가 시 검사자 또는 일반사용자가 이러한 인자들에 의해 영향을 받아 모니터품질을 다르게 평가한다는 가정을 하고 있다. 또한, 본 연구에서 포함된 인자들은 국내 모 모니터 생산업체의 내부적 파일럿테스트를 통해 중요한 인자로써 엔지니어들이 인정한 것들이다. 본 연구에서 고려된 인자들은 다음과 같다.

① 중앙(center)과의 색깔 차이:

일반적으로 모니터의 화질은 중앙부분이 가장 좋기 때문에 중앙부분과의 색깔 차이가 클수록 불량이 될 확률이 증가한다.

② 주변과의 색깔 차이:

중앙과의 색깔 차이와 무관하게 주변과의 색깔차이가 크면 상대적으로 더 좋거나, 나쁘게 보일 수 있다.

$$\left.\begin{aligned} \text{White uniformity(WU)} &= \left(\text{Color_Weight}_1 \oplus [\text{CD}_a \oplus \text{AREA}]\right)^{1/k} \\ \text{Brightness uniformity(BU)} &= \left(\text{Color_Weight}_2 \oplus \Delta E^* \oplus \Delta B^*\right)^{1/k} \\ \text{Modified measure} &= \text{WU} \oplus \text{BU} \end{aligned}\right\} \quad ---(2)$$

③ 불량의 면적:

넓게 분포하는 경우가 좁게 분포하는 경우보다 나쁘게 보인다.

④ 색의 종류:

같은 색깔 차이라도 색이 무슨 색이냐에 따라 사람이 느끼는 정도가 다를 수 있다.

위와 같은 인자들을 고려하여 개발된 식은 식(2)와 같다.

여기서 Color-Weight는 재현된 색상에 따른 실험적 가중치이고 ΔE^*는 중앙과 목표치와의 색상차이고, CDa는 주변과의 색상차이며, ΔB^*는 중앙과 목표치와의 밝기차이며, AREA는 불량면적, ⊕는 임의의 연산자이고, 또한 k는 경험적으로 결정되는 상수이다. 식을 도출하는 기본 아이디어는 기존의 CIE1976 식에 경험적으로 제시된 품질요소들의 적절한 결합이 이루어짐으로서 기존식에 비해 향상된 수행도를 얻고자함이다. 그러나, 수식의 구체적인 도출방법은 본 연구의 공동추진기관인 기업 자산인 관계로 본 연구에서는 제시하지 못하고있다.

3. 실험방법

3.1 Subjects

개발된 감성품질 평가방법에 대한 성능 검증은 일반소비자 203명을 대상으로 진행되었다(표1). 피실험자 구성은 모니터 구입 비율이 여자보다는 남자가 많기 때문에 남녀 비율

표1. 피실험자의 성별 및 나이분포

성별 \ 연령별	18~24세	25~29세	30~34세	합
남자	58 명	45 명	36 명	139 명
여자	29 명	19 명	16 명	64 명
합	87 명	64 명	52 명	203 명

을 대략 7:3으로 하여 남자 139명, 여자 64명이었고, 나이 분포는 18 ~ 24세 87명, 25 ~ 29세 64명, 30 ~ 34세 52명으로 구성하였다. 피실험자 선정 기준은 모니터를 많이 사용하는 계층을 대상으로 하기 위해 1주일에 적어도 PC를 5번 이상 사용하며, 컴퓨터 관련 또는 기타 동호회에 가입하여 활동중인 사람으로 제한하였다. 설문 조사 결과 피실험자의 주별 PC 사용 횟수는 6.9회였고, 1일 평균 PC 사용 시간은 4.54 시간이었다.

3.2 장비

실험에 사용한 모니터는 연습용 모니터 1대, 실험용 모니터 10대이고, 모두 동일회사에서 생산한 17인치 평면 모니터이다. 그림1은 평가 점들을 추출하기 위한 43 점을 나타내고 있다. 이 43 점에 대한 광학적 특성은 Minolta에서 개발한 색 측정 장치인 CA-100을 이용하여 측정하였다.

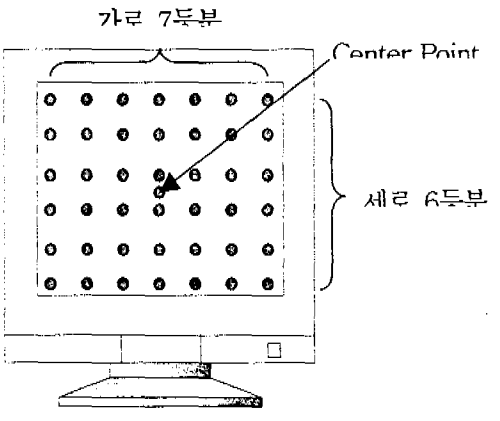

그림1. 모니터에서 설정된 CA100 측정위치

3.3 일치율(Accuracy Test)과 크기 비교(Magnitude Estimation)

하나의 모니터 스크린에 제시된 43개의 측정 점으로부터 CA100으로 측정된 색좌표 값을 이용하여 모니터 1대 당 3개의 조합(1개의 조합은 2개의 점으로 구성되므로 6개의 점)을 추출하였다. 이는 일치율(accuracy test)과 크기비교(magnitude estimation)를 통해 본 연구에서 제시된 수정CIE1976 수식의 성능을 기존의 CIE1976과 비교하기 위해서이다. 즉, 본 실험의 목적이 기존 평가 방법과 새로 개발한 평가 방법의 성능을 비교하는 것이기 때문에 점들의 선정 기준은 1개의 조합에 포함된 2개의 점이 서로 상반된 광학적 균일성 평가 결과를 보이도록 하였다. 즉, 2개의 점을 A, B라고 했을 때, 기존 CIE1976 평가 방법으로는 A 점이 B 점보다 백색균일성 수준이 나쁘고, 새로 개발한 평가 방법으로는 B 점이 A 점보다 더 나쁘게 평가되는 2 점을 3개의 조합으로 선정하였다. 따라서, 각 모니터간에 선정된 평가 점들은 서로 위치가 다르며 그 광학적 평가 값도 다르다. 또한 조합내의 두 점은 두 가지 수식으로부터 산출된 값에 근거하여 실험자가 임의로 선정하였기 때문에 각 모니터마다 구체적인 값은 동일하지 않다.

3.4 실험절차

모니터의 설치 및 CA100 색상 측정기를 이용한 측정 점들의 선정 후, 피실험자는 우

선 진행 요원으로부터 백색균일성(white uniformity)의 개념 및 크기비교(magnitude estimation)에 대해 교육을 받았으며, 예비단계에서 연습용 모니터를 이용하여 지정된 점에 점수를 할당함으로서 균일성 수준에 대한 개인적인 점수 할당 기준을 설정하도록 하여 크기비교에 익숙해지도록 하였다(그림 2). 감성적인 점수는 선정된 점에 대해 피실험자 본인이 느끼는 나쁜 정도를 점수로 표현하도록 하였다. 즉, 가장 좋은 균일성 수준을 0으로 가정하고, 점수의 상한선은 제한하지 않았다. 예를 들어, 피실험자로 하여금 선정된 2개의 점으로 구성된 하나의 조합에서 어떠한 점이 더 나쁘게 보이는지를 선정하도록 하였으며, 또한, 각 점들에서 인지적으로 균일성의 나쁜 정도를 기입하여 일치율과 크기비교에 이용하고자하였다. 만약 우열 판정을 할 수 있는 것이면 더 나쁘게 보이는 점을 선정하도록 하였고, 우열 판정이 어려운 것은 동일하다고 대답하도록 하였다.

실험 진행 도중 자신의 점수 할당 기준에 의문이 생기면 언제든지 연습용 모니터에서 자신이 할당한 점수를 확인할 수 있도록 하여 점수의 일관성을 유지하게 하였다. 또한, 피실험자의 오류를 보완하기 위해 크기비교(magnitude estimation)를 2번 반복하여 측정하였고, 일치율검증(accuracy test)을 1회 실시하였다.

4. 결 과

실험자료의 분석에서, 한 명의 피실험자가 모든 10대의 모니터에 대해 실험을 완수해야 하는 실험의 완결성 및 설정된 점의 $\Delta E^*u'v'$ 값(이 값은 실제 생산현장에서 20 이하로 존재하여야하나 실제 실험에서 이 값을 초과하는 경우가 발생하여 실험자료에서 제외시킴) 등을 고려하여 600 개의 자료에 대하여 분석이 이루어졌다.

4.1 일치율(Accuracy test)

일치율은 선정된 2점 중 어느 점이 더 나쁜 균일성을 보이는지에 대한 시각적 인지평가와 광학적 측정결과와의 비교평가이다. 즉, 주관적 평가와 광학적 평가가 어느 정도 일치하는 가에 대한 평가이다.

표2는 "기존수식" 및 "수정수식"으로 구분한 일치율의 결과를 나타내고있다. 평가자의 62.88%가 수정CIE1976 수식과 동일한 균일성 평가를 보였으며 나머지 37.12%가 기

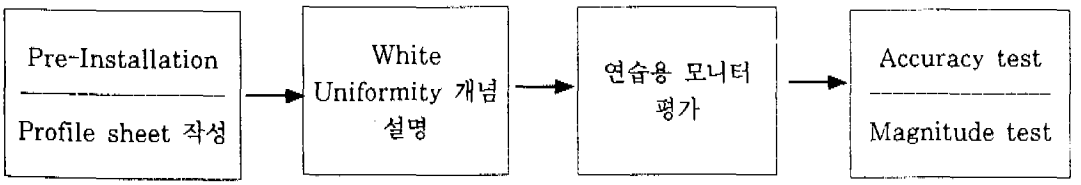

그림 2. 실험절차 흐름도

표 2. 일치율(Accuracy test)의 결과(단위:%)

	평균	성별		나이		
		남자	여자	18~24 세	25~29 세	30~34세
기존수식	37.12	37.16	40	39	38.67	38.33
수정수식	62.88	62.84	60	61	61.33	61.67

표 3. 크기비교(Magnitude estimation)의 결과(범위: 0~1)

	합	성별		나이		
		남자	여자	18~24 세	25~29 세	30~34세
기존수식	0.3287	0.3192	0.3536	0.3285	0.3191	0.2912
수정수식	0.3592	0.3506	0.3873	0.3532	0.3574	0.3274
p-value	0.0009	0.0010	0.0003	0.0055	0.0004	0.0001

존의 CIE1976과 동일한 평가 결과를 보였다. 또한, 성별 및 나이에 따른 구분과 상관없이 정확도(accuracy)는 균형적으로 분포하고있다. 이로부터 객관적 수식을 이용하여 균일성의 수준을 비교 평가하고자 할 때, "기존수식"을 이용하는 것보다 "수정수식"을 이용하는 것이 검사자 및 일반사용자의 평가결과와 더 일치한다는 것을 의미한다.

4.2 크기비교(Magnitude Estimation)

크기비교는 두 측정 점에서 균일성이 상대적으로 더 나쁜 것으로 판정된 점에 대해서 얼마 정도로 나쁜지에 대한 크기 평가이다. 예를 들어, 피실험자가 예비평가에서 어느 점의 균일성 수준을 4로 인지하였을 때, 본 실험에서 현재 측정 점의 균일성이 2배로 좋은 것으로 인지했다면, 그 인지 평가수치는 2점이 되고, 2배로 나쁘게 인지하였다면 8점으로 평가된다.

모든 실험이 종료된 후 표3에 제시된 것처럼 광학적 측정치를 근거로 하여 "기존수식" 및 "수정수식"으로 분류하고, 각 분류 내에서 최저 및 최고점을 기준으로 표준화를 함으로서 변형된 평가점수들은 0~1사이에 존재하게되며, 높은 평가점수일수록 더 나쁜 균일성을 의미한다.

동일한 자료를 2종류의 수식에 적용한 결과, 수정CIE1976수식 그룹이(0.3592) 기존수식그룹(0.3287)에 비해 더 높은 평가점수 결과를 보였으며(표3), 두 그룹은 통계적으로(5% 유의수준) 서로 유의한 차가 있는 것으로 평가되었다. 즉, 균일성의 나쁜 정도 크기는 통계적으로 수정CIE1976 수식그룹에서 더 나쁘게 평가되었다는 것을 의미한다. 크기점수(magnitude score)가 균일성에 대한

인지점수와 수식의 비교에 근거하여 얻어진 것임을 고려할 때 수정CIE1976수식이 백색균일성평가에서 보다 민감하게 반응하는 것으로 해석되므로 실제 이용에 더 유용할 것으로 사료된다. 특히, 여자 검사자의 경우, 남자들에 비해 균일성 수준에 더 민감한 것으로 나타났다.

5. 결론 및 토의

본 연구에서 모니터의 화질검사에서 중요한 요소로 인식되고 있는 백색균일성의 품질평가를 위해 주요 품질결정인자들을 도출하여, 객관적인 기준 없이 검사자의 육안검사에 의존하는, 즉, 사람의 감성에 의존하는 품질평가의 정량화 및 기존의 방법론에 비해 보다 향상된 평가능력을(performance) 가진 심물리학적 균일성 평가수식을 제시하였다. 화질평가의 정량화는 작업자간에도 차이를 보이고 있는 백색균일성을 객관적으로 평가할 수 있는 기초가 되며, 객관적인 정량평가를 통해 균일성 품질 산포 개선 및 품질 향상을 달성할 수 있을 것으로 생각된다.

일치율(Accuracy test)과 크기비교(magnitude estimation) 분석에서, 개발된 백색균일성(white uniformity) 평가 방법론이 기존의 방법론보다 우수하다는 것이 검증되었다. 이는 일반 소비자들이 백색균일성을 평가할 때 균일성이 색상 차이 뿐 아니라 본 연구에서 제시한 주변 점들과의 관계, 불량면적, 색의 종류 등에 영향을 받고 있음을 나타낸다. 한편, 수정수식이 기존수식에 비해 더 좋은 결과를 보인 것은 보다 많은 물리적 인자가 첨가됨으로서 달성된 것으로 고려됨과 동시에, 역설적으로 실제 모니터 생산업체에서 균일성 평가를 위해 기존의 CIE1976 수식을 사용할 경우, 평가결과에 대한 신뢰성은 매우 낮다는 의미로도 해석될 수 있을 것이다. 또한, 기존의 실험 자료, 색상연구 및 소비자요구분석 등에 의해 본 연구에서 도출된 인자들은 매우 중요한 균일성 품질결정인자로서 고려되어져야할 것이다.

한편, 수정CIE1976 수식은 백색균일성(white uniformity)과 광도균일성(brightness uniformity)을 조합함으로서 최종 도출되었는데, 이는 기존 소비자들이 균일성 평가에서 이 두 가지 평가 인자를 명확히 구분하지 못한다는 기술적인 측면이 고려되었다. 물론, 이러한 접근법의 객관성을 유지하기 위해 이론적 및 신뢰성부분에서 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 즉, 일반적으로 사람의 감성변화는 Log 함수를 따른다고 알려져 있으므로(Gescheider, 1985), 함수의 기본형을 Log 함수와 유사한 함수형태로 설정하거나, 이에 따른 적절한 가중치를 설정해나가는 형태로 함수를 유도하여야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

Barten, P. G. J., 1990, Subjective image quality of high-definition television pictures, Proceedings of the SID, Vol. 31(3), 239 - 243.

Barten, P. G. J., 1991, The effect of glass transmission on the subjective image quality of CRT pictures, Proceedings of the SID, Vol. 32(4), 285 - 288.

Berns, R. S., 2000, Billmeyer and Saltzmans Principles of color technology (3rd Edition), John Wiley & Sons (Now York).

Besuijen, K. and Spenkelink, G.P.J., 1998, Standardizing visual display quality, Displays, Vol. 19, 67-76.

Brill, M. H., 1990, Perceiving, Measuring, and Using Color, Proceedings of SPIE Volume: 1250.

Brun, J., 1980, Comparative Evaluation of High-Resolution Color CRTs, SID Digest, 166-167.

Cappels, R., 1993, Metrics to Relate Screen Spatial Nonuniformity to Subjective Image Quality, SID DIGEST, 71-74.

Clarke, F.J.J., McDonald, R., and Rigg, B., 1984, Modification to the JPC 79 colour-difference formula, J. Soc. Dyers Colourists, 100, 128-132.

Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs), ISO 9241-3, 1992.

Fairchild, M.D., 1997, Color appearance models, Addison Wesley (Massachusetts).

Gescheider, G.A., 1985, Psychophysics: Method, Theory, and Application, (Lawrence Erlbaum Associates, 2nd Edition, London).

Glasser, J., 1997, Principles of display measurement and calibration, in Display Systems: Design and Application, Edited by L.W. MacDonald and A.C. Lowe (John Wiley and Sons, New York).

Gould, J.D., Alfaro, L., Barnes, V., Finn, R., Grischkowsky, N., Minuto, A., 1987, Reading is slower from CRT displays than from paper, Human Factors, 29, 268-299.

Hill, B., Roger, T., and Vorhagen, F. W., 1997, Comparative analysis of the quantization of the color spaces on the basis of the CIELAB color difference formula, ACM Transactions on Graphics, Vol. 16(2), 109-154.

Jorna, G. C., 1991, Image quality determines differences in reading performance and perceived image quality with CRT and hard-copy displays, Proceedings of the Human Factors Society 35th annual meeting, 1432 1436.

MacAdam, D. L., 1943, Specification of small chromaticity differences, J. Opt. Soc. Am., Vol. 33, 18-26.

Padmos, P., and Milders, M. V., 1992, Quality criteria for simulator images: a literature review, Human Factors, 34(6), 727-748.

Purnomo, M.H., Hasegawa, H., Asano, T.,

Shigeta, K., and Shimizu, E., 1997, A hybrid knowledge based approach for detecting color defect on the electronic displays, Proceedings of the 22nd international conference on computers and industrial engineering, 535 538.

Sherr, S., 1993, Electronic Displays, (A Wiley-Interscience publication, 2nd edition, New York).

Siminoff, R., 1997, Color Perception of Aperture Colors Using a Computational Model of the Human Visual System, Real-time Imaging 3, 17-35.

Snyder, H. L., 1984, Flat-panel Displays and CRTs , edited by L. E. Tannas, Jr., Chapter 4. Image quality: Measures and visual performance, 70-90.

Snyder, H.L., 1980, Human visual performance and flat panel display image quality, prepared for office of naval research, Code 455.

Walraven, J. 1992, Color basics for the display designer , Chapter 1., in Color in Electronic Displays, edited by H. Widdel and D.L. Post, Plenum Press (New York).

Zhu, Z., and Wu, J., 1990, On the standardization of VDTs proper and optimal contrast range, Ergonomics, 33(7), 925-932.

저자 소개

◈ 이욱기

부산대학교 산업공학과 학사(1985~1989), 포항공과대학교 산업공학과 석사(1992~1994), University of Louisville, Department of Industrial Engineering (Human factors and Ergonomics) Ph.D(1885~1998), 금오공과대학교 산업경영학과(1999~), 관심분야(biomechanics, industrial safety and psychology, quality evaluation 등).

◈ 이선규

성균관대학교에서 경영학 박사학위 취득 후 현재 금오공과대학교 산업경영학과에 재직 중이며, 관심분야로서 산업 및 작업심리, R&D 생산성, 품질관리, 경영전략 등이다.

◈ 이광희

성균관대학교에서 경영학 박사학위 취득 후 현재 금오공과대학교 산업경영학과에 재직 중이며, 관심분야로서 산업 및 작업심리, 노사 및 인적자원개발이다.

◈ 김성환

포항공과대학교 산업공학과 학사(1990~1994), 포항공과대학교 산업공학과 인간공학 석사(1994~1996), LG 전자 생산기술원 지식기반그룹(1996~), 관심분야(감성공학, data mining, 실험계획법)

◈ 김상수

전북대학교 전자공학과 학사(1990~1996), LG 전자 DDM 사업본부 DID 사업부 생산기술그룹(1996~), 관심분야(화질검사장비 개발)

논문접수일 (Date Received): 2001/4/3
논문게재승인일(Date Accepted): 2001/7/13