

색각이상자를 위한 맞춤형 보조기술과 만족도에 관한 연구

장 영 건*

청주대학교

《요 약》

세계적으로 색각이상 보정을 완벽하게 제공하는 기술은 아직까지 나타나고 있지 않다. 본 연구에서는 색각이상자들이 컴퓨터를 사용하여 자신의 색각 특성에 적합하게 그래픽 콘텐츠를 보정할 수 있는 맞춤형 보조기술을 개발하였다. 개발된 기술을 이시하라 검사와 일반사진에 적용하여, 각각 시험통과율과 만족도를 평가하였다. 적색과 녹색 계통의 색 범위에 대하여 2개의 보정규칙을 규정하여 ICC프로파일을 생성하였다. 이시하라 플레이트 10개를 대상으로 적색각, 녹색각 이상자 각각 5명, 15명에 대하여 시험한 결과 시험 통과율이 99.5%였다. 적색과 녹색 계통을 모두 포함하는 일반 사진 10장에 대하여 보정한 결과, 사진의 자연스러움에 대한 만족도는 5점 만점에 평균 2.69였고, 매우 부자연스럽다는 비율도 10.5%였다. 보정을 많이 한 사람일수록 만족도는 떨어지는 경향을 보였다. 본 연구에서 개발한 기술은 색 혼란은 거의 완벽하게 제거할 수 있지만, 일반 사진에 대한 만족도를 떨어뜨리는 단점이 있다. 색각 보정기술에 대한 만족도를 높이려면 혼란을 일으키는 사진과 그렇지 않은 사진에 대한 적용적인 보정 기술이 필요하다.

주제어 : 색각이상, 디지털 콘텐츠, 맞춤형 보조기술, ICC 프로파일, 만족도, 적응

1. 서론

컴퓨터와 휴대폰과 같이 컬러 디스플레이 장치를 갖는 정보통신기기에서 색을 포함한 그래픽 사용량의 증가로 색각에 이상이 있는 사용자는 예전보다 더욱 디지털 콘텐츠의 접근에 어려움을 겪고 있다. 국내의 웹 문서의 경우 정부기관의 문서조차 색각이상자를 고려하고 있지 않으며, 구체적인 제도조차 마련되어 있지 않다. 이 문제에 대한 국내에서의 연구는 세계적으로 앞서가고 있고, 디지털 콘텐츠의 웹 접근성 측면에서 웹 문서에서의 색맹 고려를 시험하는 프로그램의 출현, 표준의 제안, 보정용 도구의 개발 등 새로운 시도들이 최근에 이루어지고 있으나, 색각이상자들이 쉽게 접근하여 사용할 수 있는 단계에 이르지 못하고 있다.

색각 이상이란 색상의 식별능력이 없는 상태, 즉 흔히 알고 있는 색약이나 색맹을

* 교신저자(ygjang@cju.ac.kr)

말한다. 이는 추상체 종류 중 하나 이상이 정상 수준 이하이거나 전혀 기능하지 않는 경우에 발생한다. 색상 지각에 영향을 미치는 유전자는 X 염색체의 일부이기 때문에 색 기능 장애는 여성들보다 남성들에게 훨씬 많은 영향을 미친다. 한국의 경우 남자는 4.16-5.9%, 여자는 0.31-0.76%가 색상 지각에 장애가 있는 색각 이상자로(남명화, 1980; 이상우, 1986), 세계적으로는 인구 12명 당 1명이 색각 이상을 갖고 있는 것으로 발표된 바 있으나(henderson, 2000; Rigden, 2002), 전자 문서나 웹 문서의 저작자가 이들을 의식하여 문서를 작성하거나 설계하는 경우가 거의 없다.

미국에서는 재활법 508조에서, 국내에서는 정보격차해소에 관한 법률과 행정기관 홈페이지 구축 운영 표준지침에서 웹 기반 정보와 응용에 색상만으로 정보를 전달하지 말 것을 규정하고 있다(조주은, 2005). W3C에서는 WCAG 1.0 Checkpoint 2.1로써 동일한 내용을 규정하고, 그 준수 여부를 검사할 수 있는 소프트웨어를 무상으로 제공하고 있으며, 준수 정도를 평가하여 등급을 표시하는 로고를 해당 웹사이트에 부여하고 있다(Section 508 standards, 2002; W3C, 1999). 그럼에도 불구하고, 아직까지 그래픽 콘텐츠의 색 혼란 유발 여부를 검사할 수 있는 소프트웨어는 세계적으로 개발된 바 없다. 따라서 공급자 측면이 아니라, 사용자 측면에서 색 혼란을 피할 수 있는 도구가 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 색각이상자들이 컴퓨터를 사용하여 그래픽 콘텐츠에 접근할 때 발생할 수 있는 색 혼란으로 인한 정보의 오인식을 제거하거나 그 확률을 감소시킬 수 있는 방법을 고안하고, 그것을 기술적으로 구현하여 임상을 통하여 그 방법의 타당성을 검증하는 것이다.

영국의 Rigden(1999,2002)은 웹에서 사용되는 표준 팔레트 색상에 대하여 제 1색맹, 제 2색맹과 제3 색맹을 모사하기 위한 216개의 팔레트 색상을 정의하였고, 웹에서 적록 색맹에게 적용할 수 있는 216개의 팔레트 색상을 표준으로 제안하였다. 전자의 팔레트는 웹상에서 색각 이상자가 보는 화면을 정상인이 검사해 볼 수 있어 웹 설계자가 자신이 만든 웹 페이지가 색각 이상자에게 문제를 일으킬 수 있는 지를 검사하는데 유용하다. 미국의 Atkinson(1996) 등은 컴퓨터를 이용한 색각 이상 검사를 하여 색각 이상이 있으면 대응되는 색상 팔레트로 해당 응용 프로그램에서 제공되는 팔레트를 변환하는 방식과 보정 시스템을 특허로 제시하였으나, 어떤 방식으로 색상 팔레트를 변환하는지에 대한 설명은 없다. 미국의 Meyer와 Greenberg(1988)는 색맹이 느끼는 색상에 대한 연구를 수행하여 적록색맹 및 청색맹에 대하여 그들이 인지하는 색의 스펙트럼과 실제 색상들의 관계를 이론적으로 정립하였으며, 실제 색각 이상자에 대하여 실험을 수행하여 그 타당성을 입증하였다. 이 연구는 이후 색각 이상자의 시각을 모사하는 Brettel(1997)의 연구와 같은 여러 연구와 구현에서 그 근거가 되고 있으며, 정상인이 색각 이상자의 시각 현상을 이해하고, 평가하는데 큰 기여를 하였다. 상업적으로는 영국의 British Telecommunication의 디비전인 BtExact Technologies에서 웹 디자인에 관련한

상업적인 색맹 관련 서비스와 컨설팅을 업무로 하고 있고, 미국에서는 스탠포드 대학의 벤처기업인 Vischeck(2002)에서 TV 등 비디오 현시장치에 대한 컨설팅 및 특히 판매를 하고 있으며, 대상 화면을 분석하여 보정을 행하는 것이 특징이다.

장영건(2003, 2006, 2007a, 2007b)은 컴퓨터 또는 통신 단말기에서의 색각 보정에 대하여 일반적 전자문서에 대한 접근 방식을 제시하고, 컴퓨터로 구현하였고, 웹 문서에서의 색 혼란을 줄이기 위하여 색온도느낌을 고려한 색 대조 알고리즘을 제시하였다. 그는 기존의 W3C 색대조 평가 알고리즘에 색온도 느낌을 추가하였을 때, 색 대조가 증가함에 따라 가독성이 좀 더 선형적으로 증가한다는 것을 임상을 통하여 입증하였으며, 학습장애자들에게도 효과가 있다는 것을 보여주었다. 또한 색 혼란 보정을 위하여 보정용 ICC프로파일을 생성하였고, 이를 컴퓨터에 적용하기 위한 도구를 개발하였다. 색각 이상 보정용 프로파일을 사용하여 10개의 이시하라 플레이트에 적용한 결과 57%의 시험 통과율을 보여, 적용 전 20%의 통과율에 비하여 3배 정도의 성능이 향상되었다고 발표하였다. 이 연구에서 적용한 보정 방식은 Han(2004)의 방식과 동일하게 각각의 색에 대한 규칙기반을 적용한 것이다. 그의 결과는 색각이상자 뿐만 아니라 정상인을 대상으로 색각이상 모사기를 사용하여 얻은 결과로써, 신영주(2006) 등이 색각이상자만을 대상으로 한 결과와 직접적인 비교가 불가능하며, 시험 집단의 수도 적다.

Han(2004)은 색각이상자에게 혼란을 주는 특정한 색들을 변환하는데 사용될 수 있는 색역사상방식과 구조를 제안하였다. 그의 연구는 특히 3차원의 간략화된 정도를 갖는 참조표를 이용하여 변환하는데 필요한 메모리의 용량과 계산 부담을 크게 감소시켜 실시간 처리에 유리하다. 실험결과로써 혼란을 주는 이시하라 플레이트 하나를 대상으로 색역사상 규칙을 적용하여 변환된 플레이트의 색 영상과 그 영상의 흑백 영상을 제시하였다. 실험에 사용된 규칙은 적색, 황색, 오렌지색을 억압시키고, 녹색을 강조하는 것이다. 실제로 사상규칙은 수치로 표현된 R, G, B 값의 입력 대 출력 값으로 표현된다. 그는 예시한 사상규칙 표에서 많은 입출력 데이터를 제시하였으나, 색각이상 보정용으로 실험에 사용된 값들의 데이터를 제시하지 않았으며, 임상 실험을 수행하지도 않았다.

Yang(2004)과 Nam(2005) 등은 비정상 삼색각자, 즉 색약자에 대한 색 적응 변환 방식을 사용하여, 색의 채도와 밝기를 변화시키는 보정 방식을 발표하였다. 이 연구는 국제표준기구인 ISO/IEC에서 멀티미디어 표준으로 채용한 MPEG21에 적용하여 구현되었다. 신영주(2006)등이 이 방식의 유효성을 검사한 연구결과에 따르면 보정 결과에 대해서는 적응변환을 거친 콘텐츠는 적색약의 경우는 적색이 보다 강조되고, 녹색약의 경우는 녹색이 보다 강조되도록 표현된다. 색각이상인 경한 색각이상자는 낮은 색각보정을 선호하고, 심한 색각이상자는 높은 색각보정을 선호하는 것으로 조사되었다. 서한전 산화색각검사에서 보정 후에 나타난 총오점수의 감소는 평균 56.7정도 나타났고, 이는 보정 전 총오점수 147의 38.6%에 해당된다. 이러한 색각보정은 분명히 유의미한 것이지만, 나머지 61.4%의 오점수를 해결할 문제가 남는다.

호주의 Swarbrick(2001) 등은 14명의 색각이상자에게 크로마젠 렌즈를 처방하여, 2주간의 적응 후에 이시하라 검사, D-15 검사와 Farnsworth 렌턴 검사를 수행한 결과, 이시하라 검사와 D-15검사에서는 오류가 크게 감소하였지만, Farnsworth 렌턴검사에는 효과가 없으며, 약한 조명에서는 시각이 저하된다고 보고하였다.

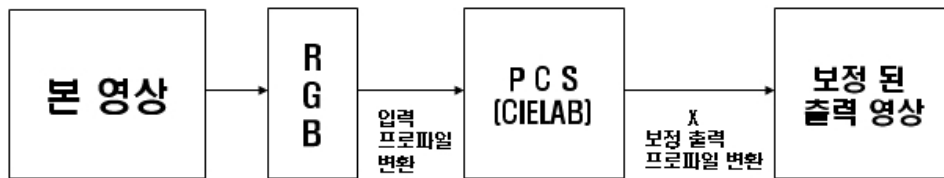
본 연구에서는 색각 이상자의 그래픽 정보에 대한 접근성을 높이기 위하여 세계 칼라 컨소시엄(international color consortium)에서 채택한 색 프로파일을 사용하여, 색 혼란을 일으키기 쉬운 색 조합에 대하여 색 변환을 적용하여 혼란을 경감시키는 방식을 개발하고, 그 방식을 구현하였다. ICC 프로파일은 그래픽 정보를 변환하는데 모든 컴퓨터에서 사용이 가능한 범용적인 접근 방식이다. 기존의 Nam 등이 색각이상의 정도와 종류에 따라 통계적 모델에 기반을 둔 보정방식을 사용한 것과 Han의 색의 1대 1 보정 규칙을 사용한 것에 비하여 본 연구에서는 색각이상의 종류에 따라 혼란을 일으키는 녹색과 적색의 색 범위에 각각 대응하여 보정하는 다중의 색 조합을 선택하여 보정 규칙을 생성하는 방식을 취하였다. 이 방식은 다중의 보정 규칙을 일반화하기 쉽고, 보정용 ICC 프로파일에 적용하기가 용이하다는 장점이 있다. 따라서 일반화가 어려운 개인적 색 인식 특성을 반영하기가 용이하다. 본 연구에서는 보정용으로 생성된 ICC 프로파일을 적색 계통과 녹색계통의 색들이 모두 포함된 일반사진 10장에 적용하여, 변환된 사진들의 자연스러움을 보정 조건을 직접 생성한 색각이상자를 대상으로 평가하였다. 이러한 평가는 색 혼란을 일으키는 사진은 물론, 색 혼란을 크게 유발시키지 않는 사진에 대하여, 색 보정을 일괄적으로 적용하는 것이 타당한 지를 결정할 수 있는 근거가 된다.

II. 연구 방법

Yang과 Nam 등은 색각이상의 종류와 정도를 측정하는데 사용되는 HRR 검사와 컴퓨터화된 FM-100 휴검사 결과를 MPEG21 DIA 값을 결정하는데 사용하였고, 그 값을 스펙트럼 민감도의 정상 스펙트럼에서의 천이량 추정에 사용하여 색각 보정에 이용하였다.

본 연구에서는 첫째, 이러한 원인적 요인 추정 방식과 통계적 근사치를 이용한 모델로 결정된 보정 특성을 개별적 색각이상자에게 적용하는 연역적 방식 대신에 개별적 색각이상자의 색 보정특성을 현상적으로 추정하는 방식과 색각이상자가 직접 보정에 참여하는 귀납적 방식을 채택하였다. 색 표현이 제한된 컬러 프린터와 같은 색 출력 장치에 CRT 모니터에서 표현되는 다양한 색 표현을 출력할 때, 컬러 프린터의 색 표현의 제한성 때문에 해당 프린터의 특성에 맞는 ICC 프로파일이 제공되어야 모니터 상에 나타난 색 표현에 가까운 색을 프린터에서 출력할 수 있다. 이와 마찬가지로 모니터 상에

나타난 전자 문서의 색 표현을 색 인식 능력이 제한된 인간의 눈에 출력할 때는 제한된 색 인식 능력에 적합한 ICC 프로파일이 제공되어야 한다. 본 연구에서는 Yang 등의 적응과정 대신에 그림 1과 같은 적응과정을 사용한다. 색각이상자의 색 보정특성을 ICC 프로파일로 생성하기 위하여 복잡한 안과 장치와 색 검사 방법 대신에 ICC 프로파일 생성기와 이시하라 검사법을 이용하였다. 이 방식의 유효성은 개별적인 색각이상자의 색 보정 특성을 보정용 ICC 프로파일로 얼마나 잘 표현할 수 있느냐와 안과 전문의와 같은 전문가의 도움 없이, 얼마나 적은 노력으로 만들 수 있느냐에 달려 있다.



<그림 1> 보정 ICC 출력 프로파일을 사용한 색각이상자에 대한 적응과정

둘째, 생성된 ICC 프로파일을 일반사진에 적용하여 사용자의 만족도를 조사하였다. 개발된 기술이 실 생활에 널리 쓰이기 위해서는 색각 이상의 보정이라는 일차적 목적을 달성하면서 사용자의 시각적 만족도를 향상시키거나 유지시켜야 하기 때문이다. 본 연구에서는 적색계통과 녹색 계통을 모두 포함하는 일반사진 10장을 선정하여 만족도를 조사하고, 그 결과를 분석하였다.

1. ICC 프로파일과 색각 보정

ICC는 컴퓨터 및 주변장치 제조사 제품의 색 표현 특성을 고려하여 모든 하드웨어에서 최대한 유사한 품질의 영상을 얻기 위하여, 색 운영시스템의 구성과 장치 프로파일의 표준을 제공할 목적으로 1993년도에 설립되었다. ICC에서는 장치간 크로스 플랫폼 파일 형식을 제공하는데 사용되는 ICC 프로파일에 대한 국제 표준을 제정하였고, 최근에는 국제표준으로 ISO 15076-1이 2005년 채택되어 발간되었으며, 버전 4까지 개정안이 출간되었다(ICC, 2007). ICC 프로파일은 장치 독립적인 색 공간을 중심으로 각 기기의 색 특성을 변환하는데 사용되는 데이터 파일이다. 인간의 시각을 하나의 장치로 가정한다면 인간의 시각 특성에 따라 ICC 프로파일을 별도로 정의하는 것이 가능하며, 본 연구에서는 이러한 접근방식을 채택하여 색각 이상자의 시각에 적합한 ICC 프로파일을 생성하고, 이 프로파일이 컴퓨터나 그래픽 표현장치를 갖는 정보단말기에서 구동되게 하는 범용 프로그램을 구현하고자 하였다.

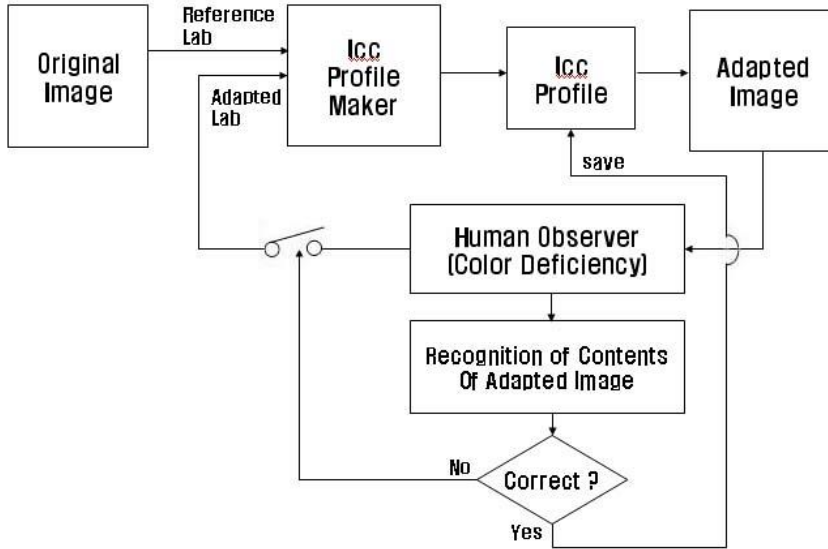
본 연구에서는 GretagMacbeth사의 ProfileMaker 5.0을 사용하여 색각이상자를 위한 색각 보정용 ICC 프로파일을 생성하였다. 적록 색맹이 가장 많은 혼란을 일으키는 상황은 적색과 녹색이 서로 접하여 있을 때 두 종류의 색을 구분하지 못하는 것이다. 이러한 경향은 색각 모사기를 사용하여 보면 바로 인지할 수 있다. 그러나 두 종류의 색이 인접하여 있다는 것을 인지하기 위해서는 색 인식과 함께 위치 인식이 필요하며, 그림 파일에서 위치 인식을 위해서는 상당한 컴퓨팅 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 위치 인식을 하지 않고, 적색 계통과 녹색 계통이 구분이 가도록 색의 포화도와 밝기를 변화시키는 것뿐만 아니라, 눈의 색 인식 메커니즘을 나타내는 LMS 스펙트럼 상에서 혼란을 일으키는 인접한 적색과 녹색을 인지하는 스펙트럼을 정상적인 위치보다 약간 떨어지도록 조정하기 위하여 녹색에 청색 요소를 가미하고, 적색 계통의 색에는 더욱 적색 요소를 강조하는 방식을 적용하였다.

생성된 ICC 프로파일을 컴퓨터에 적용하기 위해서는 일반적으로 널리 알려진 포토샵이나 페인트샵 프로와 같은 그래픽 도구가 필요하다. 그러나 일반적으로 그래픽 작업을 직업으로 하는 사람들 외에 이러한 도구를 갖고 있는 사람은 매우 적으며, 이러한 도구를 실행하는 데는 많은 컴퓨팅 자원이 사용된다. 따라서 비용과 교육을 필요로 하지 않고, 변환을 하는 데 컴퓨팅 시간이 거의 걸리지 않는 ICC 프로파일 적용도구의 개발과 배포는 색각 보정을 필요로 하는 색각이상자들에게 많은 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 완성된 보정 프로파일을 컴퓨터 모니터에 적용하기 위한 적용도구를 개발하였다. 개발언어로는 JAVA언어(JDK 1.4.2)를 선택하였고, 개발 도구는 Eclipse를 사용하였고, 변환을 위하여 자바 라이브러리를 이용하였다. 본 실험에서는 원 영상 프로파일은 EuroscaleCoated.icc를 공통적으로 사용하였다.

2. ICC 프로파일 보정 규칙 생성방법

전자문서에 대한 접근성 향상 측면에서 색각이상 보정의 주요 관심사는 보정 방식의 효과와 적용성이다. 색각 이상 보정 효과를 객관적으로 입증할 수 있는 표준은 세계적으로 없다. 대부분의 연구자들은 각자의 시험 영상에 대하여 보정방식을 적용하고, 그 효과를 보정방식을 적용하지 않았던 때와 비교하여 색각 이상자에 대한 임상실험이나 색각이상모사기를 사용한 실험의 시험 결과로써 제시하고 있다. 그러나 적용 방식과 시험 환경, 사용도구가 차이가 있고, 시험영상도 달라 보정방식의 효과를 다른 방식과 객관적으로 비교하기가 불가능하다. 본 연구에서는 보정효과를 시험하는 표준영상으로 이시하라 검사판 10개를 사용하였다. 보정 규칙을 생성하는 시험영상으로 적색약, 녹색약이 가장 통과하기 어려운 2번 이시하라 검사판 하나만을 사용하였다. 보정 규칙들은 색각이상자가 관찰자와 보정자 역할을 동시에 수행하여 보정 대상 색 범위와 보정 색을 지정하여 결정된다. 그 규칙들을 ICC 프로파일 생성기에 입력하여 프로파일 특성을 변

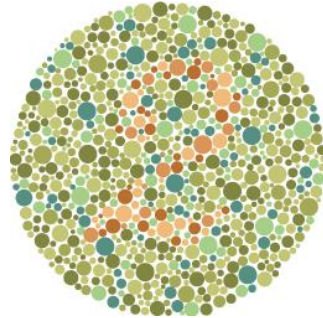
화시켜 가면서, 검사관의 영상을 변화시키고, 관찰하여 번호를 올바르게 판단하면 색각 보정용 ICC 프로파일의 생성이 완료된 것으로 결정하였다. 이시하라 플레이트는 색각이상 유무의 스크리닝 검사로써 가장 보편적으로 사용되고 있으며, 가장 쉽게 구할 수 있고, 시험 방식을 색각이상자가 가장 잘 이해하고 있는 도구이다.



<그림 2> 색각 보정용 ICC 프로파일 생성과정

본 연구에서 채택한 가장 효과적인 보정 규칙 튜닝방식은 첫째, 화면에서 사용자의 대략적 색각 특성에 따라 그림 3의 가장 통과하기 어려운 이시하라 검사판을 제시하고, 적절한 보정 전략을 3가지 이내로 제시하고, 보정 규칙을 만들어 보정용 ICC 프로파일을 생성한다. 녹색약의 경우는 검사 판에서 Lab 색 좌표로 표현된 짙은 녹색과 옅은 녹색 각각에 대하여 b 값을 10씩 감소, L값은 10씩 증가시키고, 적색은 L값을 10씩 감소시켜 가면서, 변환 색을 결정하여 ICC 프로파일을 생성하였고, 적색약과 적록색약의 경우에는 적색에 대하여 a값을 10씩 증가시키는 조건을 추가하였다. Lab 색좌표는 국제조명위원회에서 인간의 눈이 느끼는 색공간과 유사하게 색차의 균일성을 위하여 제정한 표준 색체계로서 L은 밝기, a는 적색과 녹색의 정도, b는 황색과 청색의 정도를 나타낸다. 해당 검사판의 내용 즉 2라는 숫자를 맞추지 못하거나 알아볼 수 없다고 답하면 계속하여 보정 규칙을 보정 전략에 따라 수정하고, 맞출 경우에는 보정 규칙 생성을 중지한다. 둘째, 생성된 ICC 프로파일을 적용하여 선택한 보정 조건에 따른 결과를 제시했던 플레이트뿐만 아니라, 다른 이시하라 플레이트에 적용한 결과까지를 보여주고, 그에 따른 시험을 수행하여 통과여부를 알려준다. 셋째, 일반 사진에 생성된 보정용 ICC 프

로과일을 적용하여, 부자연스럽게 보이는 사진이 있는지를 조사한다. 본 연구에서는 제시하는 보정 전략의 종류는 색각 이상의 종류와 정도에 따라 어느 정도의 상관관계가 있고, 보정 정도는 개인차가 클 것이라고 추정한다. 이러한 추정은 이미 규명된 색각 인식의 메커니즘을 고려하면 물리적으로 자연스러운 것이다.



<그림 3> 보정규칙 생성에 사용된 이시하라 시험판

컴퓨터 모니터에서 표현할 수 있는 색의 종류는 장치의 성능에 따라 달라지지만, 일반적으로 색을 24비트로 표현할 때 16,777,216가지로 구분하여 표현할 수 있다. 실제의 영상에서 제공되는 색 표현은 실제 언어로 구분할 수 없는 서로 다른 색 표현을 포함하고 있으며, 이시하라 플레이트의 경우도 마찬가지다. 적색과 녹색 계통을 수치로 표현하면 너무 많은 경우의 수가 발생하며, 그것들에 대하여 일일이 보정규칙을 정의할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 보정규칙에 색의 범위를 포함하였다. 본 연구에서는 다음의 식과 같이 각각의 색에 대한 규칙기반보다는 각 색에 대한 규칙 기반과 색 범위에 대한 규칙기반을 합성하여 보정 규칙으로 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } K_{11} < E_1 < K_{12} \quad \text{then } U_1 \\
 & \text{or else} \\
 & \text{if } K_{21} < E_2 < K_{22} \quad \text{then } U_2 \\
 & \text{or else} \\
 & \vdots \\
 & \text{if } K_{k1} < E_k < K_{k2} \quad \text{then } U_k \qquad (1) \\
 & \text{or else} \\
 & \text{if } E_{k+1} \quad \text{then } U_{k+1} \\
 & \text{or else} \\
 & \text{if } E_{k+2} \quad \text{then } U_{k+2} \\
 & \text{or else} \\
 & \vdots
 \end{aligned}$$

if E_n then U_n
 K_{k1} 는 E_k 즉 변환 대상 색 범위의 하한 값
 K_{k2} 는 E_k 즉 변환대상 색 범위의 상한 값
 U_k 는 입력 E_k 에 대한 변환식

위 식의 각각의 규칙을 R_1, R_2, \dots, R_n 이라 하면 모든 규칙을 종합하는 입출력 관계는 식 2와 같다.

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n \tag{2}$$

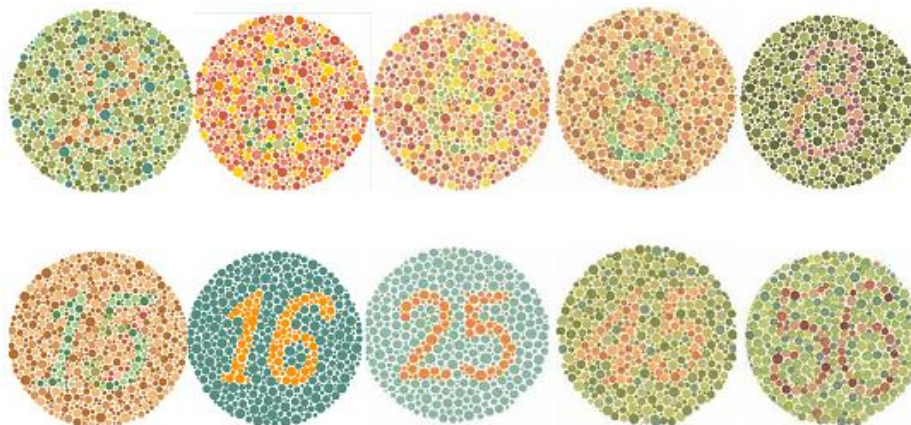
보정효과의 평가에는 단순히 혼란을 제거하는 측면과 보정을 행한 화면이 얼마나 사용자가 만족하느냐는 다분히 심리적인 측면이 존재한다. 심리적인 측면에는 원 영상을 최대한 보전하면서 혼란을 일으키는 영역을 얼마나 자연스럽게 다른 색으로 대체하였는지가 큰 영향을 미칠 것이다. 본 연구에서는 녹색 계통과 적색 계통의 색이 모두 포함된 사진 영상 10개를 임의적으로 선택하여 심리적 지표를 검사하는데 사용하였다. 사용된 영상은 두 가지 계통의 색의 변화가 비교적 많이 포함된 것을 선택하였다.

이 방식은 개인이 귀납적 보정방식을 이용하여 컴퓨터 화면에 나타난 보정효과를 체험하고, 자신의 눈 특성에 따라 보정 조건을 변경하고, 튜닝하여 자신의 컴퓨터에 적용할 보정용 ICC 프로파일을 생성하는 것이다. 이 방식을 웹으로 확장하거나 보정프로그램을 컴퓨터에 장착하면 컴퓨터의 영상처리 능력과 감마 조건 등이 자동적으로 포함되므로 컴퓨터의 조건은 별도의 튜닝이 필요하지 않고, 자신의 색 선호도와 눈 특성을 보다 정확하게 보정에 이용할 수 있는 장점이 있다.

III. 실험 및 결과

본 연구에서는 개발된 ICC 프로파일 적용도구와 색각 이상자용 ICC 프로파일을 적용하여 적색약 5명, 녹색약 15명의 색각 이상자 20명을 대상으로 컴퓨터를 이용한 이시하라 검사를 보정하기 전과 후에 실시하였다. 실험에 참가한 색각이상자들은 모두 20대로 남자 17명, 여자 3명이며, 안과에서 색각 이상 종류에 대한 검진을 가져, 색각 이상의 종류를 검증한 후에 실험에 참여하였다. 실험조건으로 모니터는 삼성 싱크 마스터 950+를 사용하였고, 대비도는 90%, 밝기는 80%로 설정하였으며, 주변밝기는 외부 빛을 차단한 어두운 방에서 실험을 수행하였다. 모니터 캘리브레이터는 Eye-One (GretagMacbeth)를 사용하여 모니터 색을 보정하였다. 화면에서의 거리는 40 Cm로 하고, 이시하라 검사판의 화면 크기는 9Cm×9Cm로 하여 일정한 1명의 검사 진행자가 검

사를 주관하여 시행하였다. 시험에 동원된 모니터는 1024×768 화소이상의 해상도, 색 정보는 16 비트(65536색)이상, 화면 갱신율은 75 Hz 이상, 색온도는 9000-9700 K(주광색) 등이다. 시험에 사용된 10개의 이시하라 검사 판은 그림 4에 표시하였다.



<그림 4> 보정 ICC 프로파일 시험에 사용된 이시하라 검사 판

시험 참여자는 10개의 이시하라 검사 판에 대하여 보정용 ICC 프로파일을 적용하고, 판에 적혀진 숫자를 인식하여 말로 숫자를 부르는 시험을 하였고, 시험에 사용된 검사 판은 미리 값을 알 수 없도록, 임의적인 순서로 컴퓨터 화면에 제시하였다. 시험 결과 보정 전에 보였던 33.3%에 비하여 99.5%로 시험 통과율이 증가하였고, 그 결과표를 표 1에 나타내었다. 이 결과는 Swarbrick(2001)등이 14명의 색각이상자에게 크로마젠렌즈를 처방한 2주 후에 이시하라 검사를 하여 얻은 시험 통과율 83.9%에 비하여 월등히 높은 수치이다. 평균 보정시간은 약 13분이 소요되었고, 검사시간은 검사판 당 30초씩 총 3분이 소요되었다. 적색약 2만이 한 장의 보정 대상 시험판의 숫자를 맞추는데 실패하였다. 이 결과는 보정용 ICC 프로파일을 사용하면 거의 완벽하게 이시하라 검사를 통과할 수 있다는 것을 보여준다. 보정 조건은 색각이상의 정도에 따라 녹색 L값의 크기가 크게 증가하고, 적색 L값의 크기가 크게 감소하는 등 밝기 차이가 가장 큰 차이를 보였고, 색각이상의 종류에 따라 녹색각 이상은 b값을 주로 변화시키고, 적색각 이상은 a값을 추가로 보정하였다. 시험에 사용된 보정조건을 표2에 표시하였다. 이 시험에 적용된 보정 조건은 최적화한 것이 아니고, 그림 3의 이시하라 검사 판에 대하여 시험참여자가 보정 조건을 어느 정도까지 조정할 결과이며, 실제 조정에는 평균 13분 정도가 소요되었다. 이시하라 검사 판의 녹색계통과 적색계통의 색 범위를 정할 때, 색의 범위를 가능한 한 인식시키기 위하여 중간색을 선택하도록 하였다. 중간색은 보정에는 사용되지 않았다. 모든 시험참여자는 시험내용에 대한 사전 정보나 교육이 전혀 없이, 시험 진

행자의 지도에 따라 실험을 진행하였다. 따라서 보정 규칙의 생성 작업은 웹에서도 사전 교육이 없이 진행할 수 있다고 판단된다.

<표 3> 이시하라 검사 결과

시험참여자	통과율(%)		보정시간(분)	시험시간(분)
	보정 전	보정 후		
적색약1	40	100	12	3
적색약2	40	90	15	3
적색약3	30	100	13	3
적색약4	30	100	13	3
적색약5	30	100	13	3
녹색약1	40	100	14	3
녹색약2	30	100	12	3
녹색약3	40	100	13	3
녹색약4	30	100	12	3
녹색약5	20	100	13	3
녹색약6	30	100	14	3
녹색약7	30	100	13	3
녹색약8	40	100	12	3
녹색약9	20	100	14	3
녹색약10	30	100	13	3
녹색약11	40	100	12	3
녹색약12	40	100	12	3
녹색약13	40	100	13	3
녹색약14	30	100	12	3
녹색약15	30	100	13	3
평균	33.00	99.50	12.90	3

<표 4> 시험에 적용된 보정용 ICC 프로파일의 생성 조건

시험참여자	보정 전		보정 후	비고
	색 범위(Lab)			
적색약1	녹색 계통	(55.8,-21.9,0.1) ~ (76.0,-26.4,32.4)	75.8,-21.9,-19.9	L+20,B-20 보정
	적색 계통	(57.3,34.2,50.1) ~ (79.2,16.3,34.8)	32.3,54.2,50.1	L-25,A+20 보정
적색약2	녹색 계통	(54.9,-10.1,37.0) ~ (81.0,-11.4,44.7)	80.9,-10.1,17.0	L+26,B-20 보정
	적색 계통	(54.4,24.3,49.1) ~ (79.8,13.7,43.7)	18.4,60.6,49.1	L-36,A+36.3 보정
적색약3	녹색 계통	(54.0,-10.4,35.9) ~ (80.2,-9.8,39.7)	71.0,-10.4,25.9	L+17,B-16 보정
	적색 계통	(56.0,33.7,55.1) ~ (80.5,13.6,43.6)	46.0,43.7,55.1	L-10,A+10 보정
적색약4	녹색 계통	(47.3,-10.9,40.9) ~ (75.7,-7.4,47.4)	62.3,-10.9,30.9	L+15,B-10 보정
	적색 계통	(56.0,32.8,47.9) ~ (79.9,14.1,43.9)	41.0,42.8,40.8	L-15,B+8 보정
적색약5	녹색 계통	(54.2,-9.4,35.1) ~ (80.0,-19.7,30.3)	69.2,-9.2,25.1	L+15,B-10 보정
	적색 계통	(50.6,34.2,49.8) ~ (78.0,15.4,45.1)	35.6,44.2,49.8	L-15,A+10 보정
녹색약1	녹색 계통	(49.8,-4.2,35.0) ~ (75.7,-7.4,47.4)	60.8,-4.2,15.0	L+11,B-20 보정
	적색 계통	(56.3,35.7,50.4) ~ (80.0,10.4,45.0)	38.3,35.7,60.4	L-18,B+10 보정

시험참여자	보정 전		보정 후 색(Lab)	비고
	색 범위(Lab)			
녹색약2	녹색 계통	(57.8,-9.6,29.1)~(70.9,-11.9,19.7)	40.8,-9.6,9.1	L+17,B-20 보정
	적색 계통	(59.6,31.1,38.7)~(82.4,13.7,22.3)	39.6,31.1,48.7	L-20,B+10 보정
녹색약3	녹색 계통	(54.6,-9.2,34.1)~(80.3,-5.8,41.6)	79.6,-9.2,24.1	L+25,B-10 보정
	적색 계통	(55.4,31.2,46.6)~(77.5,6.6,31.0)	25.4,31.2,56.6	L-30,B+10 보정
녹색약4	녹색 계통	(52.1,-10.2,31.8)~(80.7,41.5,28.3)	70.1,-10.2,21.8	L+18,B-10 보정
	적색 계통	(56.3,30.5,42.7)~(79.3,13.8,33.7)	36.3,30.5,42.7	L-20 보정
녹색약5	녹색 계통	(53.5,-13.8,-5.9)~(74.0,-22.3,27.5)	75.5,-13.8,-15.9	L+22,B-10 보정
	적색 계통	(56.5,59.9,60.2)~(80.8,36.3,67.8)	31.5,59.9,80.2	L-25,B+20 보정
녹색약6	녹색 계통	(55.5,-9.5,35.6)~(80.2,-26.7,24.5)	75.5,-9.5,15.6	L+20,B-20 보정
	적색 계통	(54.4,55.6,55.6)~(79.2,38.4,65.0)	94.4,55.6,55.6	L-40 보정
녹색약7	녹색 계통	(54.9,-8.0,37.7)~(79.6,-9.3,44.5)	74.9,-8.0,17.7	L+20,B-20 보정
	적색 계통	(54.4,31.4,45.9)~(80.0,10.4,45.0)	34.4,31.4,55.9	L-20,B+10 보정
녹색약8	녹색 계통	(53.9,-11.0,40.2)~(78.5,-11.3,38.9)	73.9,-11.0,30.2	L+20,B-10 보정
	적색 계통	(54.2,35.2,50.6)~(80.0,46.2,76.9)	38.2,35.2,70.6	L-16,B+20 보정
녹색약9	녹색 계통	(54.3,-11.0,41.5)~(71.0,50.6,38.6)	85.3,-11.0,31.5	L+30,B-10 보정
	적색 계통	(54.2,35.2,50.6)~(68.1,46.7,70.2)	34.2,35.2,50.6	L-20 보정
녹색약10	녹색 계통	(54.6,-9.2,34.1)~(80.1,-24.9,32.9)	64.6,-9.2,24.1	L+10,B-10 보정
	적색 계통	(69.4,29.4,44.7)~(79.7,12.1,42.6)	59.4,29.4,44.7	L-10 보정
녹색약11	녹색 계통	(57.7,-11.2,40.5)~(79.2,-28.6,34.6)	82.7,-11.2,30.5	L+25,B-10 보정
	적색 계통	(50.6,34.2,49.8)~(79.7,12.3,32.0)	35.6,34.2,54.8	L-15 보정
녹색약12	녹색 계통	(55.4,-21.5,0.9)~(76.8,45.1,103.8)	70.4,-21.5,-9.9	L+15,B-9 보정
	적색 계통	(54.7,30.1,45.6)~(79.8,13.7,43.7)	40.7,30.1,45.6	L-14 보정
녹색약13	녹색 계통	(58.3,-25.3,3.8)~(75.9,-9.5,33.4)	78.3,-25.3,-6.2	L+20,B-10 보정
	적색 계통	(54.7,31.7,32.5)~(76.3,4.8,24.4)	64.2,30.2,41.5	L-15 보정
녹색약14	녹색 계통	(54.3,24.3,5.9)~(79.6,-9.8,25.6)	74.3,-24.3,-25.9	L+20,B-20 보정
	적색 계통	(59.6,46.7,37.8)~(70.4,42.1,60.7)	29.6,46.7,37.8	L-30 보정
녹색약15	녹색 계통	(58.6,20.1,32.2)~(77.0,58.7,45.9)	88.6,20.1,17.2	L+30,B-15 보정
	적색 계통	(58.1,36.7,44.1)~(69.1,42.1,60.9)	28.1,36.7,44.1	L-30 보정

생성된 보정 프로파일을 적용하여 다른 일반적인 그림이나, 사진을 볼 때, 색 보정에 의한 부작용이 나타나거나, 보는 사람에게 심리적 부담을 줄 가능성이 있는 지를 시험하였다. 시험 영상은 웹에서 수집한 적색 계통과 녹색 계통의 색이 모두 들어가 있는 사진 10 장을 대상으로 선택하였다. 사진의 자연스러움에 대한 평가를 선호도로 표시하게 하였고, 매우 자연스런 사진을 5점으로, 매우 부자연스러운 사진을 1점으로 평가하도록 하여, 그 결과를 표3에 표시하였다. 평균적으로 선호도가 낮은 사진의 순서는 2,7,1,10번이다. 그 다음은 6번 사진으로, 적색약의 선호도가 낮아 선택되었다. 선호도가 매우 낮은 사진 2,7,1 번은 사람의 얼굴 비중이 크며, 피부색이 어둡고, 더욱 붉게 나타난 공통적 특징을 갖는다. 10번 사진은 호랑이 사진으로, 대체적인 평가가 색이 번져서 부자연스럽다고 답하였는데, 그 이유는 호랑이의 줄무늬가 비슷한 적색 계통의 축약된 색 표현으로 섬세한 색의 표현이 사라진 것을 표현한 것이다. 선호도 평균은 2.69로 자연스

리움이 보통인 것으로 답하였으나, 10.5%의 사진이 매우 부자연스럽다고 답하였다. 적색약자의 선호도 평가 결과를 표4에, 녹색약자의 선호도 평가 결과를 표5에 표시하였다. 적색약자의 선호도 평균은 2.86으로, 녹색약자의 평균 2.63보다 높았으며, 표준편차도 0.089로 매우 작았다. 그림 5에 시험에 사용한 일반 사진 1장에 대한 시험참여자 3명의 보정 전 후의 모습을 표시하였다. 대다수의 경우 적색계통과 녹색계통 색의 윤곽선이 훨씬 뚜렷해 졌으며, 입체적인 감이 느껴진다고 답하였다. 이러한 느낌은 사진에 나타난 색의 종류와 적색계통과 녹색계통의 색들이 나타난 위치 및 보는 이의 색각 특성에 따라 결정되는 것으로 판단되나, 느낌의 기준이 다를 수 있다.



<그림 5> 보정 프로파일 적용 전 후의 일반 사진

<표 3> 보정된 일반사진 10장에 대한 자연스러운 정도 평가

사진 시험 참여자	사진의 자연스러운 정도 (최대 5점)										평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
적색약1	2	2	3	4	4	2	3	3	3	3	2.9
적색약2	3	3	2	5	5	2	2	2	2	1	2.7
적색약3	2	3	3	3	4	3	2	4	3	2	2.9
적색약4	2	1	2	5	5	2	2	5	3	2	2.9
적색약5	2	2	3	4	5	2	2	4	3	2	2.9

사진 시험 참여자	사진의 자연스러운 정도 (최대 5점)										평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
녹색약1	2	4	2	2	4	3	2	2	3	4	2.8
녹색약2	1	2	3	3	4	3	3	2	2	1	2.4
녹색약3	3	2	4	2	5	5	4	3	5	2	3.5
녹색약4	5	2	4	4	4	2	2	4	4	2	3.3
녹색약5	1	1	2	3	3	2	1	1	3	1	1.8
녹색약6	2	1	2	3	3	2	1	4	4	2	2.4
녹색약7	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2.8
녹색약8	2	4	2	3	4	3	2	2	2	3	2.7
녹색약9	1	1	2	3	1	2	1	2	3	1	1.7
녹색약10	4	2	4	4	5	2	1	3	3	4	3.2
녹색약11	2	2	2	4	5	3	2	3	3	2	2.8
녹색약12	2	1	4	4	4	2	2	3	4	3	2.9
녹색약13	2	1	1	3	4	3	2	3	4	4	2.7
녹색약14	1	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2.3
녹색약15	2	2	3	2	1	2	2	3	3	2	2.2
평균	2.15	2	2.65	3.3	3.8	2.55	2.1	2.95	3.15	2.25	2.69
표준편차	0.988	0.918	0.875	0.923	1.2	0.76	0.788	0.945	0.745	1.02	1.043

<표 4> 적색약자의 보정된 일반사진에 대한 자연스러운 정도 평가

시험참여자	사진의 자연스러운 정도(최대 5점)										평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
적색약1	2	2	3	4	4	2	3	3	3	3	2.9
적색약2	3	2	3	5	5	2	2	2	2	1	2.7
적색약3	2	3	2	3	4	3	2	4	3	2	2.9
적색약4	2	3	3	5	5	2	2	5	3	2	2.9
적색약5	2	1	2	4	5	2	2	4	3	2	2.9
평균	2.2	2	3	4.2	4.6	2.2	2.2	3.6	2.8	2	2.86
표준편차	0.447	0.837	0.548	0.837	0.548	0.447	0.447	1.140	0.447	0.707	0.089

<표 5> 녹색각자의 보정된 일반사진에 대한 자연스러운 정도 평가

시험참여자	사진선호도										평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
녹색약1	2	4	2	2	4	3	2	2	3	4	2.8
녹색약2	1	2	3	3	4	3	3	2	2	1	2.4
녹색약3	3	2	4	2	5	5	4	3	5	2	3.5
녹색약4	5	2	4	4	4	2	2	4	4	2	3.3
녹색약5	1	1	2	3	3	2	1	1	3	1	1.8

시험참여자	사진번호도										평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
녹색약6	2	1	2	3	3	2	1	4	4	2	2.4
녹색약7	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2.8
녹색약8	2	4	2	3	4	3	2	2	2	3	2.7
녹색약9	1	1	2	3	1	2	1	2	3	1	1.7
녹색약10	4	2	4	4	5	2	1	3	3	4	3.2
녹색약11	2	2	2	4	5	3	2	3	3	2	2.8
녹색약12	2	1	4	4	4	2	2	3	4	3	2.9
녹색약13	2	1	1	3	4	3	2	3	4	4	2.7
녹색약14	1	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2.3
녹색약15	2	2	3	2	1	2	2	3	3	2	2.2
평균	2.13	1.93	2.67	3	3.53	2.67	2.07	2.73	3.27	2.33	2.63
표준편차	1.125	0.961	0.976	0.756	1.246	0.816	0.884	0.799	0.799	1.113	0.511

<표 6> 보정의 정도와 보정된 일반사진에 대한 만족도와의 관계

시험 참여자	보정의 정도										만족도
	열은 녹색 기준			열은 적색 기준			녹색 대 적색 차이				
	ΔL	Δa	Δb	ΔL	Δa	Δb	ΔL	Δa	Δb	총 보정	
적색약1	20	0	-20	-25	20	0	45	20	-20	53	2.9
적색약2	26	0	-20	-35	36.3	0	61	36.3	-20	74	2.7
적색약3	17	0	-10	-10	10	0	27	10	-10	30	2.9
적색약4	15	0	-10	-15	10	-6.6	25	10	-3.4	27	2.9
적색약5	15	0	-10	-15	10	0	30	10	-10	33	2.9
녹색약1	11	0	-20	-18	0	10	29	0	-30	42	2.8
녹색약2	17	0	-20	-20	0	10	37	0	-30	48	2.4
녹색약3	25	0	-10	-30	0	10	55	0	-20	59	3.5
녹색약4	18	0	-10	-20	0	0	38	0	-10	39	3.3
녹색약5	22	0	-10	-25	0	20	47	0	-30	56	1.8
녹색약6	20	0	-20	-40	0	0	60	0	-20	63	2.4
녹색약7	20	0	-20	-20	0	10	40	0	-30	50	2.8
녹색약8	20	0	-10	-18	0	20	38	0	-30	48	2.7
녹색약9	30	0	-10	-20	0	0	50	0	-10	51	1.7
녹색약10	10	0	-10	-10	0	0	20	0	-10	22	3.2
녹색약11	25	0	-10	-15	0	5	40	0	-15	43	2.8
녹색약12	15	0	-9	-14	0	0	29	0	-9	30	2.9
녹색약13	20	0	-10	-15	0	0	35	0	-10	36	2.7
녹색약14	20	0	-20	-30	0	0	50	0	-20	53	2.3
녹색약15	30	0	-15	-30	0	0	60	0	-15	62	2.2
평균	19.80	0	-13.70	-21.25	4.32	3.92	40.80	4.32	-17.62	45.95	2.69
표준편차	5.464	0	4.879	8.233	9.306	7.113	12.365	9.306	8.685	13.644	0.452

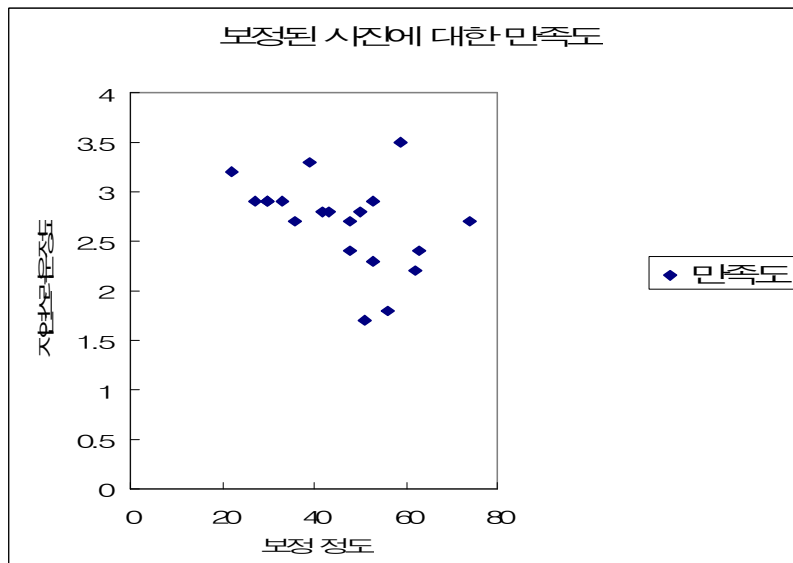
보정 정도와 일반 사진 10장에 대한 자연스러운 정도의 관계를 표현한 산포도를 그

림 6에 표시하였다. 두 양 사이에는 약한 음의 상관관계가 존재한다(상관계수 -0.3635). 표 7에서 총 보정은 원래의 녹색계통과 적색 계통의 색에 대하여 CIE Lab 좌표 상에서 보정을 가한 총량을 표시한다. 총 보정에 대한 그림 만족도(자연스러운 정도)에 대한 비율을 표현하기 위하여, 자연스러운 정도를 보정 정도로 나눈 값을 만족도 요소(satisfaction factor, sf)로 정의하여 다음의 식으로 표현하였다.

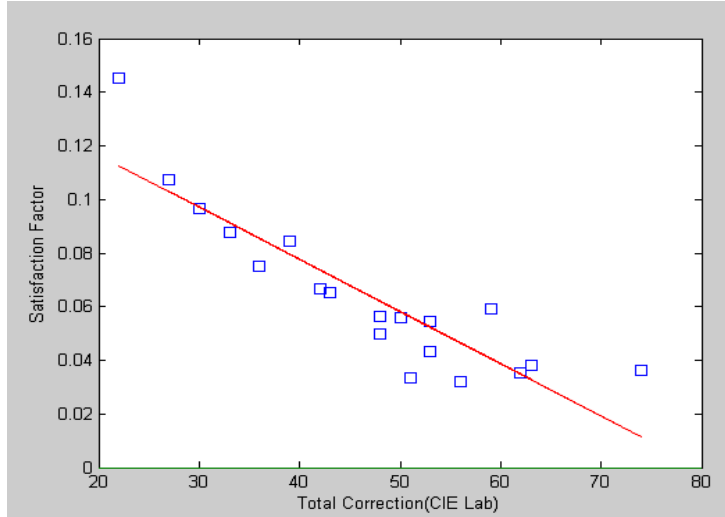
$$sf = sd / tc \quad (3)$$

여기서 sf 는 만족도 요소, sd 는 그림 만족도, tc 는 총 보정 양이다.

즉 총 보정에 대한 만족의 정도를 나타내는 계수라고 볼 수 있다. SF와 보정 정도와의 관계를 그림 7에 회귀 직선과 함께 표시하였다. 그림에서 보듯이 두 관계는 선형적인 관계를 가지며, 보정 정도가 증가할수록, SF는 작아지는 것을 알 수 있다. 즉 보정을 많이 가할수록, 사진의 자연스러운 정도는 감소한다. 따라서 이시하라 검사판과 같이 혼란을 주는 사진에는 보정이 효과적이지만, 같은 정도의 보정을 혼란을 일으키지 않는 사진에 적용할 때는 사진에 대한 만족도가 떨어질 수밖에 없다. 이러한 관계는 신영수(2006)의 연구에서도 유사하게 보고된 바 있다.



<그림 6> 보정정도과 일반사진에 대한 자연스러운 정도의 산포도



<그림 7> 보정 정도와 s_f 와의 관계에 대한 선형 회귀분석

IV. 결론

색각이상자의 색 혼란을 줄이기 위한 보조공학 도구는 개발된 바 있으나, 이시하라 검사를 완벽하게 통과하는 성능을 갖는 도구는 아직까지 개발된 바 없다. 이 분야의 보조공학 도구의 만족도에 대한 임상적 평가 연구는 발표된 것이 드물며, 색 혼란을 제거하거나 줄이는 성능을 보장하면서 모든 시각적 정보에 대한 만족을 제공하는 기술은 아직까지 발표된 바 없다. 본 연구에서는 컴퓨터에서 제공되는 그래픽 정보에 대하여 색 혼란을 제거하는 맞춤형 보조기술을 개발하였다. 개발된 기술을 이용하여 20대의 적색약자 5명과 녹색약자 15명의 색각이상자 20명에게 이시하라 검사를 수행한 결과, 99.5%의 시험통과율을 보여, 거의 완벽하게 색 혼란이 제거되었다. 색 보정을 위한 과정은 이시하라 검사판 하나만을 사용하였고, 보정에 걸리는 시간은 평균 12.9분이 소요되었다. 이 시간은 다른 방식의 색 보정을 위한 시험 시간에 비하여 매우 짧은 시간이다. 색 혼란을 크게 유발하지 않으면서, 녹색 계통과 적색 계통의 색을 모두 포함하는 일반 사진 10장에 대하여 같은 기술을 적용한 결과, 사진의 자연스러움이 손상되었다. 자연스러운 정도에 대한 평가에서 5점 만점에 평균 2.69의 만족도를 보였고, 매우 부자연스럽다는 비율도 10.5%에 달하였다. 만족도는 색 보정을 많이 할수록 떨어지는 경향을 보였고(상관계수 -0.3635), 총 보정 정도에 대한 만족도의 비는 선형성을 보여, 보정 정도가 클수록 만족도비가 감소하였다. 색 혼란을 줄이면서 보정의 만족도를 높이기 위해서는 해당 정보가 색 혼란을 유발하는 정도에 대한 평가가 선행되어, 적응적으로 보정을 가하는

기술이 요구된다. 본 연구의 결과는 컴퓨터에서 제공되는 색 정보를 포함한 디지털 콘텐츠의 접근성을 제고하여, 이러닝과 같은 학습영역에 사용될 수 있다.

참고문헌

- 남명화, 손무식(1980). 선천성 색각이상자 100명에 있어서 Nagel씨 Anomaloscope에 의한 색각 이상의 분류, **대한안과학회잡지**, 21(4), 137-141
- 신영주 외(2006). 서한진산화색각검사를 이용한 색각보정프로그램의 유효성, **대한안과학회지**, 47(10), 1638-1646
- 이상우, 권정운(1986). 초,중등학생에 있어서의 선천성 적녹 색각이상시의 빈도, **대한안과학회지**, 27, 211-215
- 장영건(2003). 전자문서용 색각 장애 보정 소프트웨어 개발, **한국정보처리학회 논문지**, 10-B(5), 535-542
- 장영건(2006). 색온도느낌을 고려한 색대비 알고리즘, **한국정보처리학회 논문지**, 13-B(4), 471-478
- 장영건(2007a). 색각이상자를 위한 ICC 프로파일과 프로파일 적용도구에 관한 연구, **재활복지**, 11(1), 166-182
- 장영건(2007b). A Color Contrast Algorithm for E-leaning Standard, *Int. Journal of CSNS*, 7(4), 195-201
- 조주은(2005). 국내외 웹 접근성 관련 법제도 및 정책 동향, 국회 정보격차 해소 모임 웹접근성향상 세미나
- Atkinson, H. G. and Bridgewater, Conn.(1996). Method and System for Color Vision Deficiency Correction, United States Patent
- Brettel, H., Vienot, F. & Mollon, J. D.(1997). Computerized simulation of color appearance for dichromats, *Journal of the Optical Society of America A*, 14(10), 2647-2655
- Flueck, D.(2007). Confusion lines of the CIE 1931 color space, <http://www.colblindor.com/2007/01/23/confusion-lines-of-the-cie-1931-color-space/>
- Han, D.(2004). Real time Color Gamut Mapping Architecture and Implementation for Color Blind People, *LNCS 3101*, 133-142
- Henderson, C. (2000). Color Vision, <http://www.iamcal.com/toys/colors/stats.php>
- International Color Consortium(2007). <http://www.color.org/abouticc.html>
- Meyer, G. W. & Greenberg, D. P(1988). Colour defective vision and computer graphics displays, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 8(5), 28-40
- Nam, J., Ro, Y. M, Huh, Y. & Kim, M(2005). Visual content adaptation according to user perception characteristics, *IEEE Transactions on Multimedia*, 7(3), 435 - 445
- Rigden, C.(1999). The Eye of the Beholder - Designing for Colour Blind Users, *British Telecommunications Engineering*, 17, 291-295
- Rigden, C.(2002). Now You See It, Now You Don't, *IEEE Computer*, 35(7), 104-105
- Section 508 Standards(2002). §1194.21 Software applications and operating systems, <http://www.section508.gov>
- Sharpe, L. T., et al(1998). Red, Green and Red-Green Hybrid Pigments in the Human Retina: Correlations between Deduced Protein Sequences and psychophysically measured spectral sensitivities, *Journal of Neuroscience*, 18(23), 10053-10069

- Swarbrick, H. A., Nguyen, P., Nguyen, T. and Pham, P.(2001). The ChromaGen contact lens system: colour vision test results and subjective responses, *Ophthalmic and Physiological Optics* 21 (3), 182 - 196.
- Vischeck(2002). Color blind image correction, <http://www.vischeck.com/daltonize/>
- W3C(1999). Web Content Accessibility Guidelines 1.0, <http://www.w3.org/TR/WAI-WEBCONTENT/>
- Yang, S. et al(2004). Improving Visual Accessibility for color vision deficiency based on MPEG-21, *ETRI Journal*, 26(3), 195-202

A Study on Customized Assistive Technology and Preference Assessment for Color Vision Deficiency

Jang, Young Gun

Chongju University

<Abstract>

There is no perfect technology to correct all graphic contents for CVD in the sense of pass rate and preference of correction. In this study, we developed a customized assistive technology to correct a graphic digital content adapted to various color perception characteristics of CVD by himself. An ICC profile was generated with 2 correction rules for a green color range and a red color range, I tested the performance of the developed technology to apply 10 Ishihara plates and 10 general color photos to the participants, 5 protanomalies and 15 deuteranomalies. The test results show that the pass rate of Ishihara test was 99.5%, average preference score for 10 general photos was 2.69 with 5 maximum and 10.5% of participants replied very unnatural. The more correct sample Ishihara plate, the less they satisfied for 10 general photos. To rise the preference score, we may need adaptive correction technology to identify whether the contents can produce color confusions or not and correct differently according to it.

Key-words: Color vision deficiency, Digital contents, Customized assistive technology, ICC profile, Preference, Adaptive

논문 접수: 2008. 1. 21 심사 시작: 2008. 2. 15 게재 확정: 2008. 3. 19