

색각이상자를 위한 맞춤형 ICC 프로파일 생성에 관한 연구

최 훈 일[†] · 흥 성 웅[†] · 장 영 건^{††}

요 약

국내에는 약 100만명이 넘는 색각이상자가 있으나, 방송 및 웹에서 공급되는 디지털 콘텐츠에는 색각이상자를 위한 보조기술이 적용된 예가 드물다. 본 연구에서는 다양한 색각 특성과 장애 정도를 갖는 색각이상자들이 컴퓨터를 사용하여 자신의 색각 특성에 적합하게 그래픽 콘텐츠를 보정할 수 있는 ICC 프로파일을 생성하는 방법을 개발하였다. 적색과 녹색 계통의 색 범위에 대하여 2개의 보정규칙을 규정하여 ICC프로파일을 생성하였다. 이시하라 플레이트 10개를 대상으로 적색각, 적록색각, 녹색각 이상자 각각 1명, 1명, 2명에 대하여 시험한 결과 시험 통과율이 97.5%였다. 보정 프로파일 생성에 걸리는 시간은 시험방법에 대한 설명을 포함하여 평균 13분이 소요되어, 전문 병원에서 색각 특성을 진단하여 보정을 행하는 방법에 비하여 비교적 적은 노력과 고가의 장비의 동원이 없이, 신뢰성 있는 보정 결과를 얻을 수 있다.

키워드 : 색각이상, 디지털 콘텐츠, 그래픽 정보, 보정규칙, 맞춤형 ICC 프로파일

A Study on Generation of Customized ICC Profile for Color Vision Deficiencies

Hoon-Il Choi[†] · Sung-Woong Hong[†] · Young-Gun Jang^{††}

ABSTRACT

While there are about 1 million color vision deficiencies in Korea, an assistive technology to digital contents of broadcasting and web for them remains scarce. In this study, we developed a generation method of the ICC profile to correct a graphic digital content adapted to various color perception characteristics of CVD by tuning the correction rules of the ICC profile by themselves. We tested the performance of the ICC profile to apply 10 Ishihara plates to the participants, 1 protanomaly, 1 protanomaly and deuteranomaly and 2 deuteranomaly. We used the color range information to build correction rules. Results of the test show that they passed Ishihara test by 97.5% success rate, compared to 20% success rate without it. The average time for them to spend to tune the customized ICC profile was about 13 minute without any diagnosis of specialist, any special instrument.

Key Words : Color Vision Deficiencies, Digital Contents, Correction Rule, Graphic Information, Customized Icc Profile

1. 서 론

컴퓨터와 휴대폰과 같이 컬러 디스플레이 장치를 갖는 정보통신기기에서 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 제

안, 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 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[1,2], 세계적으로는 인구 12명 당 1명이 색각 이상을 갖고 있는 것으로 발표된 바 있으나[3,4], 전자 문서나 웹 문서의 저작자가 이들을 의식하여 문서를 작성하거나 설계하는 경우가 거의 없다.

* 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-521-D00444).

† 준 회 원 : 청주대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정

†† 정 회 원 : 청주대학교 IT학부 교수

논문접수 : 2007년 8월 24일, 심사완료 : 2007년 11월 22일

미국에서는 재활법 508조에서, 국내에서는 정보격차해소에 관한 법률과 행정기관 홈페이지 구축 운영 표준지침에서 웹 기반 정보와 응용에 색상만으로 정보를 전달하지 말 것을 규정하고 있다[5]. 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[6,7].

색 혼란을 피하기 위하여 웹 문서를 만들 때는 W3C의 WCAG 1.0 표준을 준수하면 되며, 이미 만들어진 문서에 접근할 때는 윈도우즈에서 제공하는 내게 필요한 옵션을 사용하거나, 보조 도구를 사용하여야 한다. 그러나 아직까지는 문자정보 이외에 그래픽 정보까지를 변환하며, 단말기의 종류나 운용체계에 독립적인 도구는 나타나고 있지 않다.

본 연구에서는 색각 이상자의 그래픽 정보에 대한 접근성을 높이기 위하여 세계 칼라 컨소시엄(international color consortium)에서 채택한 색 프로파일을 적용하여, 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. 또한 기존의 남채호 등이 색각이상의 정도와 종류에 따라 통계적 모델에 기반을 둔 보정방식을 사용한 것[8]과 한동일의 색의 1대 1 보정규칙을 사용한 것[9]에 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 색 변환을 단말기의 종류에 독립적으로 작동시키기 위하여 프로파일 적용도구를 자바(JAVA)언어로 개발하였다.

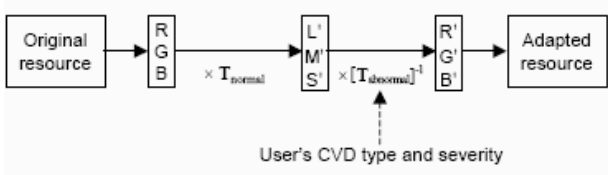
2. 기존의 연구 동향과 문제점

영국의 Christine은 웹에서 사용되는 표준 팔레트 색상에 대하여 제 1색맹, 제 2색맹과 제3 색맹을 모사하기 위한 216개의 팔레트 색상을 정의하였고[10]. 웹에서 적록 색맹에게 적용할 수 있는 216개의 팔레트 색상을 표준으로 제안하였다[4]. 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. 후자의 팔레트는 웹 저작자가 권고 수칙에 따라 웹 페이지에 작성하고, 웹 사용자가 같은 팔레트를 장착하고 있는 경우에는 효과가 크지만 그것과 관계없이 작성된 웹 문서의 경우에는 효과가 경감된다. 1996년 미국의 Holly G. Atkinson 등은 컴퓨터를 이용한 색각 이상 검사를 하여 색각 이상이 있으면 대응되는 색상 팔레트로 해당 응용 프로그램에서 제공되는 팔레트를 변환하는 방식

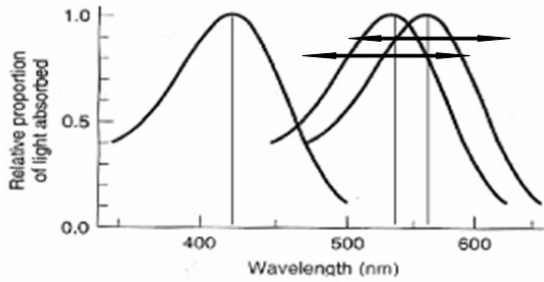
과 보정 시스템을 특허로 제시하였으나[11], 어떤 방식으로 색상 팔레트를 변환하는지에 대한 설명은 없다. 미국의 Donald P.Greenberg는 1988년 색맹이 느끼는 색상에 대한 연구를 수행하여 적록색맹 및 청색맹에 대하여 그들이 인지하는 색의 스펙트럼과 실제 색상들의 관계를 이론적으로 정립하였으며, 실제 색각 이상자에 대하여 실험을 수행하여 그 타당성을 입증하였다[12]. 이 연구는 이후 색각 이상자의 시각을 모사하는 Hans Brettel의 연구[13]와 같은 여러 연구와 구현에서 그 근거가 되고 있으며, 정상인이 색각 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 Vischeck에서 TV 등 비디오 현시장치에 대한 컨설팅 및 특허 판매를 하고 있으며, 대상 화면을 분석하여 보정을 행하는 것이 특징이다[14].

장영건은 컴퓨터 또는 통신 단말기에서의 색각 보정에 대하여 일반적 전자문서에 대한 접근 방식을 제시하고, 컴퓨터로 구현하였고[15], 웹 문서에서의 색 혼란을 줄이기 위하여 색온도느낌을 고려한 색 대조 알고리즘을 제시하였다[16]. 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[17]. 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[18]. 이 연구에서 적용한 보정 방식은 한동일의 방식과 동일하게 각각의 색에 대한 규칙기반을 적용한 것이다. 그의 결과는 색각이상자 뿐만 아니라 정상인을 대상으로 색각이상 모사기를 사용하여 얻은 결과로써, 신영주 등이 색각이상자만을 대상으로 한 결과와 직접적인 비교가 불가능하며, 시험 집단의 수도 적다.

한동일은 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[9].



(그림 1) 경한 색각이상자에 대한 적응과정[17]



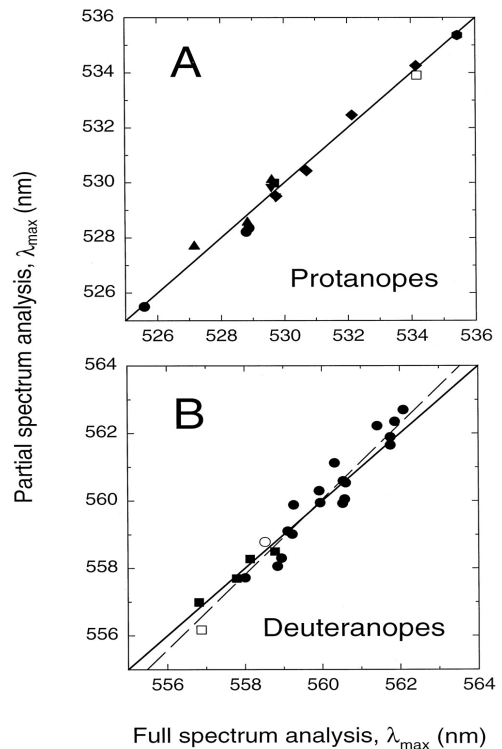
(그림 2) 망막 원추세포의 색상 민감도와 비정상 삼색각자의 중심 파장 차이

양승지와 남재호 등은 비정상 삼색각자, 즉 색약자에 대한 색 적응 변환 방식을 사용하여, 색의 채도와 밝기를 변화시키는 보정 방식을 발표하였다[8, 19]. 이 연구는 국제표준기구인 ISO/IEC에서 멀티미디어 표준으로 채용한 MPEG21에 적용하여 구현되었다. 신영주 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. 서한전산화색각검사에서 보정 후에 나타난 총오점수의 감소는 평균 56.7정도 나타났고, 이는 보정 전 총오점수 147의 38.6%에 해당된다[20]. 이러한 색각보정은 분명히 유의미한 것이지만, 나머지 61.4%의 오점수를 해결할 문제가 남는다.

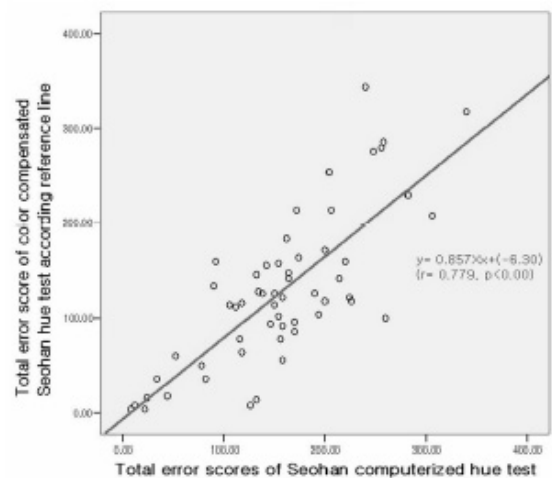
이 방식은 색각이상의 대부분을 차지하는 색약에 대하여 (그림 1)과 같은 적응과정을 사용하였다. 이 적응과정의 유효성을 담보하는 요소는 $[T_{abnormal}]^{-1}$ 을 어떻게 얻느냐와 얻는 방식의 신뢰성을 제시하는 것이다. 남재호는 HRR검사와 서한색각검사를 사용하여 각각 색각이상의 정도를 중, 보통, 경으로 분류하고, 양안의 총오점수를 획득하고, 그 검사결과를 0.1에서 0.9에 이르는 MPEG 21의 DIA점수로 표현하였다. 이 점수에 따라 정상인의 망막 원추세포의 색 민감도함수와 어느 정도 중심 파장이 이동되었는지를 추정하여 $[T_{abnormal}]^{-1}$ 을 계산하는 것으로 보인다.

이 방식은 Smith와 Pokony의 원추세포의 스펙트럼 민감도와 색약자의 흡수 스펙트럼 유도 연구에 근거를 두고 있다[21,22]. 그러나 색약자의 원추세포 스펙트럼 민감도함수의 중심파장의 정상치와의 차이(그림 2, 3)와 서한 색각검사의 총 오점수로써 결정된 DIA점수 사이에는 선형적 상관관계(그림 4)가 존재하지만 절대적인 것은 아니다. 또한 Sharpe

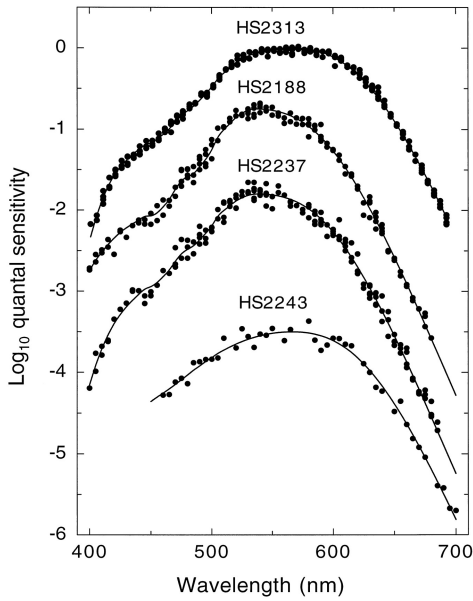
는 이색각자 즉 색맹의 망막원추세포의 스펙트럼 민감도가 파장의 이동만이 아니라 크기에서도 비연속적 관계를 보임을 제시하였고, 그 관계를 (그림 5)에 표시하였다[23]. 따라서 색약자의 스펙트럼 민감도가 정상인과 동일한 형태로 파장 영역에서 이동한다는 가설 역시 불완전한 것이다. 이러한 문제는 이 원리를 이용하여 만든 색각모사 프로그램이 색맹이나 색약자의 시각 현상을 완전히 모사하지 못하는 문제를 발생시키며, 본 연구의 임상 실험에서도 그 현상이 나타나고 있다.



(그림 3) 부분 스펙트럼 분석 대 전 스펙트럼분석에서 얻은 최대 민감주파수 (A) 적색맹 (B) 녹색맹



(그림 4) 서한색각검사의 보정 전 총오점수와 보정후의 총오점수[19]



(그림 5) 대표적 단일 염색체 이색각자 4명의 망막 원추세포의 스펙트럼 민감도

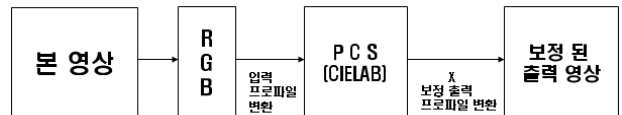
3. 색각이상자의 스펙트럼 민감도 대 보정 특성의 추정

양승지, 남제호 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 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 (그림 6)과 같이 모니터 상에 나타난 전자 문서의 색 표현을 색 표현 능력이 제한된 인간의 눈에 출력할 때는 제한된 색 표현 능력에 적합한 ICC 프로파일이 제공되어야 한다. 본 연구에서는 양승지 등의 (그림 1)과 같은 적응과정 대신에 (그림 7)과 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 얼마나 적은 노력으로 만들 수 있느냐에 달려 있다.



(그림 6) ICC의 입출력장치와 표준색공간(PCS)과의 관계



(그림 7) 보정 ICC 출력 프로파일을 사용한 색각이상자에 대한 적응과정

3.1 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 국제 표준으로 ISO 15076-1이 2005년 채택되어 발간되었으며, 버전 4까지 개정안이 출간되었다[24]. ICC 프로파일은 장치 독립적인 색 공간을 중심으로 각 기기의 색 특성을 변환하는데 사용되는 데이터 파일이다. 인간의 시각을 하나의 장치로 가정한다면 (그림 6)과 같이 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.

전통적인 컴퓨터 그래픽스 기술의 목표에 대한 현실적인 문제의 다른 관점으로 대두된 것이 비사실적 렌더링이다. 1980년대 말부터 이미 비사실적 렌더링에 대한 연구가 진행되었고 1990년대 초반부터 많은 관심의 대상이 되기 시작했다. 국제 칼라 컨소시엄에서는 렌더링을 개념적 렌더링 (conceptual rendering)과 비색분석적 렌더링(colorimetric rendering)으로 구분한다. 개념적 렌더링은 비사실적 렌더링의 일부라고 볼 수 있다. 비사실적 렌더링이 인간 친화적 영상을 생성하기 위하여 손으로 그린 것 같은 느낌을 주는

영상의 생성을 목적으로 한 것이라면 ICC의 개념적 렌더링은 그 대상을 색으로 제한한 것이라고 볼 수 있다. 개념적 렌더링은 미리 채택된 조정에 적용하여 특정한 이미지 상태의 색 표현을 목표로 한다고 이해될 수 있다. 따라서 하나나 그 이상의 모든 이미지 상태 특성의 차이에 대한 색 표현을 조정하여 또 다른 이미지 상태로 천이하는 수단을 제공한다. 천이에서 색은 미리 선택된 색 표현을 달성하도록 적용된다. 본 연구에서는 색각이상자들의 색 혼란을 줄이기 위하여 기존의 이미지 상태에 혼란을 일으킬 수 있는 색 상태를 조정하는 개념적 렌더링 방식을 채택하였다. 이 방식은 단순히 색의 밝기, 색상, 채도뿐만 아니라 색조까지도 고려할 수 있는 장점이 있어, 색의 구분에 더욱 많은 수단을 동원할 수 있는 장점이 있다.

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, 그림파일에서 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. 개발된 적용 도구의 사용자 인터페이스는 (그림 8)과 같다. 적용될 그래픽 파일의 위치를 화면의 원 영상(source Image)에서, 원본 그래픽 파일을 표준 색 공간으로 변환하는 데 사용되는 기본적인 프로파일은 그림의 원 영상 프로파일(Source Profile)에, 색 보정을 위하여 생성된 ICC 프로파일은 목적지 프로파일(Destination Profile)에, 보정된 그래픽 파일을 저장할 위치는 그림의 목적지 영상(Destination Image)에 각각 지정하



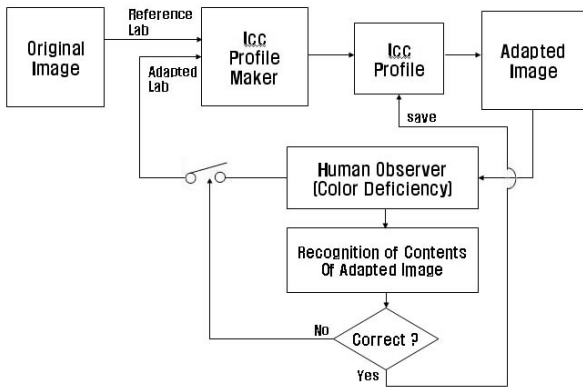
(그림 8) ICC 프로파일 적용 도구의 사용자 화면

고, 저장 버튼을 누르면 완성된 이미지에 보정된 그래픽 파일의 이미지가 나타난다. 본 실험에서는 원 영상 프로파일은 EuroscaleCoated.icc를 공통적으로 사용하였다.

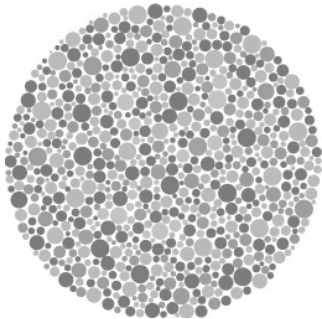
4. ICC 프로파일 보정 규칙 생성방법

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 색각이상 모사기를 사용한 실험의 시험 결과로써 제시하고 있다. 그러나 적용 방식과 시험 환경, 사용도구가 차이가 있고, 시험 영상도 달라 보정방식의 효과를 다른 방식과 객관적으로 비교하기가 불가능하다. 본 연구에서는 보정효과를 시험하는 표준영상으로 이시하라 검사판 10개를 사용하였다. 보정 규칙을 생성하는 시험영상으로 적색약, 녹색약, 적록 색약이 가장 통과하기 어려운 2번 이시하라 검사판 하나만을 사용하였다. 보정 규칙들은 (그림 9)와 같이 색각이상자가 관찰자와 보정자 역할을 동시에 수행하여 보정 대상 색 범위와 보정 색을 지정하여 결정된다. 그 규칙들을 ICC 프로파일 생성기에 입력하여 프로파일 특성을 변화시켜 가면서, 검사판의 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.

본 연구에서 채택한 가장 효과적인 보정 규칙 튜닝방식은 첫째, 화면에서 사용자의 대략적 색각 특성에 따라 (그림 10)



(그림 9) 색각 보정용 ICC 프로파일 생성과정



(그림 10) 보정규칙 생성에 사용된 이시하라 시험판

의 가장 통과하기 어려운 이시하라 검사판을 제시하고, 적절한 보정 전략을 3가지 이내로 제시하고, 보정 규칙을 만들어 보정용 ICC 프로파일을 생성한다. 녹색약의 경우는 검사판에서 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 보여주었고, 그에 따른 시험을 수행하여 통과여부를 알려준다. 셋째, 일반 사진에 생성된 보정용 ICC 프로파일을 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.

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 규칙기반과 색 범위에 대한 규칙기반을 합성하여 보정 규칙으로 사용하였다.

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

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 보존하면서 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. 수많은 연구에서 지적하였듯이 색각이상의 정도와 특성은 매우 다양하며, 색대조를 느끼는 정도와 보정 정도에 대한 선호도도 다양하다. 실제로 대부분의 색각이상자들은 본인이 속한 색각이상의 종류만을 알뿐 정도에 대해서는 모르고 있고, 색에 대한 선호도도 구체적이지 않다.

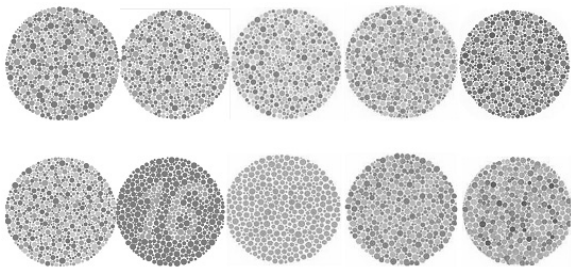
이 방식은 개인이 귀납적 보정방식을 이용하여 컴퓨터 화

면에 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.

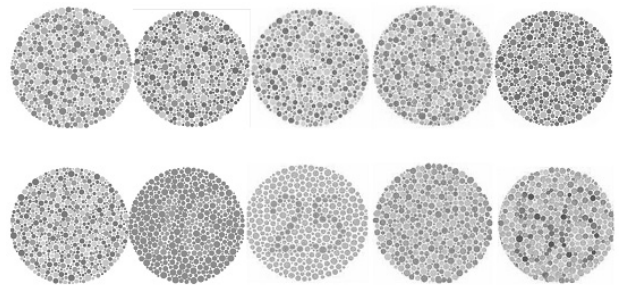
5. 실험 및 결과

본 연구에서는 색관리 프로그램과 색각 이상자용 ICC 프로파일을 적용하여 적색약 1명, 녹색약 2명, 적녹색약 1명의 색각 이상자 4명을 대상으로 컴퓨터를 이용한 이시하라 검사를 보정하기 전과 후에 실시하였다. 실험에 참가한 색각이상자들은 자신의 색각 이상 종류는 알고 있었지만 정도에 대해서는 모두 알지 못하였다. 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 검사를 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 11)에, Vischeck사의 색맹모사 프로그램을 사용하여, 적색맹과 녹색맹이 본 이시하라 검사판 모습을 모사한 그림을 (그림 12)와 (그림 13)에 표시하였다. 그러나 이 색맹모사 프로그램은 실제 색맹을 완전히 모사하는 것은 아니며, 색약자들에 대한 실험에서는 4명 모두가 모사한 그림판에서 정상인의 눈으로 구별이 어느 정도 가능한 56과 같은 검사판을 모두 통과하지 못했다.

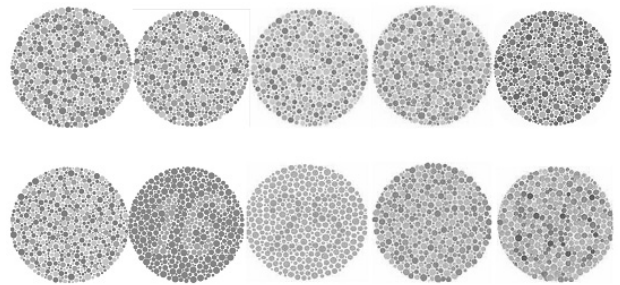
시험 참여자는 10개의 이시하라 검사 판에 대하여 보정용 ICC 프로파일을 적용하고, 판에 적혀진 숫자를 인식하여 말로 숫자를 부르는 시험을 하였고, 시험에 사용된 검사판은 미리 값을 알 수 없도록, 임의적인 순서로 컴퓨터 화면에 제시하였다.



(그림 11) 보정 ICC 프로파일 시험에 사용된 이시하라 검사 판



(그림 12) 이시하라 검사 판에 대한 적색맹 시각 모사그림



(그림 13) 이시하라 검사 판에 대한 녹색맹 시각 모사그림

시험 결과 보정 전에 보였던 20%에 비하여 97.5%로 시험 통과율이 증가하였고, 그 결과를 <표 2>에 나타내었다. 녹색약 1만이 보정 대상 시험판의 숫자를 맞추는데 실패하였는데, 그 실패는 보정용 프로파일을 생성할 때, 가장 어려운 시험판에 대하여 어느 정도 윤곽은 보이지만 정확한 숫자를 맞추지 못하여 발생한 것이다. 이 결과는 보정용 ICC 프로파일의 적용이 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 a값을 변화시키지 않았지만, 적색각 이상이나, 적록색각 이상은 a값을 보정하였다. 보정의 효과를 예시하기 위하여 녹색약 1, 2에 대한 보정 프로파일을 이용하여 생성한 이시하라 검사 판의 모습을 (그림 14)에 표시하였다. (그림 14)에서 보듯이 녹색약1은 <표 1>에 표시된 녹색과 적색 범위에 대한 밝기 차이를 75.1로 보정한 반면에 녹색약 2는 44.8로 보정하여 두 검사판의 배경과 숫자의 밝기 차이를 정상인도 쉽게 느낄 수 있다. 45번과 56번 검사 판의 경우에는 보정된 모습의 차이가 뚜렷하다. 녹색약 1이 B값을 -46.6으로 보정하여 녹색약 2보다 -33.6만큼 크게 보정한 효과가 나타난 것이다. 이러한 현상은 같은 녹색약이라 할지라도 정도의 차이가 크기 때문에 나타난다. 이 시험에 적용된 보정 조건은 최적화한 것이 아니고, (그림 10)의 이시하라 검사 판에 대하여 시험참여자가 보정 조건을 어느 정도까지 조정한 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. 중간색

〈표 1〉 시험에 적용된 보정용 ICC 프로파일의 생성 조건

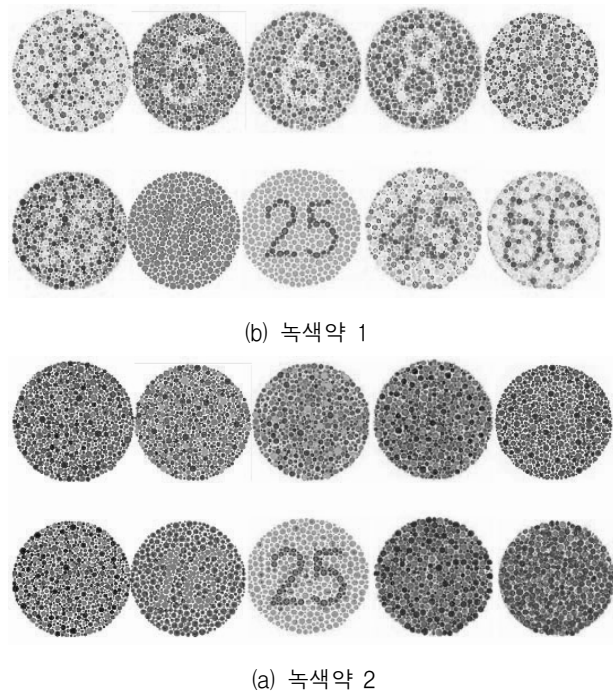
시험참여자	보정 전			보정 후			비고	
	색	L	a	b	L	a		b
적색약 1	깊은 녹색	54.9	-9.5	34.9	84.9	-9.5	24.9	L +30 B -10 보정
	열은 녹색	78.7	-13.7	40.3				
	깊은 적색	79.5	17.4	43.2				
	열은 적색	62.1	-	-				
적록색약 1	깊은 녹색	68.3	-8.8	37.2	98.3	-8.8	7.2	L +30 B -30 보정
	열은 녹색	52.2	-	-				
	깊은 적색	79.5	21.1	41.7				
	열은 적색	59.5	-	-				
녹색약 1	깊은 녹색	64.9	-9.9	38.3	100	-9.9	-8.3	L +35.1 B -46.6 보정
	열은 녹색	50.8	-	-				
	깊은 적색	79.2	16.3	34.1				
	열은 적색	66.0	-	-				
녹색약 2	깊은 녹색	54.9	-9.5	34.9	87.5	-11.5	21.9	L +32.6 B -13 보정
	열은 녹색	78.7	-13.7	40.3				
	깊은 적색	55.5	29.2	48.7				
	열은 적색	81.6	14.0	42.8				

〈표 2〉 보정 ICC 프로파일을 적용한 이시하라 검사 결과

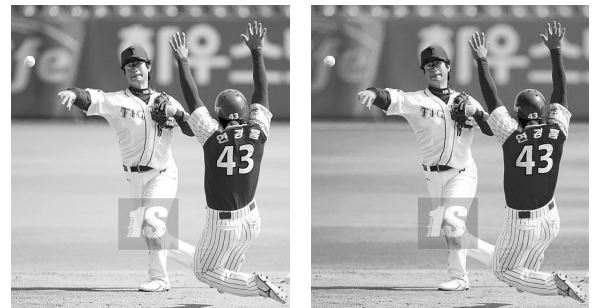
시험참여자	시험 통과율(%)		비고	보정 소요시간(분)	시험 소요시간(분)
	보정 전	보정 후			
적색약 1	20	100	평균 통과율 97.5% 틀린 답도 윤곽 확인 가능	12	3
적록색약 1	20	100		15	3
녹색약 1	20	100		10	3
녹색약 2	20	90		15	3

은 보정에는 사용되지 않았다. 모든 시험참여자는 시험내용에 대한 사전 정보나 교육이 전혀 없이, 시험 진행자의 지도에 따라 실험을 진행하였다. 따라서 보정 규칙의 생성 작업은 웹에서도 사전 교육이 없이 진행할 수 있다고 판단된다. 보정 프로파일을 사용하여 이시하라 검사를 수행하는데 소요된 시간은 하나의 검사 판 당 30초씩 총 3분이 소요되었다.

생성된 보정 프로파일을 적용하여 다른 일반적인 그림이나, 사진을 볼 때, 색 보정에 의한 부작용이 나타나거나, 보는 사람에게 심리적 부담을 줄 가능성이 있는 지를 시험하



(그림 14) 보정 ICC 프로파일을 적용하여 생성된 이시하라 검사 판의 예



(a) 시험사진 원본

(b) 녹색약2에 적용한 보정사진



(c) 녹색약1에 적용한 보정사진

(d) 적록색약1에 적용한 보정사진

(그림 15) 보정 프로파일 적용 전 후의 일반 사진

였다. 시험 영상은 웹에서 수집한 적색 계통과 녹색 계통의 색이 모두 들어가 있는 사진 10 장을 대상으로 선택하였다. (그림 15)에 시험에 사용한 일반 사진 1장에 대한 시험참여

〈표 3〉 보정 사진 10장에 대한 시험참여자의 선호 빈도

시험 참여자	자연스런 느낌 %	보통 %	부자연스런 느낌 %
적색약 1	40	20	40
적록색약 1	30	10	60
녹색약 1	30	30	40
녹색약 2	50	20	30

자 3명의 보정 전 후의 모습을 표시하였다. 대부분의 시험 참여자가 어느 정도 자연스럽다고, 시험영상들을 판정하였다. 그러나 그 중에 사진 작업을 직업적으로 하는 적록색약 1의 경우, 비교적 정확하게 사진의 색이 변한 부분을 지적하였다. 그 참여자는 다른 사람보다 훨씬 보정을 많이 한 경우로서 색각 이상의 정도가 크다고 판단되었지만, 이시하라 검사판과는 다르게 일반적인 사진에서는 색을 민감하게 인식하고 있다고 판단된다. 대다수의 경우 적색계통과 녹색계통 색의 윤곽선이 훨씬 뚜렷해 졌으며, 입체적인 감이 느껴진다고 답하였다. <표 3>에 시험자의 보정사진에 대한 느낌을 자연스러움, 보통, 부자연스러움으로 답한 빈도를 표시하였다. 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. 정상적인 사람의 시각에는 보정 후의 사진에서 자연스럽지 않은 색 표현은 발견되지 않는다.

6. 결 론

색각이상자의 색 혼란을 줄이기 위하여 HTML로 작성된 웹 문서의 문자정보의 배경색과 문자 색을 보정해주는 보조공학 도구는 개발된 바 있으나, 그래픽 정보를 보정해주는 제품이나 솔루션은 세계적으로 제공되고 있지 않다. 웹문서에서 그래픽 정보가 차지하는 비중이 비약적으로 늘고 있어, 이에 대한 해결방안이 시급하게 요구되고 있다. 본 연구에서는 그래픽 정보가 주는 색 혼란을 줄이기 위하여 색각이상자의 색 혼란을 줄이는 보정용 ICC 프로파일과 프로파일 적용도구를 개발하였다. 색각 보정 프로파일의 보정규칙은 적색과 녹색 계통의 색 범위 매핑을 사용하여 생성하였다. 이 방식은 기존의 방식보다 이시하라 검사판의 통과율이 97.5%로 크게 향상되어, 거의 모두가 이시하라 검사를 통과할 수 있었고, 보정규칙 생성에 이시하라 검사판 1개만을 사용하므로 기존의 복잡한 검사법을 이용한 방식에 비해 보정이 간단하며, 보정에 걸리는 시간은 평균 13분이 소요되었다. 개발된 방식은 색각 이상자가 직접 보정에 참여하는 귀납적 접근 방식을 채용하였다. 이 방식은 자신의 컴퓨터를 사용하므로, 컴퓨터의 영상처리 능력과 감마 조건 등이 자동적으로 포함되어 시험되므로 별도의 튜닝이 필요하지 않고, 자신의 색 선호도와 눈 특성을 보다 정확하게 보정에 이용할 수 있는 장점이 있다. 생성된 보정 프로파일을 적용하여 다른 일반적인 그림이나, 사진을 볼 때, 색 보정에 의

한 부작용이 나타나거나, 보는 사람에게 심리적 부담을 줄 가능성이 있는 지를 시험하였다. 시험 결과 부자연스럽게 느끼는 사진도 있었지만 대부분 사진들을 자연스럽게 느끼며, 대다수의 경우 적색계통과 녹색계통 색의 윤곽선이 훨씬 뚜렷해 졌으며, 입체적인 감이 느껴진다고 답하였다.

개발된 프로파일 적용도구는 자바언어로 개발되어 컴퓨터뿐만 아니라 다른 그래픽 기반 정보기기에 쉽게 포팅할 수 있다. 본 연구는 특히 웹 기반 원격교육 콘텐츠의 접근에서 혼란을 겪는 많은 색각이상자에게 도움을 줄 수 있다고 사료된다. 그럼에도 불구하고, 개발된 도구가 동영상처리에는 아직까지 적용될 수 없다. 추후 동영상에 적용할 수 있는 도구 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 남명화, 손무식, “선천성 색각이상자 100명에 있어서 Nagel씨 Anomaloscope에 의한 색각 이상의 분류”, 대한 안과학회잡지 21권4호, pp 137-141, 1980.
- [2] 이상우, 권정윤, “초,중등학생에 있어서의 선천성 적녹 색각 이상시의 빈도”, 대한 안과학회지 27권, pp211-215, 1986.
- [3] Cal Henderson, Color Vision, <http://www.iamcal.com/toys/colors/stats.php>, 2000.
- [4] Christine Rigden, “Now You See It, Now You Don’t”, IEEE Computer, Vol. 35, No. 7, pp104-105, 2002.
- [5] 조주은, “국내외 웹 접근성 관련 법제도 및 정책 동향”, 국회정보격차 해소 모임 웹접근성향상 세미나, 2005.
- [6] Section 508 Standards, §1194.21 Software applications and operating systems, <http://www.section508.gov>, 2002.
- [7] W3C, Web Content Accessibility Guidelines 1.0 <http://www.w3.org/TR/WAI-WEBCONTENT/>, 1999
- [8] Nam, J. Yong Man Ro, Huh, Y. Kim, M. Visual content adaptation according to user perception characteristics, IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 7, No. 3, pp435 - 445, 2005.
- [9] Dongil Han, Real time Color Gamut Mapping Architecture and Implementation for Color Blind People, LNCS 3101, pp133-142, 2004.
- [10] Christine Rigden, “The Eye of the Beholder - Designing for Colour Blind Users”, British Telecommunications Engineering, Vol. 17, pp291-295, 1999.
- [11] Holly G. Atkinson, Bridgewater, Conn., “Method and System for Color Vision Deficiency Correction”, United States Patent, 1996.
- [12] Meyer, G. W. & Greenberg, D. P. “Colour defective vision and computer graphics displays”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 8, No. 5, pp28-40, 1988.
- [13] Brettel, H., Vienot, F., & Mollon, J. D., “Computerized simulation of color appearance for dichromats”, Journal of the Optical Society of America A, Vol. 14, No. 10, pp2647-2655, 1997.
- [14] Vischeck, Color blind image correction

<http://www.vischeck.com/daltonize/>, 2002.

- [15] 장영건, “전자문서용 색각 장애 보정 소프트웨어 개발”, 한국 정보처리학회논문지, 10-B권 5호, pp535-542, 2003.
- [16] 장영건, “색온도느낌을 고려한 색대비 알고리즘”, 정보처리학회 논문지, 13-B권 4호, pp471-478, 2006.
- [17] 장영건, “색각이상자를 위한 ICC 프로파일과 프로파일 적용 도구에 관한 연구”, 재활복지, 11권 1호, pp166-182, 2007.
- [18] Young Gun Jang, “A Color Contrast Algorithm for E-learning Standard”, Int. Journal of CSNS, Vol. 7, No. 4, pp195-201, 2007.
- [19] S. Yang et al. “Improving Visual Accessibility for Color Vision Deficiency Based on MPEG-21”, ETRI Journal, Vol. 26, No. 3, pp195-202, 2004.
- [20] 신영주 외, “서한전산화색각검사를 이용한 색각보정프로그램의 유효성”, 대한안과학회지, 47권 10호, pp1638-1646, 2006.
- [21] V. C. Smith and J. Pokorny, “Spectral sensitivity of the foveal cone pigments between 400 and 700nm”, Vision Research, Vol. 15, pp161-171, 1975.
- [22] J. Pokorny, V. C. Smith and I. Katz, “Derivation of the photopigment absorption spectra in anomalous trichromats”, Journal of the Optical Society of America, Vol. 63, issue 2, pp232-237, 1977.
- [23] Lindsay T. Sharpe et al, “Red, Green and Red-Green Hybrid Pigments in the Human Retina: Correlations between Deduced Protein Sequences and psychophysically measured spectral sensitivities”, Journal of Neuroscience, Vol. 18, No. 23, pp10053-10069, 1998.
- [24] International Color Consortium, <http://www.color.org/abouticc.html>, 2007.



최 훈 일

e-mail : choi@stkorea.net

2000년 청주대학교 컴퓨터정보공학과 (공학사)

2002년 청주대학교 컴퓨터정보공학과 (공학석사)

2006년~현재 청주대학교 컴퓨터정보공학과 (박사과정)

2002년~현재 주식회사 에스터 과장

관심분야: 홈네트워크 보안, 보조공학, 웹 2.0, 시멘틱 웹, 웹서비스 보안, U-헬스케어



홍 성 응

e-mail : looking@cju.ac.kr

1996년 청주대학교 전자계산학과(공학사)

1998년 청주대학교 대학원 컴퓨터정보공학과(공학석사)

2002년~현재 청주대학교 컴퓨터정보공학과 (박사과정)

관심분야: 자연어처리, 기계번역, 멀티미디어



장 영 건

e-mail : ygjang@cju.ac.kr

1980년 인하대학교 전자공학과(공학사)

1979년~1983년 국방과학연구소 연구원

1983년~1994년 대우중공업 중앙연구소 책임연구원

1991년 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

1995년 인하대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년~1996년 고등기술연구원 책임연구원

2003년~2004년 University of California, Davis Visiting professor

1996년~현재 청주대학교 IT학부 교수

관심분야: HCI, 지능로봇, 보조공학, 재활공학, 생체정보시스템