

색각이상자를 위한 지도색채배열 분석*

신휴석** · 조현정*** · 박기호****

Analysis of Map Color Scheme for the Color Vision Impaired*

Hyu-seok Shin** · Hyun-jeong Cho*** · Key-ho Park****

요약 : 이 연구는 색각이상자의 정보 오인식을 방지하기 위해 색채배열의 색차 측정 및 최소 색차 기준설정이라는 객관적이고 계량적인 방법에 기초한 지도색채배열 분석방법 제안을 목적으로 한다. 이를 위해서 기존 연구에서 지적된 불균등한 색공간 사용과 색역의 차이로 인한 문제점을 개선하고자 CIELAB 색표시계와 sRGB 색공간을 활용한 색차 측정방법을 제시하였다. 또한 색채배열을 색각이상자의 지각 방식으로 모사한 후, 정량적 데이터를 전달하는 지도의 특성을 고려하여 색각이상자의 공간정보 오인식을 예방할 수 있을 것으로 판단되는 안전한 색채배열을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 색채배열 분석방법은 선행연구에서 개발한 색각모사 도구와 함께 색각이상자의 특성에 따른 색채배열을 제시할 수 있다는 점에서 방법론으로서 의의를 갖는다.

주요어 : 색각이상자, 색채배열, 색각이상 모사, CIELAB 색표시계, sRGB 색공간

Abstract : The purpose of this paper is to suggest the analysis methodology of map color scheme for the color vision impaired in the objective and quantitative ways. We tried to help solving problems related in using uneven color space and gamut indicated in existing studies. Consequently, we suggested the color-difference measurement method using CIELAB color system for the uniform color space and sRGB color gamut for setting the standard color space. Also, we set minimum color-difference standards for the color vision impaired to prevent misunderstanding color schemes on maps. We analyzed the variation of minimum color-difference before and after the simulation of color vision impairment and recommended safe color schemes for them. The proposed color-difference measurement method with the simulation tool of color vision impairment developed in our previous study can contribute to the recommendation of map color schemes depending on the characteristics of each color vision deficiencies.

Key Words : The color vision impaired, Color scheme, Simulation of color vision impairment, CIELAB color system, sRGB color space

I. 서론

색채는 지리적인 실체에 대한 시각적인 구조와 질서

를 제공하여 지도의 가독성을 높여주고 지도 이해의 명확성을 향상시켜줄 수 있다(Mersey, 1990; 정인철, 2011). 흔히 색맹 또는 색약이라고 알려진 색각이상은 한 개 이

*이 논문은 2009년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF - 2009 - 327 - B00849).

**서울대학교 국토문제연구소 객원연구원(Visiting Researcher, Institute for Korean Regional Studies, Seoul National University, gisci_hyu@gmail.com)

***안양대학교 스마트도시공간연구소 연구교수(Research Professor, Smart Urban Space Institute, Anyang University, hjcho76@lycos.co.kr)

****서울대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Seoul National University, khp@snu.ac.kr)

상의 추상체 손실로 인하여 색상을 인지하는 능력이 저하된 상태를 말하는 것으로 적지 않은 사람들이 색채로 표현된 정보를 해석하는데 있어 어려움을 겪고 있으나 아직까지 색각이상자를 위한 지도 디자인에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 그러나 최근, 컴퓨터 기술 및 색채과학의 발달로 이를 연구할 수 있는 과학적 기반이 마련되었다고 볼 수 있으며, 과거보다 장애에 대한 성숙한 사회적 인식이 형성되어 색각이상자의 정보격차를 개선하기 위한 연구의 필요성이 제기되고 있다(최영은 등, 2011; 김감영, 2012).

색채는 개인에 따라 주관적으로 판단할 수 있기 때문에 객관적인 연구를 위해서는 색을 과학적으로 표현하고 처리할 수 있는 방법에 대한 연구가 선행되어야 한다. 신휴석 등(2010)은 본 연구의 선행연구로 색각이상자가 인지하는 색지각 알고리즘을 이용하여 지도 색채를 모사하는 도구를 범용 소프트웨어를 기반으로 하여 개발하였다. 이 도구는 혼동색선과 CIE xy 색도도를 이용하여 색각이상자가 혼동을 느끼는 색채들을 직접적으로 확인할 수 있고 색채들의 요소값(RGB, CIExyY, HSV)을 제공하므로 색각이상자 관련 지도 연구의 기본 도구로 사용될 수 있다.

그러나 모사 도구를 통해 구체적인 색채 정보는 얻을 수 있으나 그 분별의 정도를 객관적으로 파악할 수 없었다. 즉, 어느 정도의 색 차이가 존재해야 분별이 가능한가에 대한 객관적인 판단 기준을 설정할 수 없었다. 이를 판단하기 위해서는 색의 차이를 측정할 수 있어야 하는데, CIExyY 색공간은 균등한 색공간이 아닌 불균등한 색공간이기 때문에(Slocum *et al.*, 2005), 좌표계상에서 색채들 간의 거리로서 색의 차이를 측정할 수 없다.

그래서 본 연구는 색각이상자를 위한 색채배열 제안에 활용할 수 있는 색채배열 분석방법으로서 기존 연구에서 지적된 불균등한 색공간 사용과 색역의 차이로 인한 문제점들을 개선하고 객관적이고 계량적인 색채배열 분석방법 및 근거를 제안하는 것을 연구의 목적으로 한다. 또한 선행연구에서 구현된 색각이상 모사프로그램을 이용하여 색채배열을 모사한 후, 색각이상자들이 혼란을 느끼는 색채배열을 파악하고 이를 통해 색각이상자가 구별가능한 안전한 색채배열을 제안하고자 한다.

II. 관련 이론 검토

1. 색공간 및 색역 설정

색채를 과학적으로 다루기 위해서는 색채를 계량적인 형태로 나타낼 수 있어야 한다. 색채에 대한 언어적 명명은 주관적일 수 있으므로 지도 제작자와 사용자간의 색채에 대한 정확한 의사소통을 하기 위해서는 필수적으로 색채에 대한 객관성이 보장되어야 한다. 즉, 색채의 재생(reproduction of color)에 있어 필수적으로 필요한 객관적인 체계가 있어야 하는데 이를 규정하는 것이 색표시계(color system)이라 할 수 있다.

색표시계는 색채과학 분야에서는 일반적으로 사용되는 용어이며 색채를 과학적으로 접근해야 할 경우에 반드시 이용되어야 하는 체계이다. 색표시계는 일반적으로 단일한 하나의 체계가 있는 것이 아니라 매우 다양하며 색채과학이 발전함에 따라 인간이 느끼는 색지각을 좀 더 정확하고 명확하게 표현할 수 있도록 발전해 왔다.

일반적으로 디지털 컬러에서 주로 이용되고 있는 RGB 색표시계는 적색(Red), 녹색(Green), 청색(Blue)의 세 가지 색의 조합(가산혼합)으로 지각 가능한 대부분의 색을 표시할 수 있다는 사실에 기반하고 있다(그림 1). RGB 색표시계는 색채의 강도를 전자기에 적합한 직관적인 수치로 표현할 수 있는 장점을 갖기 때문에 현재 사용되고 있는 대부분의 디스플레이 장치에 이용되고 있다.

그러나 이 색표시계는 색채의 일반적인 개념인 명도, 채도, 색상 등의 개념이 내재되어 있지 않고 색표시계에 의해서 만들어지는 색공간이 불균등하다는 점(Slocum

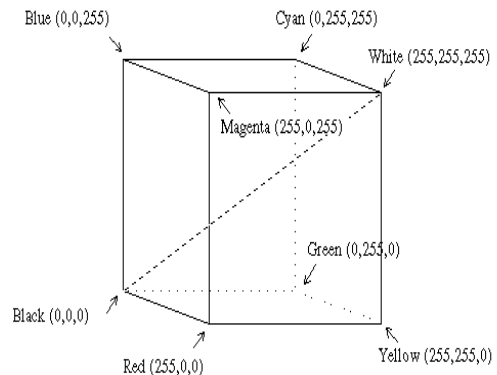


그림 1. RGB 색표시계

출처 : http://icllastro.gsfc.nasa.gov/icll_html_help/Color_Systems.html

et al., 2005:192)과 장치에 독립적인 색표시계가 아니라 는 점도 단점으로 지적될 수 있다. 즉, 같은 RGB 값이라 하더라도 그것이 표현되는 장치의 특성에 따라 색채가 달라진다는 점 때문에 색을 정확히 규정할 수 없게 된다.

이와는 달리 CIE_xy(CIE_xyY) 색표시계는 1931년 국제 조명위원회(CIE)가 채택한 색표시계로서 장치 독립적인 색공간을 만들어 낼 수 있다. 즉, 이 색표시계에서는 특정 색채가 고유한 값을 갖기 때문에 색채의 재현에 있어 객관성을 보장할 수 있다. 또한 인간의 시지각 시스템에 기반한 컬러 매칭(color matching) 실험을 통해 체계화 되었다. 즉, 빛의 물리적 특성에 의해 만들어진 것이 아니라 실제 실험을 통해서 인간의 시야에서 인지되는 현상에 기초하여 만들어져 유용성이 매우 높기 때문에 후속의 색표시계를 제정함에 있어서 그 기반이 되었다.²⁾

이 표시계에서의 x,y 좌표는 2차원 공간을 형성하며 그 위치는 색상과 채도의 변화에 따라 변하게 되는데 중심(white point)에서 멀어질수록 채도는 높아지게 된다. Y의 값은 색채의 밝기를 의미한다. 이 표시계가 형성하는 색공간을 xy 평면으로 투영하여 표현한 것이 xy 색도도(chromaticity diagram)(그림 2)이며, 이는 현재까지도 색채 연구에서 많이 이용되고 있다.

2. 균등한 색공간 설정을 위한 CIELAB 색표시계

그러나 CIE_xyY 색표시계의 가장 큰 단점은 두 색들 간의 지각적 차이가 색공간 하에서 균일하지 않다는 문

제점을 가지고 있다는 것이다(Slocum et al., 2005; 조맹섭, 2006:115). 따라서 색의 차이를 측정할 수 없는 큰 단점이 있다. 색공간상에서의 동일한 거리 차이가 인간의 시지각의 차이와 동일하지 않다는 의미이다. 색의 차이를 규정하기 위해서는 공간이 균등하다는 가정이 필요하나 CIE_xyY 색표시계가 형성하는 공간은 불균등하기 때문에 일반적으로 공간상에서의 직선거리로 규정되는 색의 차이를 계산해 낼 수 없다.

이러한 문제점을 해결하고자 국제조명위원회(CIE)는 새로운 균등한 색공간을 만들 수 있는 CIELAB(CIE 1976 L*a*b*)(그림 3)과 CIELUV(CIE 1976 L*u*v*)(그림 4) 색표시계를 1975년에 제정하게 된다. 이 두 색표시계 모두

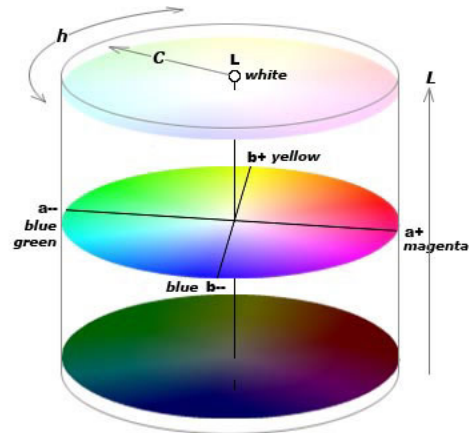


그림 3. CIELAB 색표시계

출처 : <http://pengantar-warna.blogspot.com>

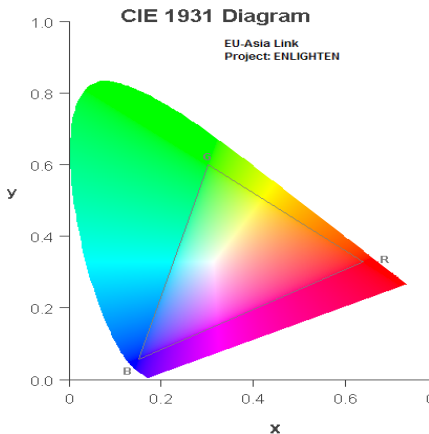


그림 2. CIE xy 색도도

출처 : <http://www.pfk.ff.vu.lt/cie>

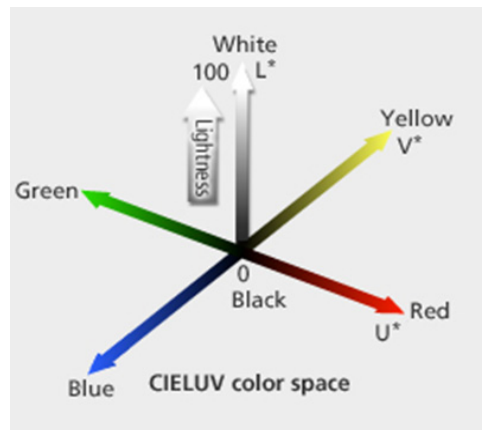


그림 4. CIELUV 색표시계

출처 : <http://pengantar-warna.blogspot.com>

CIE_xyY 색표시계의 문제점을 개선시킨 것으로 CIELAB 표시계에서의 L*은 명도(0~100)를 나타내며 a*은 적색(a+)과 녹색(a-)의 대응관계를 나타내며, b*은 황색(b+)와 청색(b-)의 대응관계를 나타낸다. 이 표시계는 위의 CIE_xyY 표시계와 마찬가지로 장치 독립적인 색채계이며 균등한 색공간을 나타내고 있기 때문에 색차측정이 가능하게 된다.

일반적으로 CIELUV 색공간도 균등한 공간을 갖고 있지만 CIELAB 공간이 보다 정확한 공간이라고 인정되고 있어 학계 및 산업계에서는 CIELAB 색표시계가 널리 활용되고 있다(조맹섭, 2006:129).

3. 표준 RGB 색공간 설정

우리가 일반적으로 사용하고 있는 색표시계는 위에서 언급했던 RGB 색표시계이다. 색채를 확인하는 과정에서 우리가 흔히 접하는 대부분의 모니터 색채는 RGB 색표시계 의해 표현이 되므로 CIELAB 좌표를 통한 색채 연구를 수행하였다 하더라도 정확한 색채를 인지할 수 없게 된다면 무의미하다. 따라서 RGB 표시계도 하나의 표준 공간을 마련하게 된다면 CIELAB 좌표로의 상호변환을 통해 사용자는 색채를 정확히 인지할 수 있게 된다. 이는 산업적 측면에서도 중요한 사항이며, 예를 들어 소프트웨어에서 표현하는 색채와 이를 표현하는 모니터 사이에서의 색채가 다르다면 이 또한 문제가 되기 때문이다. 따라서 일일이 모든 모니터 또는 모든 소프트웨어에서 이를 조정해주어야 한다.

이 같은 문제점을 극복하기 위해 미국 최대의 소프트웨어 회사인 마이크로소프트(MS)사와 하드웨어 업체인 휴렛팩커드(HP)가 협력하여 하나의 표준 RGB 색공간인 sRGB 색표시계를 만들었으며 이 sRGB 색표시계는 이후 대부분의 모니터와 프린터의 표준 색공간으로 자리잡게 되어 대부분의 소프트웨어나 하드웨어 회사에서 이 색공간을 지원하고 있다(Stokes *et al.*, 1996).

sRGB 색공간이 제정됨으로써 sRGB 색공간과 CIELAB 색공간 사이의 변환식이 만들어지게 되었으며 사용자의 모니터가 sRGB 색공간을 사용하게 된다면 두 색공간의 변환식에 의해 사용자는 색채 재현의 객관성을 보장받을 수 있게 된다. 이러한 절차에서 반드시 수행되어야 할 사항은 사용자의 모니터가 정확히 sRGB 색공간의 색을 재현할 수 있는지를 검토하는 작업이 필요하며, 이를

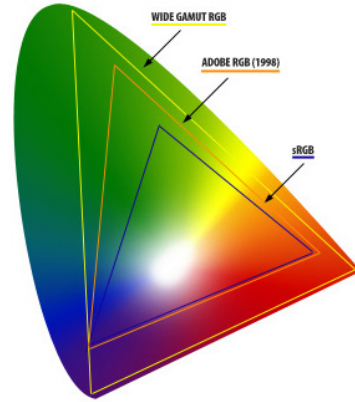


그림 5. 다양한 RGB 공간의 색역

출처 : <http://a.img-dpreview.com>

조정 또는 보정하는 것을 캘리브레이션(calibration)이라고 한다. 이 모니터 캘리브레이션 작업이 이루어지게 되면 비로소 사용자는 색재현이 정확히 이루어진 색채를 확인할 수 있게 된다.

sRGB 색공간은 웹의 발달로 인하여 더욱 중요한 색공간이 되었는데 웹상의 문서 및 이미지를 보여줄 수 있는 인터넷 브라우저들이 대부분 이 sRGB 색공간을 지원한다. 따라서 현실적으로 우리가 지도를 접하는 대부분의 매체가 인터넷 지도라는 점을 감안하여 본 연구의 RGB 색공간은 sRGB 색공간으로 채택하였다. 그러나 sRGB 색공간이 표현할 수 있는 색역은 다른 RGB 공간들의 색재현 범위보다 작다(그림 5). 따라서 다른 RGB 공간에서 작업이 된 색채들을 sRGB 공간으로 표현할 경우에 색의 손실이 일어나게 된다는 점을 유의해야 한다.

III. 색채배열의 색차 분석

1. CIELAB 색표시계를 이용한 색차 측정방법

일반적으로 디지털 기기에서 사용하는 RGB 색표시계를 균등한 색공간의 표시계로 전환하기 위해서 CIELAB 색표시계로 전환해야 한다. CIELAB 색표시계로 전환하기 위해서는 RGB값을 CIEXYZ값으로 변환하는 선행절차가 필요하다. 이후 CIEXYZ값을 CIELAB 좌표계 값으로 변환하게 된다. 일반적으로 RGB 값과 CIEXYZ 값의 변환과정은 식 (1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = (Tm) \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 (Tm) 은 3×3 변환행렬

식 (1)의 변환행렬 (Tm) 은 다양한 RGB 표시계에 따라 그 값이 달라진다. RGB 표시계는 앞서 논의된 바와 같이 장치 종속적인 색표시계이기 때문에 다양한 RGB 표시계가 존재한다. 본 연구에서는 sRGB 색표시계를 설정 하였으며 구체적인 변환식은 식(2)과 같다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9503 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에 의해 변환된 CIEXYZ 값은 식 (3, 4, 5, 6)에 의해 최종적으로 CIELAB 값으로 변환되게 된다. 먼저 L^* 값은 식 (3)에 의해 구해진다.

$$L^* = 116 \left[\frac{Y}{Y_0} \right]^{\frac{1}{3}} - 16, \text{ if } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \quad (3)$$

$$L^* = 903.3 \frac{Y}{Y_0}, \text{ if } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856$$

여기서, $\frac{X}{X_0}, \frac{Y}{Y_0}, \frac{Z}{Z_0}$ 각각을 x, D_y, D_z 라 한다면,

$$\begin{aligned} \text{if } D_{x,y,z} > 0.008856 \text{ then } f(D_{x,y,z}) \\ = [D_{x,y,z}]^{\frac{1}{3}} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{if } D_{x,y,z} \leq 0.008856 \text{ then } f(D_{x,y,z}) \\ = 7.787 [D_{x,y,z}]^{\frac{1}{3}} + \frac{16}{116} \end{aligned}$$

여기서, $X_0 = 95.04, Y_0 = 100, Z_0 = 108.89$ 이다.

위 식 (4)에 의해 a^* 와 b^* 의 값이 각각 식 (5, 6)에 의해 구해진다.

$$a^* = 500 [f(D_x) - f(D_y)] \quad (5)$$

$$b^* = 200 [f(D_y) - f(D_z)] \quad (6)$$

여기에서, $X_0 = 95.04, Y_0 = 100, Z_0 = 108.89$ 이다.

위의 식에 의해 구한 각 L^*, a^*, b^* 값을 3차원 좌표로 표현하고 임의의 두 점사이의 유클리디안 거리를 구하게 되면 그 거리가 색의 차이 즉, 색차를 의미하게 된다. 구체적으로 색채 i, j 간의 색차를 ΔE_{ij}^* 라 한다면, 식 (7)에 의해 색차가 구해진다.

$$\Delta E_{ij}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (7)$$

$$\text{여기서, } \Delta L^* = L_i^* - L_j^*, \Delta a^* = a_i^* - a_j^*, \Delta b^* = b_i^* - b_j^*,$$

위와 같이 구해진 색차는 각각 밝기, 채도, 색상의 차이로 구분될 수 있다. 밝기의 차이는 식 (8)에 의해 정의되고, 채도는 식 (9), 색상은 식 (10)에 의해 정의된다.

$$\Delta L^* = L_i^* - L_j^* \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta C_{ij}^* &= C_{abi}^* - C_{abj}^* \\ &= (a_i^{*2} + b_i^{*2})^{1/2} - (a_j^{*2} + b_j^{*2})^{1/2} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Delta H_{ij}^* = [(\Delta E_{ij}^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C_{ij}^*)^2]^{1/2} \quad (10)$$

식 (8), (9), (10)에 의하여 색차 ΔE_{ij}^* 는 식 (11)과 같이 표현될 수도 있다.

$$\Delta E_{ij}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ij}^*)^2 + (\Delta H_{ij}^*)^2]^{1/2} \quad (11)$$

2. 색채배열의 색차 분석결과

CIELAB 색표시계를 이용하여 색차를 측정하게 되면 색채배열에 사용되는 색채의 특성에 대해 보다 구체적으로 접근할 수 있게 된다. 색채배열에서 각 색채간의 색차를 정량적으로 파악할 수 있기 때문에 구분가능성에 대한 주관적인 접근을 피할 수 있게 된다.

일반적인 사진이나 그림과 같은 이미지와 달리 지도는 색의 차이가 데이터의 양적 차이도 나타낼 수 있기 때문에 색채배열에 있어서 각 색채간의 차이 즉, 급간의 차이에 대한 정량적 접근은 매우 중요하다. 데이터의 특성에 따라서 주로 명도나 채도의 차이로 색채를 구별하거나(주로 양적 데이터), 색상의 차이를 통해 색채를 구별하므로(주로 질적 데이터) 단순한 색상의 차이뿐만 아니라 색채의 3요소 각각에 대한 차이가 명확히 구분되어

저야 한다.

지도상에서 사용되고 있는 색채배열에 대한 전반적인 특성을 파악하기 위해서는 기존 색채배열에 대한 사전 분석이 필요하다. 그러나 지도의 색채배열에 대한 명확한 기준이 없기 때문에 일반적으로 사용되고 있는 모든 색채배열을 분석할 수는 없다. 현재 단계구분도의 색채배열에 있어서 주로 사용되고 있는 색채배열은 Cynthia A. Brewer(www.colorbrewer.org)가 제시한 색채배열(이하 Colorbrewer)로 그 값이 정량화되어 제공되므로 각 색채에 대한 분석에 용이하다.

본 절에서는 이와 같은 사항을 고려하여 대표적인 색채배열 사례 중의 하나인 Colorbrewer의 색채배열을 분석한 후, 이를 바탕으로 색각이상자가 사용하기에 적합한 색채배열을 파악하고자 한다.

Colorbrewer는 정성배열(qualitative color scheme), 발산배열(diverging color scheme), 순서배열(sequential color scheme)의 3가지 유형의 색채배열로 구성되어 있으며, 각각 8개, 9개, 18개로 총 35개의 색채배열을 제시하고 있다. 각 색채배열에 따른 급간의 개수는 색채배열의 유형에 따라 다르나, 최소 3개에서 최대 12개에 달한다. 정성배열의 경우 급간의 개수가 8개인 것은 4개, 9개인 것은 2개, 그 외 나머지는 12개의 급간을 가지고 있다. 발산배열은 급간의 개수가 모두 11개이며, 순서배열은 모두 9개의 급간을 가지고 있다. 개개의 색채배열은 모두 265개에 이른다. 유형별 색채배열의 색차분석 결과는 표 1과 같다.

정성배열의 경우 그 특성에 맞게 색상의 차이가 명도나 채도에 비하여 상대적으로 크게 나타났다. 또한 계급수가 증가할수록 색상 차이는 크지 않고 주로 명도와 채도를 통해 계급 차이가 구분되도록 작성되어 있음을 알 수 있다. 또한 일반적으로 한 가지 혹은 두 가지의 색상으로 구성되는 순서배열의 경우에도 색상의 차이보다 명도와 채도의 차이로 색채배열이 구성되어 있어 색채분석 결과가 정성배열과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

발산배열의 경우에는 정성배열과 순서배열의 중간적인 성격을 갖고 있음을 알 수 있는데, 색상의 차이는 정성배열보다 작고 순서배열보다는 크며, 명도의 차이는 정성배열보다 크나 순서배열보다는 작음을 알 수 있다. 채도의 차이는 발산배열이 순서배열보다 다소 크나 그 차이가 크지 않다.

표 1. 색채배열의 색차 분석결과

종류	계급수	색차			명도	채도	색상	
		평균	최대값	최소값				
정성	3	63.77	121.67	25.25	8.90	19.09	58.29	
	4	61.82	121.67	15.81	9.35	18.87	55.76	
	5	63.78	133.2	15.81	11.20	17.59	57.93	
	6	67.02	146.37	15.74	13.82	20.25	59.65	
	7	62.97	146.37	15.67	13.14	19.97	54.87	
	8	60.63	146.37	9.47	13.00	23.21	47.55	
	9	59.01	146.37	9.47	13.31	24.80	44.51	
	10	65.05	132.03	18.06	16.26	26.23	50.88	
	11	63.53	132.03	18.06	17.45	24.72	49.80	
	12	63.37	132.03	18.06	17.59	24.64	49.42	
	발산	3	58.19	87.98	29.16	20.35	30.39	29.93
		4	75.68	143.47	29.59	23.85	27.86	55.63
5		69.85	143.47	24.14	28.55	32.21	39.26	
6		62.59	125.89	16.67	26.30	24.15	40.69	
7		58.87	125.89	10.82	27.24	25.96	32.52	
8		59.10	128.81	13.66	23.44	22.92	39.55	
9		57.04	128.81	10.82	24.78	24.70	33.46	
10		63.65	128.81	13.66	29.87	20.97	41.15	
11		62.58	128.81	10.82	31.33	22.90	36.23	
순서		3	45.34	83.49	17.56	27.15	26.78	17.11
		4	44.37	97.66	13.64	27.70	25.31	16.20
	5	46.42	113.12	13.64	30.80	24.08	17.19	
	6	42.82	113.12	9.29	28.04	22.27	16.23	
	7	42.90	113.55	9.29	28.56	21.61	16.24	
	8	44.01	119.3	5.11	29.02	23.67	15.02	
	9	46.86	119.38	5.11	32.67	23.03	15.58	

3. 인접한 색채간 색차 분석결과

표 1은 색채배열의 모든 색채값을 각각 비교한 분석결과이다. 그러나 발산배열과 순서배열의 경우, 정성적 데이터가 아닌 정량적인 데이터를 표현하는데 사용되므로 색채의 구분만으로 색채배열을 인식하는 것이 아니라 각 색채의 순서가 인지되어야 한다. 즉, 각 색채값을 전체적으로 비교하는 방법보다 인접한 값에 대한 색차 분석이 이루어져야 한다.

표 2. 색채배열에서 인접한 색채의 색차 분석결과

종류	계급수	색차			명도	채도	색상	
		평균	최대값	최소값				
정성	3	66.83	116.61	32.89	9.94	22.40	59.85	
	4	61.84	121.33	18.95	10.03	21.45	54.25	
	5	68.55	133.20	18.95	11.50	20.73	61.52	
	6	65.48	133.20	16.43	11.71	20.54	57.86	
	7	62.86	133.20	16.43	12.57	21.47	53.30	
	8	60.50	133.20	15.27	12.18	22.68	48.70	
	9	60.21	121.33	16.47	14.98	24.19	46.87	
	10	60.40	96.01	21.08	18.10	30.67	40.15	
	11	63.98	123.41	21.08	20.84	28.85	44.46	
	12	63.46	123.41	21.08	21.37	28.20	43.72	
	발산	3	50.04	68.39	29.16	27.19	33.26	12.29
		4	51.96	74.72	29.59	23.00	23.48	29.40
5		43.51	69.77	24.14	25.79	25.85	13.75	
6		33.91	70.62	16.67	19.41	15.65	14.72	
7		29.77	70.62	10.82	18.13	16.07	9.83	
8		24.61	52.37	13.66	13.86	11.88	10.81	
9		22.67	52.37	10.82	13.60	12.66	7.63	
10		24.66	52.37	13.66	14.66	12.17	10.12	
11		23.10	52.37	10.82	14.37	12.77	7.65	
순서		3	35.03	54.26	17.56	20.36	20.31	14.39
		4	28.08	54.06	13.64	16.78	14.93	11.66
	5	25.33	45.16	13.64	15.46	13.57	10.20	
	6	20.39	45.16	9.29	12.37	10.94	8.34	
	7	18.33	30.46	9.29	11.01	9.95	7.32	
	8	16.56	30.46	5.11	9.74	9.29	6.29	
	9	16.30	30.18	5.11	9.65	9.28	5.87	

표 2는 인접한 색채들간의 색차를 분석한 결과로 정성배열의 경우 그다지 차이가 없으나, 발산배열과 순서배열은 큰 차이를 보인다(그림 6). 발산배열과 순서배열 모두 계급의 수가 증가할수록 색차의 평균값이 줄어드는 경향을 보이며 주로 명도와 채도의 변화에 의해 그 경향이 설명되고 있음을 알 수 있다.

색차 감소의 주된 요인을 살펴보기 위해서는 계급수에 따른 색상, 명도, 채도 각 요소에 대한 색차의 상대적인 비율을 살펴보는 것이 중요하다. 순서배열의 경우 계급수의 증가에 관계없이 일정하며, 발산배열의 경우에

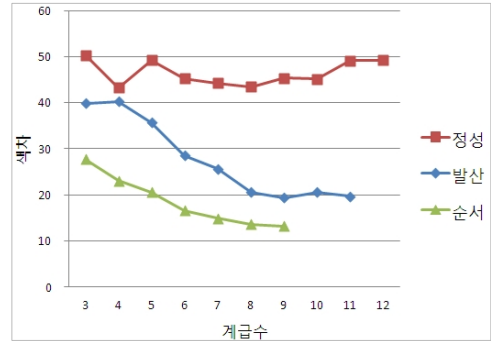


그림 6. 색채배열에서 인접 색채의 색차 변화

도 어느 정도의 차이는 있으나 그 경향은 일정하다. 즉, 순서배열과 발산배열의 경우 각 계급별로 색채의 3요소 가 적절한 비율을 유지하면서 색차를 보이고 있음을 알 수 있다.

IV. 색각이상자를 위한 안전한 색채배열

1. 색각이상자가 인지한 색채배열의 색차 특성

이러한 특성을 갖는 색채배열을 색각이상자가 인지할 때 어떠한 변화를 보이는지를 분석해보고자 한다. 이를 위해서 선행연구(신후석 등, 2010)에서 개발한 색각모사 도구³⁾를 활용하여 colorbrewer의 주요 색채배열을 제1색맹자가 인지한 방식으로 색채를 모사하였다.

표 3은 제1색맹자의 시각으로 모사한 색채배열에 대한 색차 분석결과로 전반적으로 모사이전의 분석결과에 비해 색차가 감소했음을 알 수 있다. 특히, 정성배열의 경우 원래의 색채배열에서 색차 평균이 63.1이었으나, 모사 후에는 48.8로 약 14.4가 감소되었다. 두드러진 특징으로는 색상의 차이가 모사후 약 33.2만큼 감소하였다는 사실이다. 이에 비해 채도나 명도의 차이는 크지 않았다. 정성배열의 경우 주로 색상의 변화를 통해 색채를 구성하기 때문에 색각이상자에게 더 큰 혼란을 줄 수 있음을 시사한다.

발산배열과 순서배열의 경우에도 전체적으로 색차가 감소했음을 알 수 있는데, 이들의 경우에는 인접한 색채 간 색차분석이 더욱더 의미가 있으므로 모사결과에 대해서도 인접한 색채에 대한 색차 분석을 추가하였다(표 4). 발산배열과 순서배열 모두 계급이 증가하면서 전체적으

표 3. 제1색맹자의 시각을 모사한 색채배열의 색차 분석결과

종류	계급수	색차			명도	채도	색상	
		평균	최대값	최소값				
정성	3	42.80	89.91	5.43	10.14	14.61	32.00	
	4	40.39	93.26	0.9	10.67	13.44	30.48	
	5	43.93	105.16	0.9	12.33	16.47	31.69	
	6	47.11	138.01	0.9	15.28	20.31	30.82	
	7	44.52	138.01	0.9	14.45	19.29	27.95	
	8	43.22	138.01	0.9	13.89	21.47	24.91	
	9	42.28	138.01	2.55	14.27	21.18	24.04	
	10	47.67	116.01	6.13	17.45	21.79	28.24	
	11	47.07	117.24	6.13	18.56	20.70	27.45	
	12	47.79	117.24	5.39	18.72	21.72	27.03	
	발산	3	42.78	85.43	17.28	21.18	22.16	16.45
		4	52.92	109.66	8.37	26.36	17.58	28.86
5		51.50	109.66	8.37	30.62	19.59	20.92	
6		47.22	117.54	3.87	27.85	17.82	20.57	
7		45.48	117.54	3.87	28.59	18.14	16.85	
8		43.82	116.67	3.87	24.83	17.25	19.28	
9		43.21	116.67	3.87	26.05	17.79	16.61	
10		48.96	116.67	3.87	30.94	17.29	19.91	
11		48.98	116.67	3.87	32.38	17.74	17.81	
순서		3	35.78	83.93	11.36	28.55	15.56	4.87
		4	36.05	92.78	9.97	28.96	16.18	4.94
	5	38.78	109.48	9.97	31.90	16.20	5.42	
	6	35.53	109.48	6.02	29.08	15.08	4.65	
	7	35.95	110.36	6.02	29.57	15.12	4.60	
	8	36.86	114.82	4.01	30.04	15.95	4.52	
	9	40.10	114.34	4.01	33.47	16.11	4.94	

로 색차의 감소가 나타났으나, 전체적으로 색채배열의 계급수가 많은 경우에 약간의 변동이 나타나는 것을 볼 수 있다(그림 7). 원래의 색채배열은 점진적인 색차의 감소로 자연스럽게 색채가 배열되어 있는 모습을 볼 수 있는 반면, 색각이상자의 시각으로 보는 색채배열은 다소 부자연스러운 배열이 된다는 사실을 알 수 있다.

이러한 색차 분석에서 가장 중요한 점은 최소 색차의 크기이다. 최소 색차, 즉 색을 쉽게 구분할 수 있는 최소한의 색차가 어느 정도 이하까지 감소하게 된다면, 색채배열을 통해 제공하는 정보를 파악하기 힘들다. 따라서

표 4. 제1색맹자의 시각을 모사한 인접한 색채의 색차 분석결과

종류	계급수	색차			명도	채도	색상	
		평균	최대값	최소값				
정성	3	50.28	89.91	14.40	10.87	15.49	38.66	
	4	43.20	89.91	0.90	11.02	13.22	32.36	
	5	49.24	105.16	0.90	12.60	15.81	38.03	
	6	45.28	105.16	0.90	12.53	16.35	32.42	
	7	44.26	105.16	0.90	13.51	18.00	28.40	
	8	43.44	105.16	0.90	12.87	19.41	26.80	
	9	45.31	104.22	7.97	15.99	17.23	29.46	
	10	45.12	86.28	7.97	19.32	21.89	22.09	
	11	49.15	117.24	7.97	22.11	20.23	26.93	
	12	49.22	117.24	7.97	22.58	21.03	24.80	
	발산	3	39.92	62.72	17.77	27.74	22.11	6.86
		4	40.25	69.53	8.37	25.03	16.33	12.16
5		35.73	68.83	15.18	27.07	16.91	5.20	
6		28.53	68.99	3.87	20.40	12.70	4.64	
7		25.67	68.99	5.89	18.84	12.64	3.11	
8		20.53	47.64	3.87	14.57	10.14	2.92	
9		19.38	47.64	5.89	14.13	10.42	1.99	
10		20.59	47.64	3.87	15.04	10.39	2.61	
11		19.66	47.64	5.89	14.64	10.59	1.90	
순서		3	27.75	49.00	11.36	21.41	13.70	2.81
		4	23.07	43.76	9.97	17.53	12.26	2.05
	5	20.62	33.02	9.97	15.90	10.44	1.99	
	6	16.54	32.55	6.02	12.72	8.69	1.27	
	7	14.88	23.67	6.02	11.26	8.11	1.17	
	8	13.62	23.67	4.01	9.97	7.74	1.02	
	9	13.26	23.36	4.01	9.74	7.44	1.03	

색각이상자의 시각으로 색채를 모사한 이후에 최소 색차의 변화를 살펴보는 일은 매우 중요하다.

표 5는 색채배열의 모사 전후에 나타난 최소 색차의 변화를 나타낸 것으로 정성배열의 경우 최소 색차가 0.9에 이를 정도로 매우 급격한 변화가 있다는 사실을 확인할 수 있다. 즉 색각이상자가 거의 구분하지 못하는 색채가 존재한다는 의미이며, 이는 모사 결과를 통한 시각적 확인도 가능하다. 원래의 색채배열에서도 최소 색차가 5.11인 경우가 있어 구별하기 힘든 색채의 조합이 존재한다는 사실을 알 수 있으며, 색채 모사를 한 경우에도

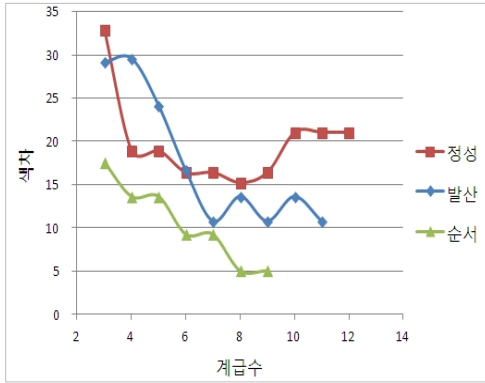


그림 7. 색채배열의 모사 이후의 색차 변화

표 5. 색채배열의 모사 전후에 따른 최소 색차의 변화

색채배열 계급수	정성		발산		순서	
	원본	모사	원본	모사	원본	모사
3	32.89	14.40	29.16	17.77	17.56	11.36
4	18.95	0.90	29.59	8.37	13.64	9.97
5	18.95	0.90	24.14	15.18	13.64	9.97
6	16.43	0.90	16.67	3.87	9.29	6.02
7	16.43	0.90	10.82	5.89	9.29	6.02
8	15.27	0.90	13.66	3.87	5.11	4.01
9	16.47	7.97	10.82	5.89	5.11	4.01
10	21.08	7.97	13.66	3.87		
11	21.08	7.97	10.82	5.89		
12	21.08	7.97				

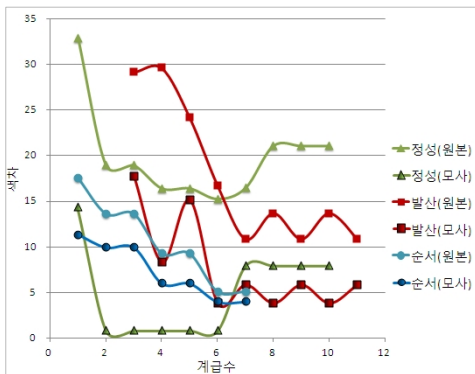


그림 8. 모사 전후의 색채배열에서 최소 색차의 변화

발산배열은 3.87의 색차를 갖는 색채배열이 존재하고, 순서배열은 4.01의 색차를 갖는 매우 구별하기 힘든 색

채배열이 존재한다.

모사 전후의 색채배열에서 각 급간별 최소색차의 변화를 살펴보면, 정성배열의 경우 급격히 감소하고 있으며, 발산배열 또한 상당히 감소되었다는 사실을 알 수 있다(그림 8). 이는 색채배열을 디자인할 때 색채배열의 유형 및 계급수 결정에 있어서 고려해야하는 사항을 제공해준다고 볼 수 있다.

2. 색각이상자를 위한 안전한 색채배열 제안

최소 색차 변화의 분석결과를 바탕으로 색각이상자를 위한 색채배열을 제안하고자 한다. 색각이상자가 색채를 정확하게 인지할 수 없어 발생하는 정보의 오인식은 시각적 표현을 통해 공간정보를 이해하는 능력인 도해력(graphicacy)의 저하를 가져온다. 색각이상자의 이러한 혼란을 방지하기 위해 제안된 색채배열을 본 연구에서는 안전한 색채배열로 보았으며, 이때 가장 중요한 요소는 최소 색차의 기준이다. 충분한 최소 색차가 확보되어야 색채배열이 의미있게 해석될 수 있기 때문이다.

여기서 고려해야할 사항은 색채를 구별하기 위한 최소 색차가 어느 정도 확보되어야 하는가라는 문제이다. colorbrewer가 제작한 색채배열의 분석에서 최소 색차 값이 5.11이라고 본다면, 그 이하의 값은 지양되어야 할 것이다. 그러나 계급 간 색차의 평균값이 15.17임을 감안해 본다면, 그 기준은 어느 정도 상향되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 최소 색차값의 기준을 평균 색차의 중간값에 맞추어 8이상으로 설정하였다. 이 기준은 후속 연구를 통해 좀 더 명확하게 제시되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서 사용한 colorbrewer 뿐만 아니라 현재 통용되고 있는 여러 색채배열을 대상으로 한 실험을 통해 사용자 특성에 따른 기준이 정해져야 할 것이다.

본 연구에서는 colorbrewer가 제시한 색채배열 중 주로 사용되고 있는 8개 이하의 급간을 가지는 색채배열에 대하여 최소 색차 기준이 8 이상이 되는 색채배열을 선정하여 색각이상자에게 안전한 색채배열로 제안하였다(표 6). 각 색채배열에 대한 구체적인 색채정보는 Colorbrewer (<http://www.colorbrewer.org>)에서 확인할 수 있다.

정성배열의 경우 그 색의 차이를 통해 색채배열의 기능을 하게 되지만, 발산배열과 순서배열의 경우에는 색의 차이뿐만 아니라 색을 인지하는 순서도 중요한 역할을 하게 된다. 그러나 각 색채배열에 있어 색채의 차이를 구별할 수 있으나 색상의 차이를 인식하지 못해 전체

표 6. 제1색맹자에게 안전한 색채배열 제안

정성		발산		순서	
이름	계급수	이름	계급수	이름	계급수
Dark2	3, 4, 5, 6	BrBG	3, 4, 5, 6, 8	Blues	3, 4, 5
Paired	3, 4, 5, 6, 7, 8	PiYG	3, 4, 5, 6, 7, 8	BuGn	3, 4, 5
Pastel 1	3	PRGn	3, 4, 5, 6, 7, 8	BuPu	3, 4, 5, 6, 7
Pastel 2	3	PuOr	3, 4, 5, 6, 7, 8	GnBu	3, 4, 5
Set 1	3, 4, 5, 6	RdBu	3, 4, 5, 6, 7, 8	Greens	3, 4, 5, 6, 7
Set 2	3	RdGy	3, 4, 5, 6, 7, 8	Greys	3, 4, 5, 6, 7
Set 3	3, 4, 5, 6, 7, 8	RdYlBu	3, 4, 5, 6, 7, 8	Oranges	3, 4, 5, 6, 7, 8
		RdYlGn*	3, 4, 5	OrRd	3, 4, 5, 6, 7, 8
		Spectral	3, 4, 5	PuBu	3, 4, 5, 6, 7
				PuBuGn	3, 4, 5, 6, 7, 8
				PuRd	3, 4, 5, 6, 7
				Purples	3, 4, 5, 6, 7
				RdPu	3, 4, 5, 6, 7
				Recks	3, 4, 5, 6, 7, 8
				YlGn	3, 4, 5, 6, 7
				YlGnBu	3, 4, 5, 6, 7, 8
				YlOrBr	3, 4, 5, 6, 7, 8
				YlOrRd	3, 4, 5, 6, 7, 8

*각 색채배열의 종류와 계급수에 따른 구체적인 색채정보는 Colorbrewer (<http://www.colorbrewer.org>)에서 확인할 수 있음

**RdYlGn은 색차의 최소 기준에는 맞으나 색채를 인지하는 순서가 바뀔 수 있음

적인 색채배열의 인지 순서가 바뀔 수 있는 색채배열이 있다. 특히, 발산배열의 경우에는 주로 두 가지 색상을 통해 데이터의 가장 높은 값과 낮은 값을 나타내므로 만약 두 색상을 구분할 수 없게 되면 인지 순서에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 인접 계급값의 색차 분석을 통해 발산배열과 순서배열의 색채 인지 순서도 고려하였다. 표 6에 제시된 3, 4, 5 계급의 RdYlGn 색채배열은 색차의 최소 기준에는 맞으나 색채를 인지하는 순서가 바뀔 수도 있는 색채배열이므로 사용에 있어 주의하여야 한다.

본 연구에서 제안한 색채배열 분석방법은 색각이상자가 단순히 색채를 구별하는 정도에 머무르지 않고 공간 정보를 전달하는 지도라는 특성을 고려하여 정량적 데이터의 올바른 인식에 필요한 각 색채의 인지 순서도 고려하여 색채배열을 제안하였다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다.

V. 결론

이 연구는 색각이상자가 인지할 수 있는 색채배열을 제안하기 위하여 지도에 사용된 색채배열에서 급간간 색채 차이를 측정하는 정량적이고 객관적인 방법에 관한 연구이다. 이러한 과학적인 접근방법은 색채배열에 사용되는 색채의 특성에 대해 보다 구체적으로 접근할 수 있으며, 색채배열에서 각 색채간 색차를 정량적으로 파악할 수 있기 때문에 색채배열의 선택에 있어 주관적인 판단을 피할 수 있게 된다.

기존 연구에서 지적된 불균등한 색공간 사용과 색역의 차이로 인한 문제점들을 개선하기 위하여 CIExyY 색공간 대신 CIE 1976 L*a*b* 색표시계를 이용하여 균일한 색공간상에서 색채배열의 색차를 측정하고, 정량적 데이터를 표현하는 색채배열의 특성을 고려하여 색채배열에서 인접한 값에 대한 색차도 측정하였다.

또한 색각모사 도구를 이용하여 모사 전후에 따른 최소 색차의 변화를 실증적으로 분석하였으며 색각이상자

가 인지하기 어려운 최소 색차의 기준을 설정하고 이를 기반으로 색채의 인지 순서를 고려하여 색각이상자의 지도 정보 오인식을 방지할 수 있는 색채배열을 제안하였다. 그러나 최소 색차의 기준은 후속 연구를 통해 좀 더 명확하게 제시되어야 할 것이며, 본 연구에서 사용한 colorbrewer의 색채배열 뿐만 아니라 현재 통용되고 있는 여러 색채배열을 대상으로 한 실험을 통해 사용자 특성에 따른 최소 색차의 기준 설정에 대한 후속 연구가 요구된다.

colorbrewer는 웹을 통해 색채배열을 효과적으로 디자인할 수 있는 많은 사례를 제공해주고 있을 뿐만 아니라 색각이상자에게 안전한 색채배열도 제안하고 있다. 그러나 색각이상자의 유형에 따른 색채배열을 제안하고 있지는 못하며, 안전한 색채배열로 판단한 근거를 제시하지도 않아 후속연구를 수행함에 있어 제한점을 가진다.

그러나 본 연구에서 제안한 색채분석 방법론은 선행연구에서 개발된 색각모사 도구와 함께 색각이상자의 특성을 반영한 색채배열을 제안할 수 있을 뿐만 아니라 일반인을 위한 효과적인 색채배열 디자인 연구에도 응용 및 활용될 수 있어 향후 지도의 웹접근성 지침 마련을 위한 기초연구가 될 수 있다는 점에서 그 의미를 찾을 수 있다.

註

- 1) 조맹섭(2006:73)은 색표시계를 ‘색을 정확하게 표현(representation)하고 재현(reproduction)하고 정확하게 전달(transfer)하기 위하여 체계적으로 분류하고, 수치나 기호로 표시하여 작성된 일련의 체계’라고 정의하고 있다.
- 2) 국제표준화기구 지리정보 기술위원회(ISO TC211)의 국제표준문서인 ISO/TS 19101-2:2008 Geographic information - Reference model - Part 2: Imagery (<http://www.isotc211.org>)에 따르면 국제조명위원회의 CIE 색표시계를 지리정보 모화를 위한 색표시계로 지정하고 있다.
- 3) 이 색각모사 도구는 실제 색각이상자를 대상으로 한 실험에서 색맹자의 경우 99%에 가까운 모사 정확도를 나타내 도구의 유효성이 확인되었다고 볼 수 있다 (신휴석 등, 2010:602).

참고문헌

김감영, 2012, “세계지도의 기복 재현을 위한 색채 배열 원리와 대안,” 한국지도학회지, 12(1), 21-32.

조맹섭, 2006, 「디지털 컬러의 기본 원리」, 도서출판 국제.

신휴석·조현장·박기호, 2010, “지도 색채의 색각이상 모사에 관한 연구,” 국토지리학회지, 44(4), 595-608.

정인철, 2011, “지도제작에서의 색채대비 이용에 관한 연구,” 한국지도학회지, 11(1), 1-11.

최영은·정재준·이재원·김희수·노경숙·김은숙·박가인·박기진·박창용, 2011, “1981~2010년 한국기후도 작성을 위한 범례 지정에 대한 연구,” 한국지도학회지, 11(3), 105-112.

Mersey, J.E., 1990, Colour and thematic map design: the role of colour scheme and map complexity in choropleth map communication, *Cartographica Monograph*, 41.

Slocum, T.A., McMaster, R.B., Kessler, F.C., and Howard, H.H., 2005, *Thematic Cartography and Geographic Visualization*, 2nd edition., Prentice Hall.

Stokes, M., Anderson, M., Chandrasekar, S., and Motta, R., 1996, A standard default color space for the internet - sRGB, *Microsoft and Hewlett-Packard Joint Report*, Version 1.10, <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>

Colorbrewer 2.0: color advice for cartography, <http://www.colorbrewer.org>

Dpreview.com, <http://a.img-dpreview.com>

IDL (Interface Definition Language) Online Help, http://idlastro.gsfc.nasa.gov/idl_html_help/Color_Systems.html

Project ENLICHTEN, <http://www.pfk.ff.vu.lt/cie> Warna-color Blogger, <http://pengantar-warna.blogspot.com>

신휴석·조현정·박기호

교신 : 박기호, 151-748, 서울시 관악구 관악로 1, 서울대학교
사회과학대학 지리학과 (이메일: khp@snu.ac.kr)

Correspondence : Key-ho Park, 151-748, 1 Gwanak-ro,
Gwanakgu, Seoul, Korea, Department of Geography,
Seoul National University (Email: khp@snu.ac.kr)

투 고 일: 2012년 7월 26일

심사완료일: 2012년 8월 10일

투고확정일: 2012년 8월 12일