



## 색각 이상자를 위한 영상 분석 기반의 최적 보정 기술

Optimal Image Correction Based on Image Analysis for Color Vision Deficiency

---

저자 (Authors)	이주선, 한동일 Jusun Lee, Dongil Han
출처 (Source)	<a href="#">전자공학회논문지 54(12)</a> , 2017.12, 154-167(14 pages) <a href="#">Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers 54(12)</a> , 2017.12, 154-167(14 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한전자공학회</a> The Institute of Electronics and Information Engineers
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07293330">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07293330</a>
APA Style	이주선, 한동일 (2017). 색각 이상자를 위한 영상 분석 기반의 최적 보정 기술. 전자공학회논문지, 54(12), 154-167
이용정보 (Accessed)	충북대학교 210.125.***.64 2021/03/29 17:02 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

논문 2017-54-12-20

# 색각 이상자를 위한 영상 분석 기반의 최적 보정 기술

## (Optimal Image Correction Based on Image Analysis for Color Vision Deficiency)

이 주 선\*, 한 동 일\*\*

(Jusun Lee and Dongil Han<sup>©</sup>)

### 요 약

최근 멀티미디어 매체들의 발전으로 인해 많은 정보들을 영상포맷의 형태로 쉽고 다양하게 접할 수 있게 되었다. 현재 멀티미디어영상들은 다양하고 복잡한 데이터들을 색정보를 활용한 디자인을 통해 효과적이고 쉽게 인지할 수 있도록 제작되고 있다. 하지만 이러한 멀티미디어 영상들은 많은 경우 색각 이상자가 인지하기에는 많은 어려움이 존재한다. 본 연구에서는 색각 이상자들의 색 인지시점을 연구하여 영상내의 혼동하는 색영역을 분석해, 최소한의 영역을 최적의 색으로 보정하는 기술을 구현 하였다. 이러한 방법으로 인해 기존의 방식보다 일반인의 인지시점에서도 색의 변화가 최소화된 결과를 볼 수 있다. 제안하는 방법은 오프라인 단계에서 CIEDE2000을 이용하여 색각 이상자가 혼동하는 색들에 대한 혼동선 DB를 구축하였다. 온 라인 처리 단계에서는 영역 확장(Region Growing) 기법을 통해 영역 구간화를 진행한다. 이러한 결과로 구간화된 영상내의 색을 비교하여 색각 이상자가 혼동하는 색이 존재할 경우 혼동선DB를 통해 최적의 색을 찾게 된다. 본 연구에서는 색각 이상자들이 혼동하지 않는 색을 찾기 위해서 최적화 지표를 개발하였고, 이를 통해 기존의 다른 논문들과 비교하여 본 연구의 색 보정 결과가 CIEDE2000 색차 지표 뿐만 아니라 다양한 실제 사례에서 모사결과 영상을 통한 주관적인 시각적 인지관점에서도 더욱 인지하기 쉬움을 보였다.

### Abstract

Recently, thanks to the development of multimedia technologies, a lot of information can be easily and variously accessed in the form of image format. Currently, multimedia images are designed to recognize complex and diverse data more effectively and easily. It is produced through design using color information. In this paper, we study the color perception of Color Vision Deficiency(CVD) and analyze the confused color region in the image, then propose a method to correct the minimum region to the optimal color. In this way, we can find the result that the color change is minimized even at the perception point of the normal people than the conventional method. The proposed method is to construct a confusion line DB for colors that CVD confuses, using the CIEDE2000 in the offline stage. In the online processing stage, Region segmentation is performed through the Region Growing method. As a result, when the colors in the segmented image are compared, if there is a color confused by CVD, the optimal color is found through the confusion line DB. In this study, we developed an optimization index to find colors that CVD are not confused with. And it shows that the color correction result of this study is more recognizable not only from a CIEDE color difference index but also from subjective visual perception simulated by the Brettel's algorithm compared with other papers.

**Keywords :** Color correction, Region growing, Color Vision Deficiency, Image processing, Confusion line

\* 학생회원, 세종대학교 컴퓨터공학과  
(Dept. of Computer Engineering Sejong University)

\*\* 정회원, 세종대학교 컴퓨터공학과

© Corresponding Author(E-mail : dihan@sejong.ac.kr)

※ 본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업  
(NRF-2017R1D1A1B03028394, NRF-2014R1A1A2058592)  
의 일환으로 수행되었음.

Received ; June 14, 2017      Revised ; October 24, 2017

Accepted ; November 7, 2017

## I. 서 론

멀티미디어 기술의 발전에 의해 여러 종류의 데이터들을 표현하기 위한 방식도 매우 다양해졌다. 이러한 다양한 방식들은 소리, 영상, 동영상 등의 멀티미디어로 우리가 쉽게 접할 수 있게 되었고, 이 중 영상의 경우 많은 종류의 데이터를 다양한 색으로 표현하고 있다. 이런 식으로 표현되고 있는 멀티미디어 영상 데이터를

전 세계의 8%에 해당하는 색각 이상자들은 일반인에 비해서 여러 색들을 혼동함으로서 많은 불편함을 겪고 있다. 인간 망막에는 빛의 밝기를 인지하는 간상세포와 함께 색을 인지하기 위해서 L, M, S로 이루어진 세 종류의 원추세포가 존재한다. 색각 이상자의 경우 세 종류의 원추세포 중에서 하나 이상의 장애가 있는 사람들로 각 원추세포가 가장 예민한 파장의 색상에서 구분에 어려움이 있다. 색각 이상자 인구 중 26%에 해당하는 제1 색각 이상자는 L원추세포에 이상이 있고, 72% 정도에 해당하는 제2 색각 이상자는 M원추세포에 이상이 있다. 나머지 2%에 해당하는 제3 색각 이상자는 S원추세포에 이상이 있는 경우이다<sup>[1]</sup>. L원추세포에 이상이 있는 제1 색각이상자의 경우는 대체로 적색을 구분하기 힘들어하며, 제2 색각 이상자는 녹색, 제3색각 이상은 청색을 구분하기 힘들어한다. 이런 색각 이상자들은 마주하는 많은 멀티미디어 영상들 중에서 특히 색을 통해 정보 구분을 해야 하는 영상에서 불이익을 받는 경우가 매우 흔하다.

아래의 예와 같이 차트와 그래프 등의 데이터들은 많은 경우 색을 이용해서 자세한 정보를 구분하고 있다. 하지만 이러한 차트에서 색각 이상자들은 많은 경우 실제 다른 색을 같은 색으로 인지하기 때문에 많은 어려움을 겪게 된다. 대표적인 예를 그림 1을 통하여 나타내었다.

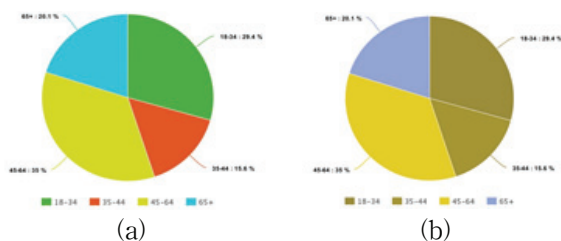


그림 1. 색각 이상자가 불편함을 느끼는 영상  
(a) 일반인 인지 (b) 색각 이상자 인지

fig. 1. The image that a person with color vision deficiency(CVD) feels confuse. (a) Original Image (b) Simulation image as perceived by a CVD

이러한 문제들을 해결하기 위해서 색각 이상자를 위한 색 보정 알고리즘은 이전부터 꾸준히 연구되어 왔지만 기존연구들<sup>[2~5]</sup>의 경우 영상을 분석하지 않고 어떠한 영상을 입력을 받아도 색 팔레트 자체를 전부 수정하여 출력하는 방식이었기 때문에 색 보정 후에 보정된 색과 다시 혼동을 하는 경우가 발생 할 수 있다. 또한 색각 이상자가 혼동하는 색이 존재하지 않는 영상에서도 색 변환이 이루어져 일반인들의 색 인지 시에 이질감을 느낄 수 있도록 색 보정이 진행되는 경우도 있다.

색각 이상자 시점에서 올바른 보정을 진행했을 경우에도 일반인의 색 인지 시점을 고려하지 않아 색 변환에 있어서 정상인이 보기에는 이질감을 나타내는 부분들이 존재 하였다. 또한 다른 연구들<sup>[6~7]</sup>의 경우 특정 색각 이상자들이 인지하기 어려워 다른 색과 혼동할 수 있는 색을 전체적으로 배제하여 보정 하는 방식이기 때문에 올바른 컬러 정보를 향유 할 수 없도록 보정 되는 부분들이 존재 하였다.

## II. 관련 연구

색각 이상자를 위한 대표적인 연구로 색각 이상자의 색 인지 시점을 모사하여 나타낼 수 있도록 하는 Brettel<sup>[8]</sup>알고리즘, 색약의 색 인지 시점을 나타낼 수 있도록 하는 Machado알고리즘<sup>[9]</sup>을 들 수 있다. 또한 색각 이상자들이 혼동하는 색을 정의하는 혼동선<sup>[10]</sup> 및 혼동선DB<sup>[11~12]</sup>까지 여러 연구가 진행되었다.

또한 색각 이상자의 색 인지 시점 개선 연구와 같이 보정 알고리즘도 발전하였다. 기존의 색 보정 알고리즘은 일반적으로 색각 이상자의 색 인지에 도움이 되도록 영상내의 모든 색을 색각 이상자가 인지하기 쉬운 색으로 보정하는 방식을 가지고 있다.<sup>[13]</sup> 또한 CIE L\*a\*b\* 색공간에서 b\*축만을 이동시켜<sup>[21]</sup> 색상을 보정하는 방법도 제시되고 있으며 이 경우 색각 이상자 관점에서는 향상된 결과를 제공하지만 일반인 관점을 고려하지 못하는 단점이 있다.

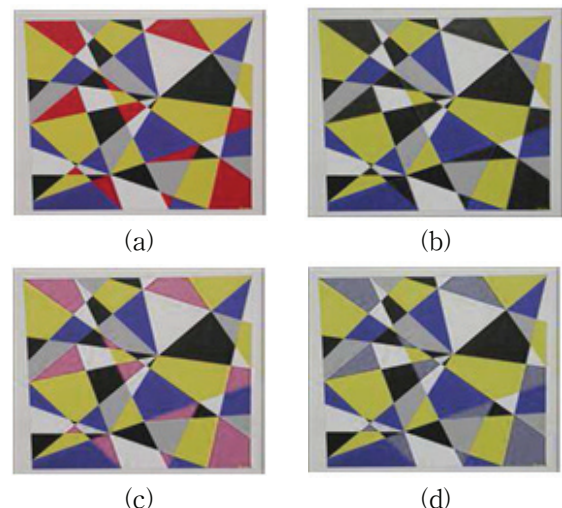


그림 2. Daltonization<sup>[13]</sup> 예시(a) 일반인 인지 (b) 색각 이상자 인지 (c) 보정영상 일반인인지 (d) 보정 영상 색각 이상자 인지

fig. 2. Example of Daltonization. (a) Original Image (b) Simulation image as perceived by deutan (c) Recolored image (d) Recolored and Simulated image as perceived by deutan

Daltonization 방식은 색이 일괄적으로 변환되기 때문에 큰 비용이 소모되지 않으며, 색각 이상자들은 혼동하여 구분하기 힘들었던 색들을 구분 할 수 있게 된다. 해당 결과를 그림 2와 같이 나타내었다. 이러한 기존 보정 알고리즘은 영상내의 혼동하는 색을 구분이 가능하도록 하는 목적에는 문제가 없지만, 해당 방식은 영상 분석 단계가 존재하지 않아 영상 내에 혼동하는 색이 존재하지 않아도 무조건적으로 보정이 실시되며, 혼동하는 영역만을 보정하는 것이 아닌 전체 영상내의 색 팔레트를 수정하는 방식으로 일반인의 시점에서는 이질감을 느낄 수 있다.

이러한 방식들의 단점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 영상을 분석하여 색각 이상자가 혼동하는 색을 추출한 후 이를 최적화된 색으로 보정하는 방식을 제안한다. 색각 이상자의 색 인지도 중요한 문제이지만, 일반인 인지 시에 이질감을 느끼지 않도록 할 수 있도록 보정하는 것도 중요하기 때문에 색 보정 최적화 알고리즘을 사용한다. 영상 분석에는 픽셀의 Hue값을 이용하여 영역 확장(Region Growing)<sup>[15]</sup>을 적용한 영상 구간화, 화소 데이터와 혼동선DB를 사용하여 영상 내 혼동색 여부 검출 및 보정 대상 영역 선정을 진행한다. 이러한 과정을 통해 해당 영상의 색 보정 여부와 영상 내 구분된 구간을 보정할 지에 대한 판단을 진행한다. 분석 단계를 끝낸 후 분석된 영상에서 보정대상이 된 영역의 최적화 색을 찾아 보정하는 과정을 가진다. 색각 이상자 관점에서 보정 과정에서 얻어진 최적화된 색은 영상 내에 존재하는 다른 색 그룹과 혼동이 일어나지 않는 색이며, 영상 내에 존재하는 다른 색 그룹과의 구분이 가장 쉬운 색이 된다.

### III. 최적화 색 보정 방법

본 연구에서는 최적화된 색 보정을 수행하기 이전에 혼동선DB를 구축하여 이를 활용하게 되며 오프라인 단계에서 사전에 구축하는 방법은 다음과 같다.

#### 1. 오프라인 과정 : 혼동선DB 구축

혼동선DB란 sRGB나 CIE L\*a\*b\* 등의 색 공간내의 색들 중 색각 이상자가 혼동하는 색들끼리 그룹화 하여 DB로 구축한 것을 의미한다. 본 연구에서는 RGB 영상 데이터를 인간의 색인지에 적합한 색공간인 CIE L\*a\*b\* 색공간<sup>[20]</sup>으로 변환하여 해당 색 공간에 혼동선DB를 구축한다. 이러한 변환은 RGB 색 좌표에서 XYZ

로 먼저 좌표값 변환 후 CIE L\*a\*b\* 색공간으로 변환을 진행한다<sup>[23]</sup>. 대부분의 RGB영상의 경우 sRGB 색 공간 좌표로 되어 있는데, sRGB 색 공간의 경우 색 공간상의 좌표거리가 인간의 색상인지와 적합 하지 않기 때문에 조건 식 (1)을 이용하여 먼저 색공간 전체를 이산화 한다. 예를 들면 CIE L\*a\*b\* = (70.66, -9.68, 45.32) 값을 가질 경우 이를 이산화 한 값은 Boxindex = (14, -1, 3)으로 변환된다. Lindex 값의 경우 최소 0에서 최대 20까지의 이산화된 정수 값을 가지며 a\*index, b\*index 값의 경우 +8 ~ -9 사이의 이산화된 값을 가진다. 이 경우 최대 6804개의 이산화된 대표색을 가질 수 있으나 그림 3에 나타낸 바와 같이 존재하지 않은 색 영역이 다수 존재하기 때문에 실제로는 1475개의 대표색이 구성된다. 위 과정을 거쳐 이산화 한 결과를 그림 3에 나타내었으며 CIE L\*a\*b\* 색공간을 이용하였다.

$$L_{index} = L/5$$

$$a^*_{index} = \begin{cases} a^*/13 - 1 & (a^* < 0) \\ a^*/13 & (a^* \geq 0) \end{cases} \quad (1)$$

$$b^*_{index} = \begin{cases} b^*/13 - 1 & (b^* < 0) \\ b^*/13 & (b^* \geq 0) \end{cases}$$

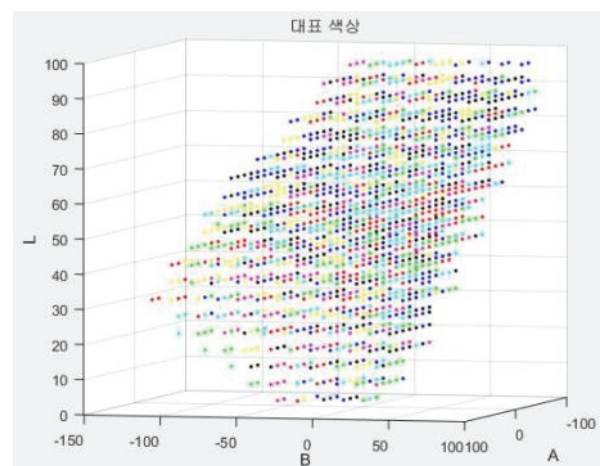


그림 3. 대표색 시각화 결과

Fig. 3 Visualization of Representative Color.

이산화 된 각각의 대표 색들을 각각 Brettel알고리즘<sup>[8]</sup>을 통해 모사하여, 대표 색간의 혼동여부를 검사 한다. 혼동여부는 CIEDE2000<sup>[14]</sup>색차 공식을 통해 각 색간의 모사된 색의 색차가 임계값 이하인 색을 혼동한다고 판단하였으며 본 연구에서는 혼동선 DB구축을 위한 임계



값으로 3을 사용하였다. 이러한 과정을 모든 대표 색에 대해서 적용하면, 각 대표 색들은 해당 색과 혼동하는 색들의 리스트를 각각 그룹화하여 가지게 된다. 그룹화 방법의 경우 색차 연산을 통해 계산된 데이터를 이용하여 머신러닝을 통한 클러스터링 기법인 k-means<sup>[16]</sup>, svm<sup>[17]</sup>을 사용하여 그룹핑한 결과도 구성해 보았지만, 색 사이의 색차를 정확히 나타내는 부분에 있어 한계가 있었다. 본 연구에서는 임계값을 사용한 그룹핑을 진행하였고 이산화된 색들은 여러개의 혼동선 그룹에 동시에 속하게 된다. 그룹핑 과정을 그림 4를 통해 예시로 나타내었고, 해당 그룹핑 결과를 시각화 하여 그림 5에 나타내었다. x축은 대표 색번호 및 혼동선 번호로 1475개로 이루어진다. y축은 해당 대표 색들을 기준으로 하여 대표 색과 혼동하는 색의 리스트이다. 그룹핑 결과를 좀 더 확실하게 보여주기 위해서 그림 6에 확대 영상을 도시하였다. 그림 6(a)의 715번으로 그룹핑 된 색들의 예를 들면 적색 계열과 녹색 계열의 색으로 이루어져 있음을 볼 수 있다. 이를 제2색각 이상자의 시각으로 모사한 그림 6(b)를 보면, 715번 그룹의 경우 거의 같은 색으로 보이는 것을 알 수 있다. 인접 그룹의 경우 비록 유사한 색으로 보일 수 있으나 색차가 정해진 값 이상의 차이를 가지고 있다. 일반적인 그룹핑 과정의 경우 원래의 데이터의 수보다 적은 수의 그룹을 생성한다. 그러나 본 연구에서는 1475개의 대표색을 이용하여 색각 이상자가 혼동하는 1475개의 혼동선 그룹을 생성하였다. 이러한 방식으로 혼동선 DB를 구축하면 같은 대표 색이 여러 개의 그룹에 동시에 존재하게 되며 온라인 처리 과정에서 혼동색 검색이 용이하게 되는 장점이 있다.

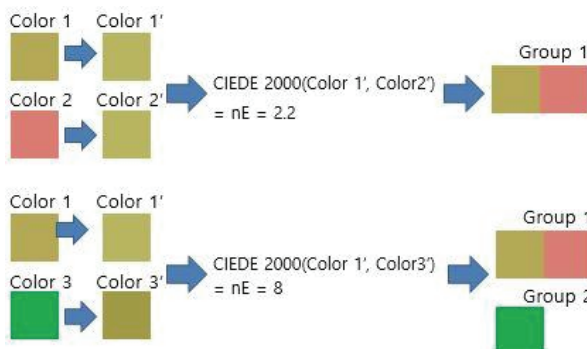


그림 4. 대표색 그룹핑 예시 (상) 혼동하는 색의 그룹핑 예시 (하) 혼동하지 않는 색의 그룹핑 예시  
Fig. 4. Example of Representative Color grouping (top) example of grouping of the confused color (bottom) example of grouping of the color not confused.

그림 6(b)와 같은 모사 영상을 얻기 위해서 본 논문에서는 [8]에서 제안되어진 알고리즘을 적용하였으며 해당 알고리즘을 간단히 설명하자면 다음과 같다. Brettel 알고리즘은 색 인지를 위한 원추세포 L, M, S를 나타내는 색 공간 LMS 색 공간상에서 진행한다.

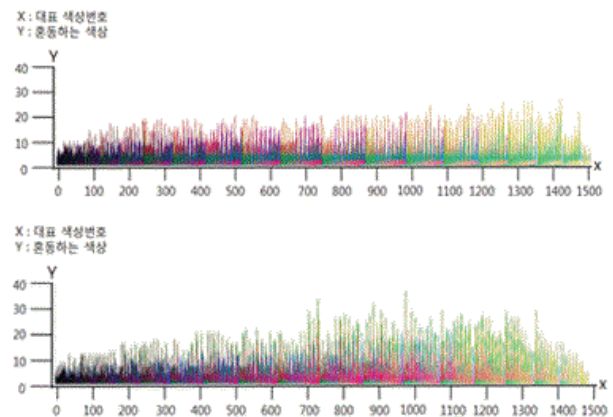


그림 5. (상) 1 색각 이상자 혼동선DB 시각화 결과 (하) 2색각 이상자 혼동선DB 시각화 결과  
Fig. 5. (top) Visualization of protanopia Confusion Line (bottom) Visualization of deutanopia Confusion Line.

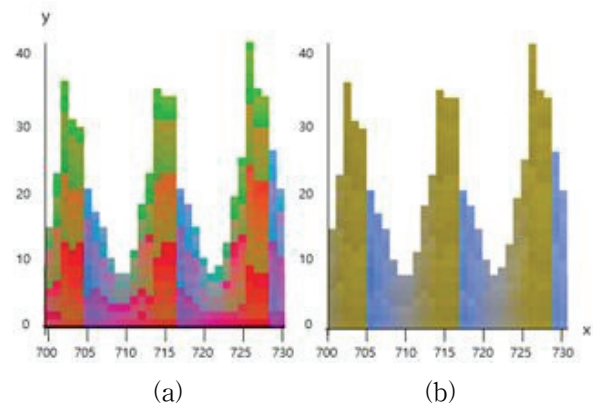


그림 6. 2 색각 이상자 혼동선DB 시각화 결과 확대영상 (a) 일반인 인지 색 (b) 색각 이상자 인지 색  
Fig. 6. (a) Zoomed deutanopia Confusion Line (b) Zoomed deutanopia Confusion Line perceived by deutan.

색각 이상자가 인지하듯 1, 2, 3 색각이상자 별로 각 L, M, S축의 색상 좌표들을 shift하여 각 원추세포에 이상이 있는 듯 하도록 색을 시뮬레이션하게 된다. 디지털 영상에 해당 색 공간을 사용하기 위해 영상내의 RGB 색 공간을 XYZ 색 공간으로 변환 후, 이어서 LMS 색 공간으로 변환하여 각 색각 이상자들에 대한 shift를 진행한 후, 이전의 역순으로 LMS 색 공간

에서 XYZ 색 공간으로 이후 RGB색 공간으로 변환하여 RGB 디지털 영상에서도 색각 이상자가 인지하는 시점으로 시뮬레이션한 결과를 얻을 수 있다.

## 2. 온라인 과정 : 최적 색 보정

제안하는 알고리즘은 그림 7과 같이 구성되어 있다.

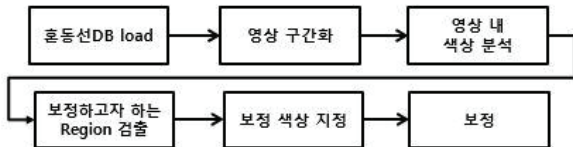


그림 7. 최적화 색 보정 방법 블록도

fig. 7. Block diagram of optimal color correction.

### 가. 혼동선DB load

영상 보정의 첫 단계로써 제일 먼저 영상내의 색 분석 시에 사용될 혼동선DB를 로딩 한다. 혼동선DB는 혼동선DB 구축 부분에서 상기한 바와 같이 데이터들의 나열로 되어 있기 때문에 단순한 로딩 과정을 거쳐 색 최적화 보정 준비를 진행한다. 또한 사용자가 본인의 색각 이상 종류를 지정하면 이에 맞추어 필요한 혼동선DB가 사용된다.

### 나. 영상 구간화

본 논문에서는 영역확장 방법<sup>[15]</sup>을 통해서 영역을 분할한다. 영역확장 방법은 영역 기반 이미지 분할 방식이다. 영상을 작은 영역으로 쪼개고 인접한 영역 간의 색깔이나 밝기 차이를 계산해 비슷한 영역을 합쳐나가고, 최종적으로 남는 영역들로 영상을 분할하는 방법이다. 본 연구에서는 시작 단계에서 영상 내의 특정 색을 가지는 화소들을 시작점(Seed Point)으로 지정하여 해당 시작점들의 근처 화소 중 유사한 화소들을 시작점에 붙여 해당 영역을 확장시켜 나가며 전체 영상 내에서 같은 색을 가지는 영역들을 구역화한다. 그림 8은 본 연구에서 진행되는 영역확장 방법을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 시작점의 정보로 Hue값을 사용하기 때문에 비슷한 색에 대해서 시작점의 영역을 확장해 나아간다. 본 연구의 영역 확장 결과 예를 그림 9으로 나타내었다. 물체 인식에 필요한 영역 분할의 경우 보다 엄밀한 영역 확장 기법이 필요하지만 본 연구에서는 단순히 유사한 색 정보를 갖는 부분들을 같은 영역으로 간주한다. 또한 영역이 서로 분리되어 있어도 유사한 색이면 같은 영역으로 간주한다<sup>[21]</sup>.

### 다. 영상 내 색 분석

영상 내에서 혼동하는 색을 보정하게 되었을 때 보정된 색이 영상내의 또 다른 색과 재혼동할 여지를 없애기 위해 영상내의 모든 영역(Region)내의 색을 분석하여 영상에 존재한다고 판단되는 색이 존재하는 혼동선을 보정 색 리스트에서 제거하는 과정이다. 그림 10으로 해당 과정을 순서도로 나타내었다.

Region 1

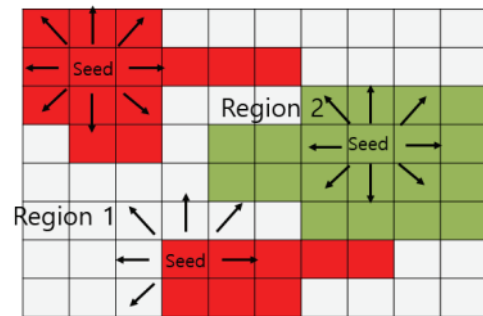


그림 8. 영역확장 방법 진행과정 시각화

Fig. 8. Visualization of Region Growing.

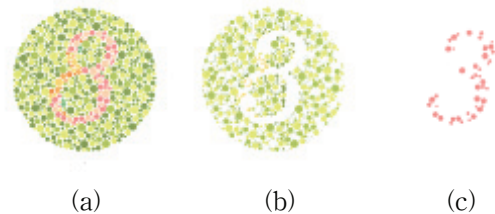


그림 9. 영상 구간화 예시 (a) 원본 영상 (b) 구간화 영상 1 (c) 구간화 영상 2

Fig. 9. Example of Image Segmentation (a) Original image (b) Region 1 (c) Region 2.

해당 순서도 내의 변수를 설명 하자면,  $C_i^R$ 은 해당 영상내의  $i$ 번째 영역에 존재하는 sRGB, CIE L\*a\*b\*를 포함하는 색의 개념이고,  $CL[i]$ 는 그림 5에서 나타낸 혼동선 DB에서  $i$ 번째의 혼동선 그룹을 나타낸 것이다.  $n$ 은 영상내의 영역의 개수,  $CLnum$ 은 혼동선의 개수 및 대표색의 개수를 뜻하는 1475를 뜻한다.  $CL\_flag$ 는 영상내의 혼동선 존재 여부를 나타내는 것으로,  $CL\_flag[i]$ 값이 true가 되는 경우는 영상 내에 존재하는 해당 영역의 색이  $CL[i]$  DB 내의 존재하는 여러 색 중에 포함된다는 의미이며 또한 영상 내에 해당 혼동선이 존재한다는 의미이다.  $CL\_flag$ 가 false일 때 영상 내에 해당 혼동선이 존재하지 않으며 현재의 색이 색 보정을 통해서 이러한 색상으로 변환 되더라도 결과영상들은

서로 혼동하지 않음을 의미한다. 따라서 이러한 혼동선을 분석하는 과정을 통해 보정 색 선택 시에 이미 존재하는 혼동선을 제외한 DB에서 보정 색을 선택 할 수 있도록 만들어 재보정의 가능성을 제거한다.

$C_i^R = i^{\text{th}} \text{ RegionColor}$   
 $CL = \text{ConfusionLine}$

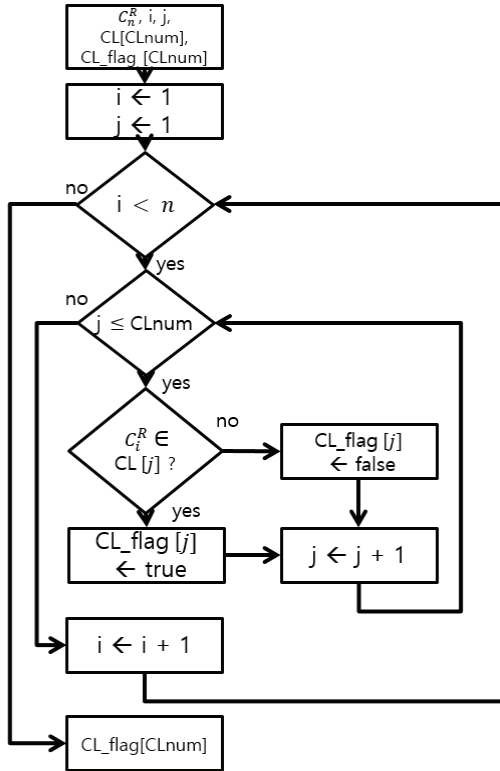


그림 10. 혼동선 리스트 제거 과정 순서도  
Fig. 10. Flowchart of ConfusionLine list removal.

#### 라. 보정 영역 검출

그림 11에 보정하고자 하는 영역을 지정하는 과정을 순서도로 정리하였다. 보정하고자 하는 영역을 지정하는 방식은 혼동여부를 판단하는  $isConfuse(C_i^R, C_j^R)$ 와 영역간의 크기를 비교하는 것으로 구성 되어있다. 영역 확장을 통해 영상내의 구간화가 완료되면,  $isConfuse(C_i^R, C_j^R)$ 는 각 영역을 대표하는 색리스트인  $C_i^R, C_j^R$ 의 색들을 비교하여 혼동여부에 대한 결과 (true 또는 false를) 출력하게 된다. 혼동 여부가 true인 경우 두 색의 영상내의 분포도를 비교하여 더 적은 면적을 가지는 색을 보정하여 색 보정영역의 최소화를 도모한다.

해당 과정을 그림 12를 이용하여 설명하면 다음과 같다. 현재 배경 영역에 해당하는 색 RGB = 182, 176, 88와 숫자 영역에 해당하는 색 RGB = 215, 127, 77를 비교하기 위해 먼저 CIE  $L^*a^*b^*$  색 공간으로 수정 후

Boxindex로 변환한다. 변환된 Boxindex (14, -1, -3)과 (12, 2, 3)을 대응하는 혼동선DB와의 비교를 통해 해당 색들이 같은 혼동선에 존재하는지 확인한다. 이 때 같은 혼동선상에 존재한다고 판단이 된다면, 색각 이상자가 인지할 경우 혼동하는 색이라고 생각되기 때문에 보정하고자 하는 영역으로 분류한다. 앞서 언급한 바와 같이 1475개의 대표색을 이용하여 1475개의 혼동선을 구성할 경우, 혼동선 DB 탐색 시 매우 쉬워지는 장점이 있다. 즉 고려 대상인 두 색 중의 임의의 색을 선택하여 대표색을 찾아가서 해당 리스트만 검색하면 두 색의 혼동색 여부를 매우 쉽게 찾을 수 있다.

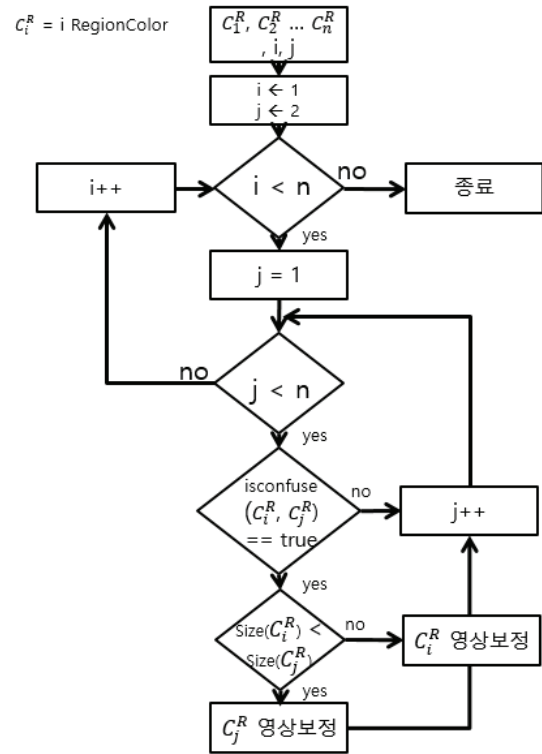


그림 11. 보정 영역 지정 순서도  
Fig. 11. Flowchart of finding confused region.

표 1. isConfuse()의 정의

Table1. Definition of isConfuse()

1	: $isConfuse(C_i^R, C_j^R)$
2	: $box\_Color_i L*a*b* \leftarrow boxindex(C_i^R)$
3	: $box\_Color_j L*a*b* \leftarrow boxindex(C_j^R)$
4	: $if(equalConfusionLine(box\_Color_i L*a*b*, box\_Color_j L*a*b*) == true) \text{ then}$
5	: $Color_i L*a*b* \leftarrow C_i^R$
6	: $Color_j L*a*b* \leftarrow C_j^R$

```

7 :   if( $\Delta E_{00}(Color_i, L^*a^*b^*, Color_j, L^*a^*b^*) > 15$ )
      then
8 :       return true
9 :   else
10 :       return false
11 :   end if
12 : end if

```

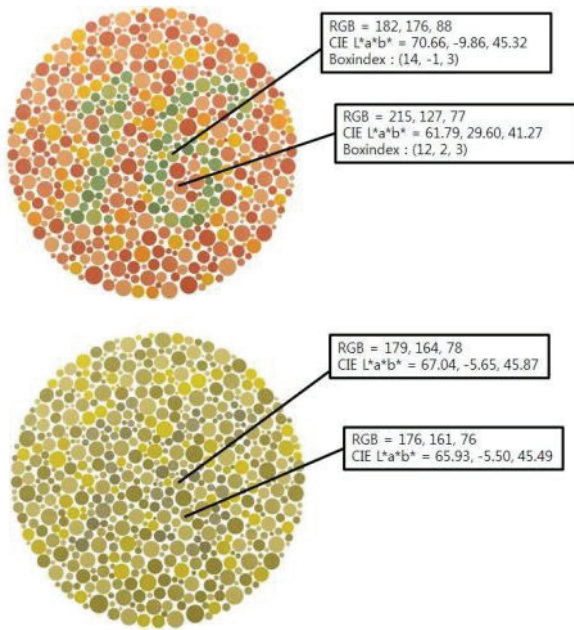


그림 12. 혼동색 검색을 위한 연산 과정 예시  
Fig. 12. Example of confused color searching

표 2. 그림 12에서 추출한 두 영역의 색 비교 결과  
Table2. Results of color comparison between extracted regions.

	$\Delta E_{00}$	isConfuse( $C_i^R, C_j^R$ )결과
일반인 인지	28.74	true
색각 이상자 인지	0.90	

#### 마. 보정 색 지정

최적의 색으로 보정하기 위해서는 색보정이 유효하게 처리되었는지에 대한 지표를 계산할 필요가 있다. 유효함이란 색각이상자 관점에서는 구분이 되지 않던 색 영역이 구분이 가능해지며, 일반인 관점에서는 변화된 색이 변환 이전의 색과 비교해서 느끼기에 부담이 없는 경우를 의미한다. 기존의 영상처리 연구에 많이 사용되던 SSIM<sup>[18]</sup>, PSNR<sup>[19]</sup>등으로는 영상의 일부분, 그리고 색의 수정을 나타내는 수치로는 볼 수 없기 때문에 본 연구에서는 새로운 방법을 제시하였다. 새로운 색 최적화 방식은 영상을 분석하되 색각 이상자 및 일반인의 관점을 모두 고려한다. 즉 색 보정 전, 후의 영

역별 색의 색차를 비교하며, 동시에 Brettel 알고리즘<sup>[8]</sup>을 사용하여 색각 이상자의 시각을 모사한 영상에서 영역별 색의 색차를 비교한다. 색간의 차이를 정확하게 나타내기 위해 CIE에서 제공되는 CIEDE2000 색차 공식<sup>[15]</sup>을 사용한다. 이 색차 공식은  $\Delta E_{00}$ 으로 표현하며, CIE L\*a\*b\*와 HSV<sup>[20]</sup>색공간을 사용하여 색간의 차이를 최대한 정확하게 구하는 방식이다.

영상 최적화 방식의 연산 과정의 예를 아래의 그림 13과 아래의 표 3으로 나타내었다. 영상분석이 끝난 후 혼동한다고 판단된 두 영역의 색을 각각  $C_1^R, C_2^R$ 라고 정의하고,  $C_2^R$ 의 위치에 새로 보정될 예정인 색의 대표 색 리스트를  $C_i^{CL}$ 이라고 정의한다. 영역확장 방법을 통해 연산된 각 영역들은 영상 내 색 분포 히스토그램을 계산하여 내림차순으로 정렬이 되기 때문에 영역이 넓은 색이  $C_1^R$ , 상대적으로 적은 색이  $C_2^R$ 이 된다.

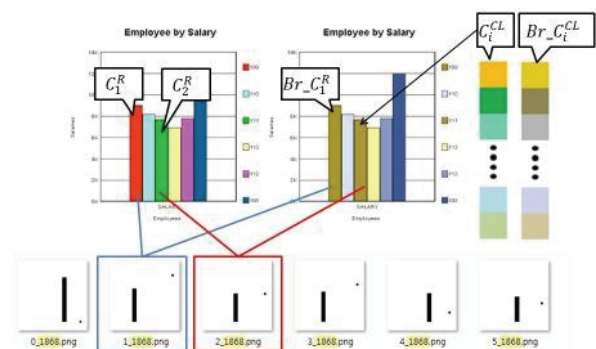


그림 13. 영상 보정과정 예시  
fig. 13. Example of color correction process.

보정 후 일반인 인지 색차를 구하기 위해  $C_2^R$ 과  $C_i^{CL}$ 의 색차를 계산한 결과를  $ColorDiff_{NORMAL}$ 로 정의하며 식 (2)에 나타내었다. 그리고 색각 이상자가 보정 후에 인지하는 색차를 구하기 위해  $C_1^R$ 과  $C_i^{CL}$  각각에 대하여 Brettel 모사한  $Br-C_1^R$ 과  $Br-C_i^{CL}$  두 색간의 색차를 계산한 결과를  $ColorDiff_{CVD}$ 라 정의하며 식 (3)에 나타내었다. 이때  $C_i^{CL}$ 은 대표색의 개수 CLnum(1475개) 중에서 지난 영상 분석 단계에서 영상 내에 존재한다고 판단된 혼동선들을 제외한 나머지 색들을 대상으로 한다. 본 연구에서는  $C_i^{CL}$ 에 존재하는 모든 색들과  $C_1^R, C_2^R$ 의 모사 전후의 색차를 비교하여 가장 최적으로 보정을 수행할 수 있는 대표색 번호인  $O_{index}$ 를 찾아 해당색인  $C_{O_{index}}^{CL}$ 으로 보정을 진행한다.



그리고 이러한 과정을 나머지 혼동하는 색 영역들에 대해서 반복적으로 수행한다.

최적화 공식은 식 (6)과 같다.  $ColorDiff_{CVD}$ 의 경우 너무 클 경우 엉뚱한 색으로 보정되어 일반인의 시점을 고려하기 힘들어지고 이 값이 너무 작아지면 색각 이상자들의 관점에서 색의 구분이 여전히 힘들기 때문에 상수색차  $Color\_val$ 으로 그 크기를 조절하며 현재는 실험적으로 측정된 25를 사용한다. 또한 일반인이 느끼는 변환된 색의 색차가 적을수록 좋기 때문에  $ColorDiff_{NORMAL}$ 를 동시에 고려한다. 따라서 본 연구에서는 색각 이상자들이 변환된 색을 충분히 인지할 수 있게 하면서 동시에 정상인 관점에서는 색의 변화가 최소화되는 색을 찾도록 지표를 설정하였다. 자세한 내용은 아래의 순서도에 나타내었으며 모든 대표색에 대한 지표값을 계산 한 후 가장 낮은 지표값을 갖는 색을 보정할 색으로 지정함으로써 최적의 색을 찾아내게 된다.

표 3. 색 최적화 알고리즘  
Table3. Color optimization algorithm.

```

1 : i ← 1
2 : min ← 999
3 : for(i < CLnum)
4 :   if(CL_flag[i] == false) then
5 :      $Color_1L^*a^*b^* \leftarrow C_1^R$ 
6 :      $Color_2L^*a^*b^* \leftarrow C_2^R$ 
7 :      $new\_ColorL^*a^*b^* \leftarrow C_i^{CL}$ 
8 :      $ColorDiff_{NORMAL} \leftarrow \Delta E_{00}(\text{Color}_2L^*a^*b^*, new\_ColorL^*a^*b^*)$ 
9 :      $Br\_Color_1L^*a^*b^* \leftarrow \text{Brettel\_TR}(\text{Color}_1L^*a^*b^*)$ 
10 :     $Br\_new\_ColorL^*a^*b^* \leftarrow \text{Brettel\_TR}(new\_ColorL^*a^*b^*)$ 
11 :     $ColorDiff_{CVD} \leftarrow \Delta E_{00}(Br\_Color_1L^*a^*b^*, Br\_new\_ColorL^*a^*b^*)$ 
12 :     $Diff_{Color} \leftarrow \sqrt{(\text{ColorDiff}_{CVD} - \text{Color\_val})^2} + \text{ColorDiff}_{NORMAL}$ 
13 :    if(min >  $Diff_{Color}$ ) then
14 :      min ←  $Diff_{Color}$ 
15 :       $O_{index} \leftarrow i$ 
16 :    end if

```

```

17 :   end if
18 : end for
19 : return  $O_{index}^{CL}$ 

```

```

1_1 : Brettel_TR( $L^*a^*b^*$ , type)
1_2 :  $Br\_RGB \leftarrow \text{Lab\_to\_RGB}(L^*a^*b^*)$ 
1_2 : if(type == protan) then // 1 색각
1_3 :    $Br\_RGB \leftarrow \text{Brettel}(RGB, p)$ 
1_4 : else if(type == deutan) then // 2 색각
1_5 :    $Br\_RGB \leftarrow \text{Brettel}(RGB, d)$ 
1_6 : else if(type == tritan) then // 3 색각
1_7 :    $Br\_RGB \leftarrow \text{Brettel}(RGB, t)$ 
1_8 : endif
1_9 :  $Br\_L^*a^*b^* \leftarrow \text{RGB\_to\_Lab}(Br\_RGB)$ 
1_10 : return  $Br\_L^*a^*b^*$ 

```

$$ColorDiff_{NORMAL} = \Delta E_{00}(\text{Color}_2L^*a^*b^*, new\_ColorL^*a^*b^*) \quad (2)$$

$$ColorDiff_{CVD} = \Delta E_{00}(Br\_Color_1L^*a^*b^*, Br\_new\_ColorL^*a^*b^*) \quad (3)$$

$$Diff_{CVD} = \sqrt{(\text{ColorDiff}_{CVD} - \text{Color\_val})^2} \quad (4)$$

$$Diff_{Color} = \sqrt{(\text{ColorDiff}_{CVD} - \text{Color\_val})^2} + \text{ColorDiff}_{NORMAL} \quad (5)$$

$$O_{index} = \underset{i \in \{i | CL\_flag[i] == false\}}{\text{argmin}_i} (\sqrt{(\text{ColorDiff}_{CVD} - \text{Color\_val})^2} + \text{ColorDiff}_{NORMAL}) \quad (6)$$

#### IV. 실험 결과

본 논문이 제안하는 보정기법은 색 보정 시에 혼동선 DB를 이용하여 현재 영상에서 가장 이상적인 색을 선택하여 보정하기 때문에 불필요한 색 보정을 최소화한다. 이로 인해 기존의 색 보정 알고리즘들이 가지고 있는 문제점들의 극복이 가능하였다. 예를 들면 기존 기법으로 보정된 영상의 경우 색각 이상자 시점에서는 개선된 영상을 얻게 되지만 일반인 시점에서 보면 보정된 영상에서 불편함을 초래하는 경우가 많았다. 아래에 제안한 보정 알고리즘의 다양한 실험 결과를 제시하였다.

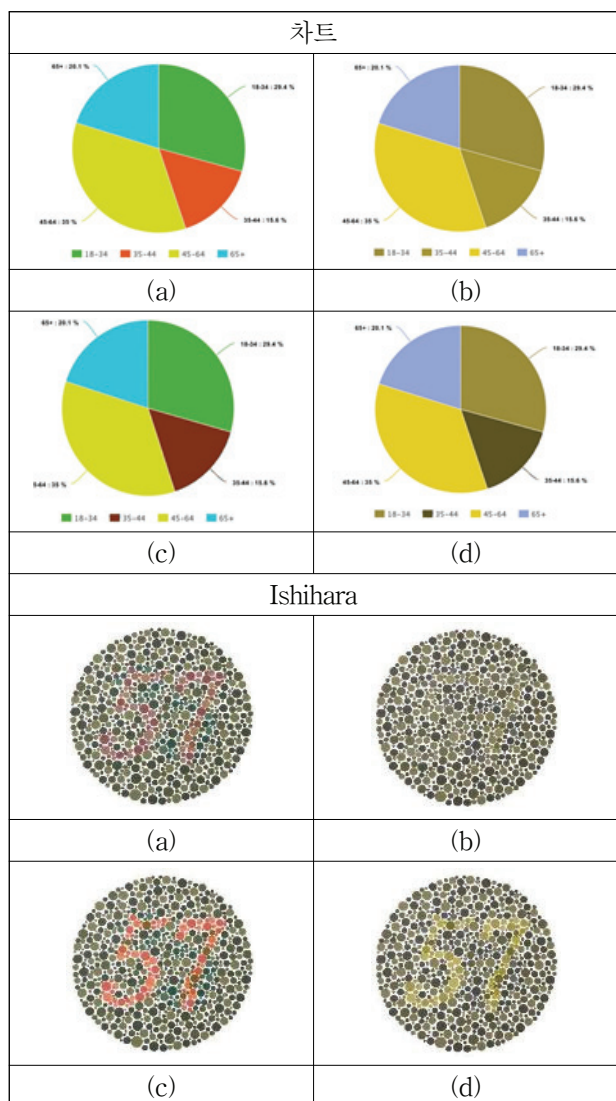


그림 14. 제2 색각 이상자 실험 결과

(a) 원본 영상 (b) 색각 이상자 인지 (c) 보정 영상  
(d) (c) 색각 이상자 인지

fig. 14. Experimentation result for deutanopia. (a) Original image (b) Simulation image as perceived by deutan (c) Recolored image (d) Recolored and simulated image as perceived by deutan

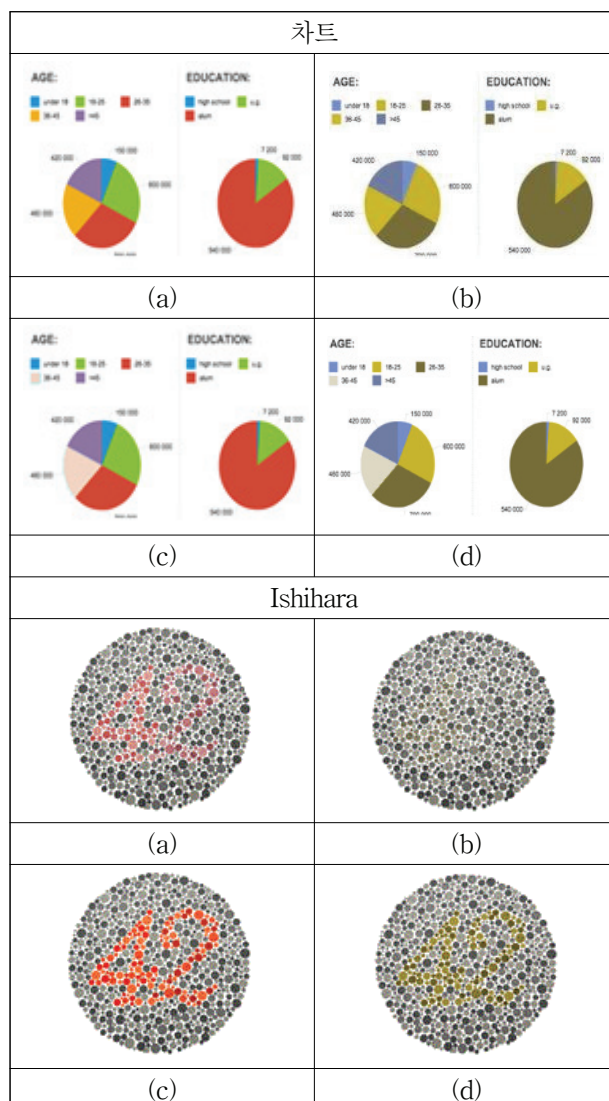


그림 15. 제1 색각 이상자 실험 결과

(a) 원본 영상(b) 색각 이상자 인지 (c) 보정 영상  
(d) (c) 색각 이상자 인지

fig. 15. Experimentation result for protanopia. (a) Original image (b) Simulation image as perceived by protan (c) Recolored image (d) Recolored and simulated image as perceived by protan

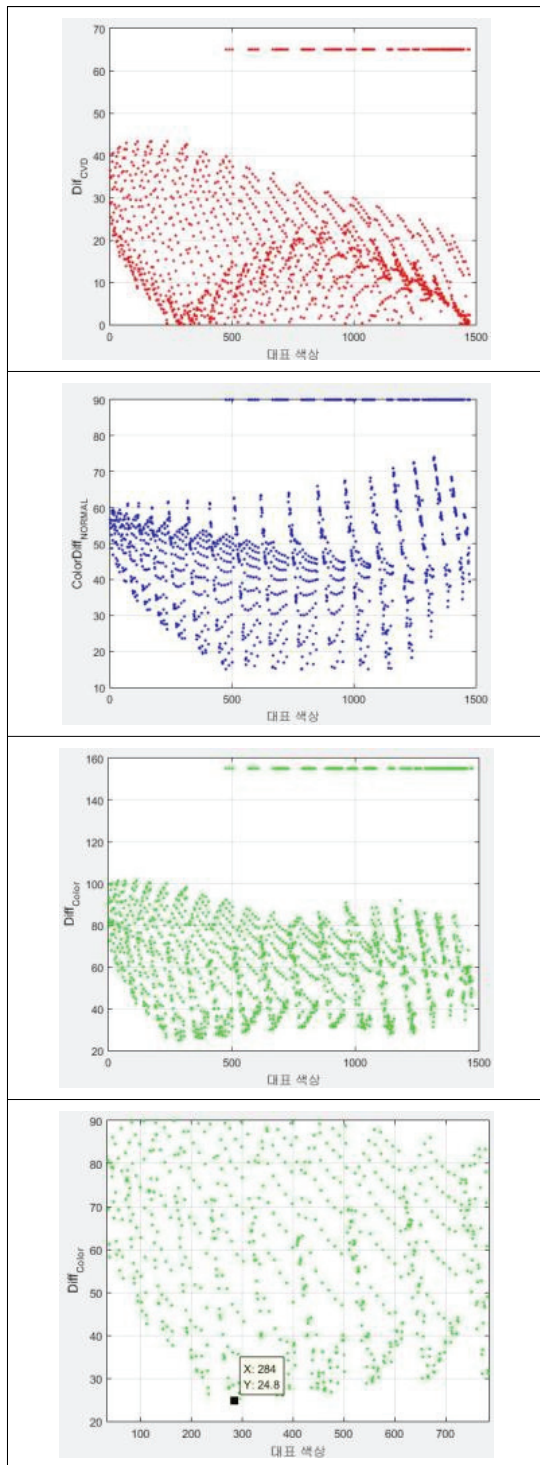


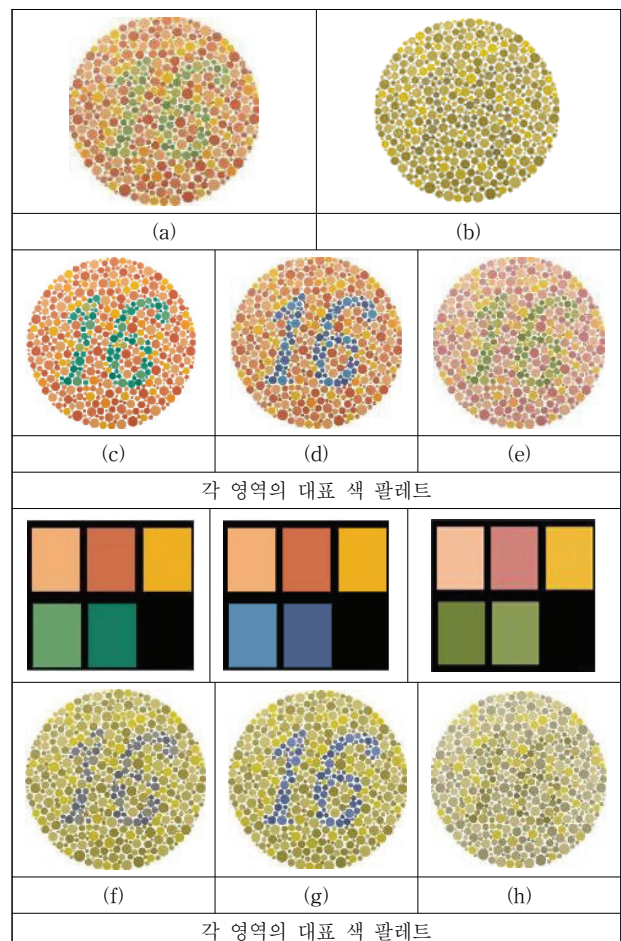
그림 16. 차트 영상 분석 결과 (a) 영상내의  $Diff_{CVD}$  분석 결과 (b) 영상내의  $ColorDiff_{NORMAL}$  분석 결과 (c) 영상내의  $Diff_{Color}$  분석 결과 (d) 영상내의  $Diff_{Color}$  확대 분석 결과

그림 16. Chart image analysis result (a) Analysis result of  $Diff_{CVD}$  (b) Analysis result of  $ColorDiff_{NORMAL}$  (c) Analysis result of  $Diff_{Color}$  (d) Zoomed analysis result of  $Diff_{Color}$

그림 14, 그림 15의 결과들로부터 쉽게 파악할 수 있는 바와 같이 본 연구에서는 색각 이상자들이 인지하기 힘든 색들을 보정하여 매우 쉽게 인지 가능 하도록 보정한 것을 볼 수 있다.

그림 16은 그림 14의 차트 영상에 대한 정량적 분석 결과이다. 영상내의 녹색 및 붉은색 부분과 나머지 1473개의 대표색과의 색 비교를 통해 색각 이상자의 색차인  $Diff_{CVD}$ 와 정상인이 느끼는 색차  $ColorDiff_{NORMAL}$ 을 나타내었고 이를 모두 고려한  $Diff_{Color}$ 를 연산한 결과를 나타내었다. 그림 16(c)의 최소값 부분을 확대하여 그림 16(d)에 나타내었으며 가장 낮은 값을 가진 284번 대표 색이 선택되어 해당하는 고동색과 유사한 색으로 보정이 진행된다.

또한 본 논문에서는 기존의 연구결과들과 비교를 진행하였다. 참고문헌 [13], [21] 논문과의 비교 결과를 그림 17에 나타내었고, 영상자체의 비교와 색간의 비교를 포함하기 위하여 주요 색 팔레트를 같이 도시 하였다. 색 팔레트는 해당 영상내의 출현빈도수 대로 내림차순으로 정렬되어 있다.





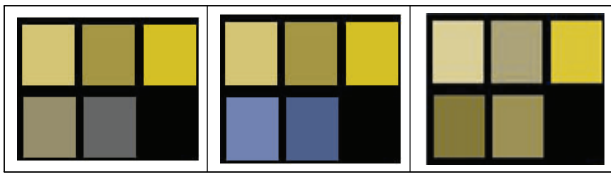


그림 17. 기존 논문<sup>[21, 13]</sup>과의 비교 결과 1 (a) 원본영상 (b) 제2 색각 이상자 인지 영상 (c) 제안하는 방식의 보정 결과 (d) [21]의 보정 결과 (e) [13]의 보정 결과 (f) (c)의 제2 색각 이상자 인지 (g) (d)의 제2 색각 이상자 인지 (h) (e)의 제2 색각 이상자 인지

fig. 17. Comparison result 1 with Existing paper<sup>[21, 13]</sup>. (a) Original image (b) Simulation image as perceived by deutan (c) Proposed result (d) Corrected image by [21] (e) Corrected image by [13] (f) Deutan simulation image of (c) (g) Deutan simulation image of (d) (h) Deutan simulation image of (e)

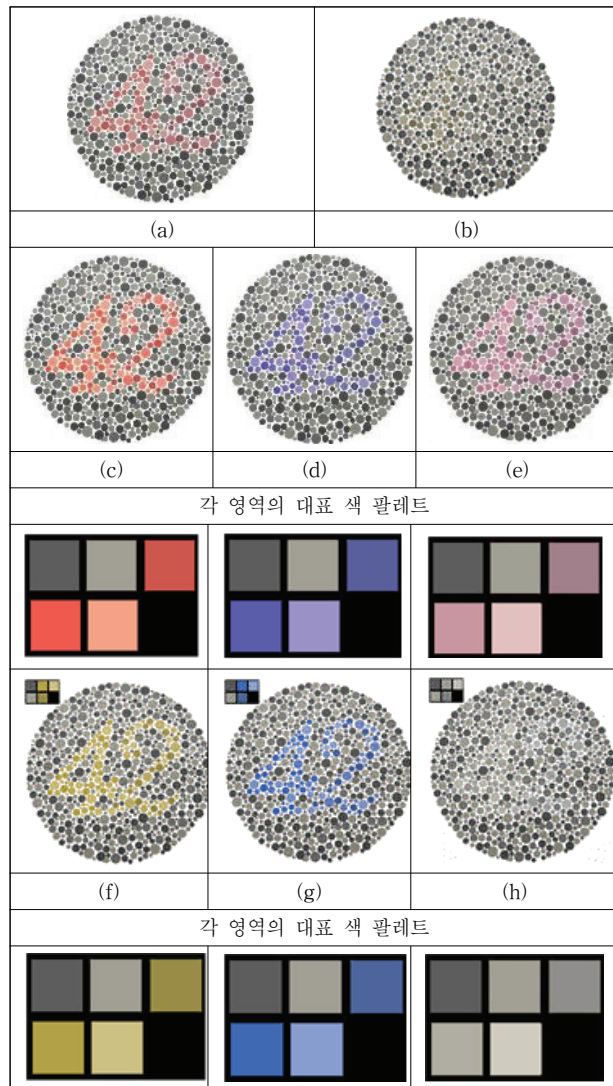


그림 18. 기존 논문<sup>[21, 13]</sup>과의 비교 결과 2 (a) 원본영상 (b) 제2 색각 이상자 인지 영상 (c) 제안하는 방식의 보정 결과 (d) [21]의 보정 결과 (e) [13]의 보정

결과 (f) (c)의 제2 색각 이상자 인지 (g) (d)의 제2 색각 이상자 인지 (h) (e)의 제2 색각 이상자 인지

fig. 18. Comparison result 2 with Existing paper<sup>[21, 13]</sup>. (a) Original image (b) Simulation image as perceived by deutan (c) Proposed result (d) Corrected image by [21] (e) Corrected image by [13] (f) Deutan simulation image of (c) (g) Deutan simulation image of (d) (h) Deutan simulation image of (e)

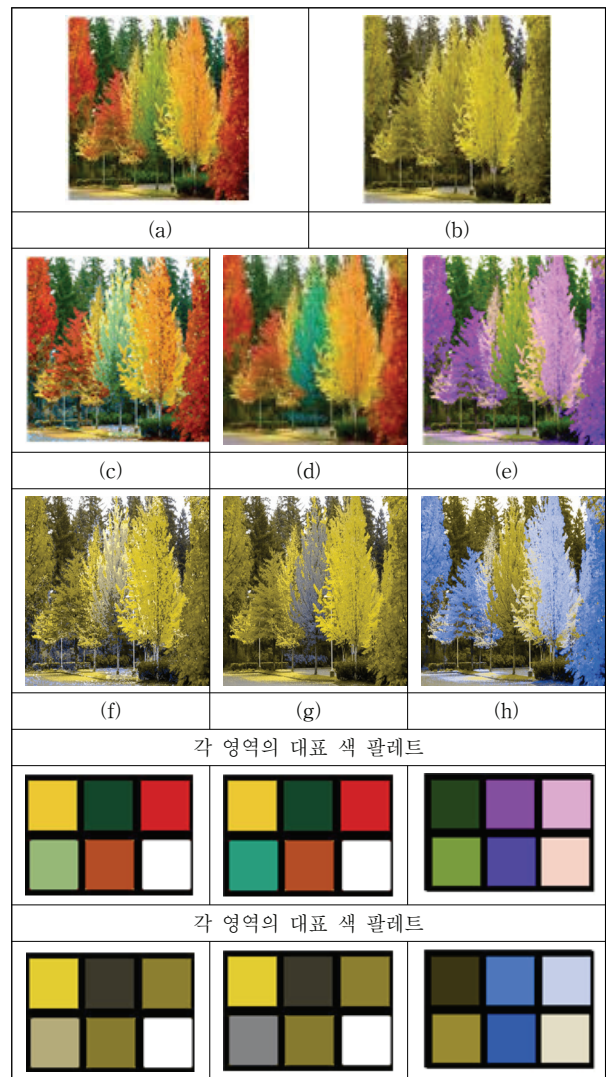


그림 19. 기존 논문<sup>[21, 13]</sup>과의 비교 결과 3 (a) 원본영상 (b) 제2 색각 이상자 인지 영상 (c) 제안하는 방식의 보정 결과 (d) [21]의 보정 결과 (e) [13]의 보정 결과 (f) (c)의 제2 색각 이상자 인지 (g) (d)의 제2 색각 이상자 인지 (h) (e)의 제2 색각 이상자 인지

fig. 19. Comparison result 3 with Existing paper<sup>[21, 13]</sup>. (a) Original image (b) Simulation image as perceived by deutan (c) Proposed result (d) Corrected image by [21] (e) Corrected image by [13] (f) Deutan simulation image of (c) (g) Deutan simulation image of (d) (h) Deutan simulation image of (e)



기존의 두 논문의 결과와 본 논문의 결과를 비교해 보면 기존 두 논문의 경우 인지하기 힘든 색을 색각 이상자들도 인지 할 수 있도록 보정 하는 것에는 성공 하였지만, 여타 다른 색도 보정이 되며 정상인 관점에서는 이질감을 느낄 수 있게 보정이 된 것을 볼 수 있다. 본 논문의 결과는 혼동하는 영역 중에서 면적이 적은 영역만을 보정하여 색각 이상자는 물론 일반인 인지 시에도 큰 이질감을 느끼지 않도록 보정이 된 것을 알 수 있다.

그림 17(g)의 경우 색각 이상자 관점에서는 제안하는 기법보다 가독성이 더 좋은 것을 볼 수 있으나 그림 17(d)와 같이 정상인 시점으로 비교했을 때 제안 기법에 비해서 색차가 너무 큰 것을 볼 수 있다. 이에 전체적인 관점에서는 본 연구의 제안 기법이 최적으로 색을 결정 한 것으로 판단된다. 그림 18, 그림 19의 경우에는 정상인 시점 및 색각 이상자 시점 모두 본 연구의 보정 색 선정이 가장 우수한 것을 알 수 있다.

그림 20의 다섯 가지 샘플 영상을 이용한 정량적인 평가도 동시에 수행하였으며 그 결과를 그림 21~23에 나타내었다.

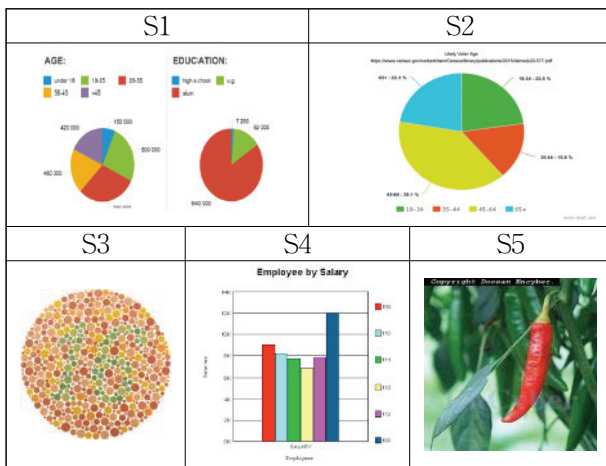


그림 20. 비교를 위해 사용된 영상  
Fig. 20. The sample images for comparison.

각 데이터들은 정확한 비교를 위해 영상 내 면적 비율에 따른 가중치를 주어 비교를 진행하였다. 그림 21의 경우 보정 후의 색 데이터 비교를 진행하기 위해 원본 영상과 각 보정 영상간의 대응하는 영역 사이의 색 데이터를 비교하여  $ColorDiff_{NORMAL}$ 의 값을 나타내었다. 원본 영상끼리의 비교는 차이값이 0이므로 그림 21에서 보라색 영역은 보이지 않게 되었다. 보정 기법 중에서는 본 연구의 결과가 가장 낮은 수치를 나타내어

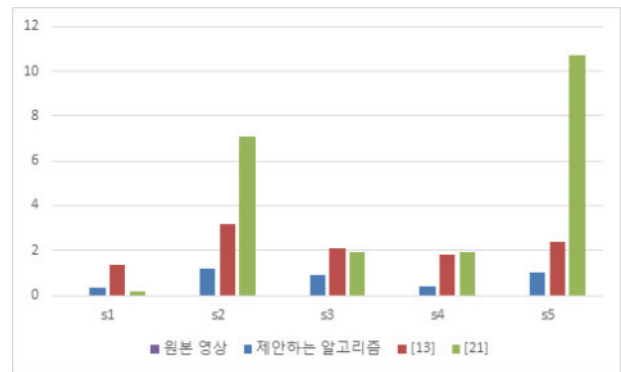


그림 21. 원본 영상과 각 보정 알고리즘의  $ColorDiff_{NORMAL}$  비교

Fig. 21.  $ColorDiff_{NORMAL}$  comparison of original image and each correction algorithm.

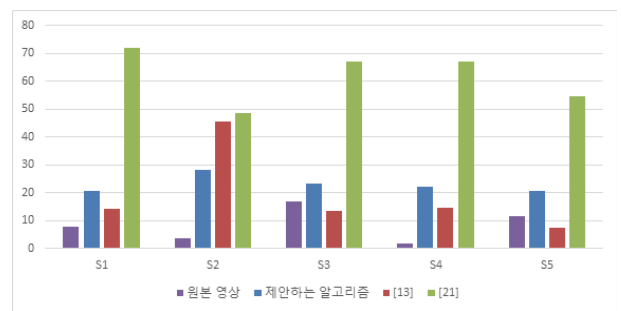


그림 22. 원본 영상과 각 보정 알고리즘의  $ColorDiff_{CVD}$  비교

Fig. 22.  $ColorDiff_{CVD}$  comparison of original image and each correction algorithm.

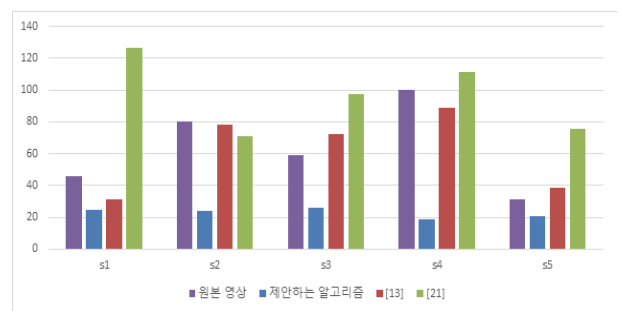


그림 23. 원본 영상과 각 보정 알고리즘의  $Diff_{Color}$  비교

Fig. 23.  $Diff_{Color}$  comparison of original image and each correction algorithm.

본 연구의 결과가 다른 연구들과 비교하여 일반인이 인지하기에 원본과 보정 영상 사이의 색차를 가장 적게 느끼는 것을 확인 할 수 있다.

그림 22의 경우는 혼동을 줄이기 위해서 보정을 실시한 영역간의 색을 비교하여  $ColorDiff_{CVD}$  값을 나타내었다.  $ColorDiff_{CVD}$  값의 경우 색각 이상자 관점의 모사를 진행 한 이후의 비교 결과이므로 원 영상의

모사 결과보다 보정 후의 모사 결과의 색차가 크게 나오는 것이 정상적인 결과이다. 그림 22의 경우 본 연구의 결과가 모두 원본보다 크게 나온 것을 확인 할 수 있다. 이 값이 아주 커지면 색각 이상자들의 경우에는 인지도가 높아지나 대부분 정상인이 인지할 때에는 이 질감이 높은 영상이 얻어진다. 또한 샘플 영상 S3, S5에 대해서는 [13]의 결과값의 경우 원본보다 작아진 것을 확인할 수 있다. 이 경우는 혼동색을 보정한 결과가 또 다른 색과 혼동하게 되어 그 결과 원본과의 비교결과보다 개선되지 않을 수 있음을 보여주는 경우이다.

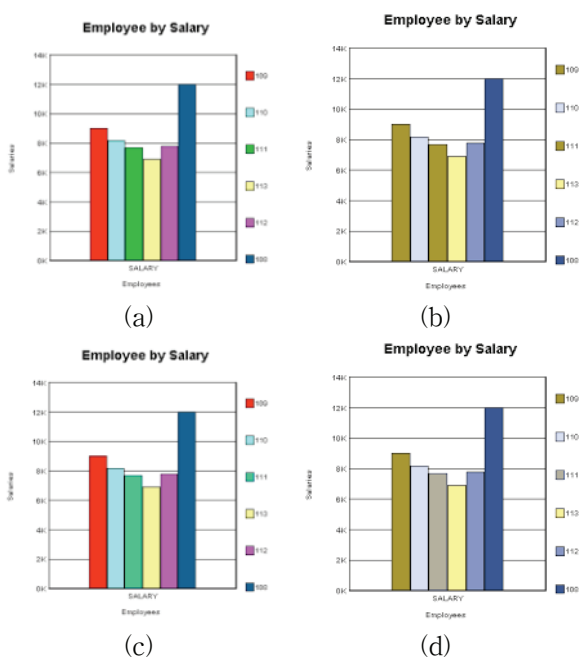


그림 24. S4 영상 보정 예 (a) 일반인 인지 (b) 제2 색각 이상자 인지 (c) 보정영상 일반인인지 (d) 보정 영상 제2 색각 이상자 인지

fig. 24. Example of S4 image correction. (a) Original Image (b) Simulation image as perceived by deutan (c) Corrected image (d) Corrected and Simulated image as perceived by deutan

정상인 시점과 색각 이상자 시점을 모두 고려한 지표인  $Diff_{Color}$  값의 비교 결과를 그림 23에 나타내었다. 그림 22와 마찬가지로 그림 23의 경우는 보정을 실시한 영역간의 색을 비교하여 나타내어진 값이다. 본 연구의 색차 비교값이 다른 연구 결과에 비해서 가장 적은 값을 가짐을 볼 수 있다. 특히 본 연구의 색차 비교 결과가 원본 색차 보다 적은 것을 볼 수 있는데 이 경우는 정상인의 경우에 변환된 색에 대한 이질감이 거의 없을 뿐만 아니라 색각 이상자 시점에서는 가독성이 매우 개

선되었음을 알 수 있다.

가장 좋은 결과를 보여주는 샘플 4 영상에 대해서 색각 이상자 인지 영상, 최적 보정 결과 및 이에 대한 색각 이상자 인지 영상을 그림 24에 나타내었다.

## V. 결 론

본 연구에서는 색각 이상자들을 위한 영상 분석 기반의 최적 색 보정 기술을 제안하였다. 이를 위해서 본 연구에서는 색각 이상자 유형별로 혼동하는 색을 분류하여 혼동선 DB를 구축하였다. 이후 영상 내에 존재하는 색을 영역별로 분류하여 정상인 관점에서 색의 변화를 최소화 시키면서 색각 이상자 관점에서도 색의 인지를 향상시킬 수 있는 보정 지표를 개발하였다. 이후 다양한 실험을 통하여 제안된 기법의 정당성을 보여주었고 기존의 기법과의 비교 실험을 통해서 본 연구의 보정 기법이 최선의 결과를 제시함을 보여주었다.

본 연구 결과의 경우 기존 기법과 달리 정상인과 색각 이상자의 시점을 동시에 고려하기 때문에 TV화면과 같이 정상인과 색각 이상자가 동시에 관찰하는 컬러 영상의 보정에도 활용될 수 있는 장점이 있다.

본 연구결과가 웹 브라우저나 영상 뷰어, 디스플레이 장치 등에 성공적으로 장착될 경우 세계 인구의 8%에 해당하는 색각 이상자들의 편의 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [1] M. P. Simunovic, "Color vision deficiency," Eye 24, 747-755 (2010).
- [2] Iaccarino, Gennaro, et al. "Efficient edge-services for colorblind users." Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web. ACM, 2006.
- [3] Jefferson, Luke, and Richard Harvey. "Accommodating color blind computer users." Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM, 2006.
- [4] Ichikawa, Manabu, et al. "Web-page color modification for barrier-free color vision with genetic algorithm." Genetic and Evolutionary Computation Conference. Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [5] Huang, Jia-Bin, et al. "Information preserving color transformation for protanopia and

- deuteranopia." IEEE Signal Processing Letters 14.10 (2007): 711-714.
- [6] Huang, Jia-Bin, et al. "Image recolorization for the colorblind." Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009. ICASSP 2009. IEEE International Conference on. IEEE, 2009.
- [7] Poret, S., R. D. Dony, and S. Gregori. "Image processing for colour blindness correction." Science and Technology for Humanity (TIC-STH), 2009 IEEE Toronto International Conference. IEEE, 2009.
- [8] Brettel, Hans, Françoise Viénot, and John D. Mollon. "Computerized simulation of color appearance for dichromats." JOSA A 14.10 (1997): 2647-2655.
- [9] Machado, Gustavo M., Manuel M. Oliveira, and Leandro AF Fernandes. "A physiologically-based model for simulation of color vision deficiency." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 15.6 (2009): 1291-1298.
- [10] Meyer, Gary W., and Donald P. Greenberg. "Color-defective vision and computer graphics displays." IEEE Computer Graphics and Applications 8.5 (1988): 28-40.
- [11] Rigden, Christine. "'The Eye of the Beholder'-Designing for Colour-Blind Users." British Telecommunications Engineering 17 (1999): 291-295.
- [12] Cho, Keuyhong, et al. "Construction of Confusion Lines for Color Vision Deficiency and Verification by Ishihara Chart." IEIE Transactions on Smart Processing & Computing 4.4 (2015): 272-280.
- [13] dalton Doliotis, Paul, et al. "Intelligent modification of colors in digitized paintings for enhancing the visual perception of color-blind viewers." IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations. Springer US, 2009.
- [14] Sharma, Gaurav, Wencheng Wu, and Edul N. Dalal. "The CIEDE2000 color difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations." Color Research & Application 30.1 (2005): 21-30.
- [15] Adams, Rolf, and Leanne Bischof. "Seeded region growing." IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence 16.6 (1994): 641-647.
- [16] Hartigan, John A., and Manchek A. Wong. "Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm." Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics) 28.1 (1979): 100-108.
- [17] Suykens, Johan AK, and Joos Vandewalle. "Least squares support vector machine classifiers." Neural processing letters 9.3 (1999): 293-300.
- [18] Wang, Zhou, et al. "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity." IEEE transactions on image processing 13.4 (2004): 600-612.
- [19] Huynh-Thu, Quan, and Mohammed Ghanbari. "Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment." Electronics letters 44.13 (2008): 800-801.
- [20] CIE L\*a\*b\*. [Online].  
<http://www.colorbasics.com/ColorSpace/>
- [21] Dongil Han, Seong Joon Yoo, and Byungwhan Kim. "A Novel Confusion-Line Separation Algorithm Based on Color Segmentation for Color Vision Deficiency." Journal of Imaging Science and Technology 56.3 (2012): 30501-1.
- [22] Wakita, Ken, and Kenta Shimamura. "SmartColor: disambiguation framework for the colorblind." Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM, 2005.
- [23] Dongil Han, "Real-Time Color Gamut Mapping Method For Digital TV Display Quality Enhancement," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 50, no. 2, pp. 691-699, May 2004.

#### — 저 자 소 개 —



이 주 선(학생회원)  
2009년 세종대학교 컴퓨터공학과  
학사 졸업.  
2017년 세종대학교 컴퓨터공학과  
석사 졸업.  
2017년~현재 뉴웁텍스 의료기기  
연구소 연구원

<주관심분야: 영상 처리, 컴퓨터 비전, 패턴 인식,  
신호처리>



한 동 일(정회원)  
1988년 2월 고려대학교 전자전산  
공학과 졸업(학사)  
1990년 2월 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 졸업(석사)  
1995년 2월 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 졸업(박사)

1995년 2월~2003년 2월 LG전자 디지털TV연구  
소 책임연구원.  
2003년 3월~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 정교수  
<주관심 분야: 영상 처리, 컴퓨터 비전, 디지털  
TV, 디스플레이 화질 개선, 시스템 온 칩>