

## 색각 능력의 정량적 평가를 위한 전산화된 다중 15-색상 배열 검사법

최민주<sup>1,2</sup> · 고성택<sup>2,3</sup> · 홍성철<sup>1</sup>

제주대학교, 의과대학 의학과<sup>1</sup>, 인공심장이식연구소<sup>2</sup>, 공과대학 전기전자공학부<sup>3</sup>

(2000년 2월 14일 접수, 2000년 5월 12일 채택)

### Computerized Multiple 15-hue tests for Quantifying Color Vision Acuity

M.J. Choi<sup>1,2</sup>, S.T. Ko<sup>2,3</sup> and S.C. Hong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Medicine, College of Medicine, <sup>2</sup>Institute of Artificial Heart Implantation,

<sup>3</sup>School of Electrical and Electronic Engineering, College of Engineering,

Cheju National University

(Received February 14, 2000. Accepted May 12, 2000)

**요약**: 색상 배열 검사법은 기준 색편을 시작으로 다수의 색편을 가장 유사한 것들로 서로 인접하게 배열하도록 하여 피검사자의 색각 능력(색력)을 평가하는 방법이다. 본 논문에서는 색각 능력을 신속히, 정량적으로 평가하기 위한 다중 15-색상 배열 검사법을 구성하여 PC에 구현하였다. 검사의 난이도는 인접한 색편간의 색상 차(CDBACC: color difference between adjacent color chips)의 크기로 조정하였다. CDBACC는 국제 조명 위원회에서 추천한 식을 사용하여 계산하였다. 본 연구에서는 CDBACC가 0.75, 1.1, 1.8, 2.5, 3.5, 7.5, 11, 14의 값을 가지는 8단계 난이도의 색상 배열 검사법(test 3-10)과 빨강, 녹색, 청색의 채도 변화를 등간격으로 분할하여 15 개의 색편을 구성한 3 가지 기본색 배열 검사법(test 11(R), 12(G), 13(B))을 설계하였다. PC에 구현된 다중 15-색상 배열 검사의 평가를 위해 이시하라식 검사법으로 색맹인 아닌 30 명을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험 결과 피검사자의 색상 배열 정확도는 CDBACC가 2 - 4.5인 영역에서 급격히 변하고 있으며, CDBACC 값이 5 이상에서는 대부분의 피검사자들이 오차 없이 색편을 배열한 반면, 2 이하에서는 아무도 정확히 색편을 배열하지 못한 것으로 나타났다. 기본색 배열 검사(CDBACC = 6.87, 7.27, 7.86)에서는 CDBACC가 5 이상임에도 불구하고 색편 배열에 대한 매우 낮은 정확도를 보였다. 색력의 척도라 할 수 있는 피검사자의 색편 배열 정확도가 급격히 변화하는 검사의 색상 차의 평균값은 3으로 나타났으며, 이때의 ERCCA (error rate of color chips arrangement)은 20 %로 나타났다. 본 연구에서 PC에 구현한 다중 15-색상 배열 검사법은 피검사자의 색각 능력을 신속히, 세밀하게, 정량적으로 평가하는 경제적인 도구로 사용될 것으로 기대하며, 향후 후천성 색각 이상을 유발하는 질환(예, diabetes, glaucoma)을 집단 검진하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심단어**: 다중 15-색상 배열 검사법, 색각 능력, 색력, 색편, 색편 배열 오차율, 색맹, 집단 검진

**Abstract**: Multiple 15-hue tests were designed and implemented on a PC in the study so as to quickly and quantitatively evaluate color vision acuity. Difficulty of the test was controlled by the value of CDBACC (color difference between adjacent color chips) calculated using a CIELAB formula. The multiple 15-hue tests consist of eight of the hue tests (test 3-10) and three of the basic color (red, green, blue) tests (test 11-13). The 15 colors used for the hue tests were specified by the 15 color coordinates that were located at a constant distance ( $d = 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 40$ ) from white reference in the CIE chromaticity coordinate system and were separated by a constant color difference (CDBACC = 0.75, 1.1, 1.8, 2.5, 3.5, 7.5, 11, 14) from the adjacent chips. The color coordinates for the 15 chips for the basic color tests were the same as those of the 15 points spaced equally by a constant color difference (6.87 for the green color test, 7.27 for the red color test, 7.86 for the blue color test) from the white reference along the axis of red, green and blue. Thirty normal subjects who were not color blind were taken to undergo the multiple 15-hue tests. It was observed that most of the subjects correctly arranged color

#### <속보논문>

통신저자: 최민주, (690-756) 제주시 아라 1동 1번지 제주대학교 의과대학 의학과  
Tel. (064) 754-3876, Fax. (064) 725-2593  
E-mail. mjchoi@cheju.cheju.ac.kr

#### 서론

색각이란 가시 광선 중에서 파장의 차이에 따르는 물체의 색채를 구별하여 인식하는 능력이다. 색각은 망막의 추체

chips for the tests with CDBACC greater than 5, whereas no one correctly answered for those with CDBACC less than 2. Rapid changes in the number of the subjects correctly arranged took place when CDBACC of the tests was between 2 and 4.5. In the basic color tests, unlike the hue tests having similar values of CDBACC, it was seen that the subjects arranged color chips even less correctly. It was found that JNCD (just noticeable color difference) - a measure of color vision acuity was about 3 in average for the subjects. The JNCD was chosen as the value of the CDBACC of the test for which about 50 % of the subjects failed to successfully arrange color chips. ERCCA (error rate of color chips arrangement) for the test with CDBACC the same as the JNCD was shown to be about 20 %. It is expected that the multi 15-hue tests implemented on a PC in the study will be an economical tool to quickly and quantitatively evaluate color vision acuity and, accordingly, the tests can be used for early diagnosis to massive potential patients suffering from diseases (ex. diabetes, glaucoma) which may induce changes in color vision acuity.

**Key words :** Multi 15-hue tests, Color vision acuity, Color chips arrangement, Just noticeable color difference, Color difference, color blind

(Cone)가 담당하는 기능이며, 아직, 추체에서의 정확한 색각 판별 기전은 잘 알려져 있지 않다. 색각 이상의 빈도는 남자는 전 인구의 5-8 %, 여자는 남자의 약 10 % 정도가 적록 색각 장애라고 보고되고 있다 [1]. 색각 이상은 선천성과 후천성으로 나눌 수 있다. 후천적 색각 이상의 발생 기전이 정확히 알려져 있지 않는지만, 망막, 맥락막, 시신경 손상 등의 안저 질환과 고혈압, 당뇨와 같은 전신 장애로 인한 망막 변성, 메틸알콜, 담배 등의 중독, 산업장에서 흔히 사용되고 있는 다양한 유기 용제에의 폭로로 인한 후천적 색각 이상이 보고되고 있다 [1-4].

색각 검사는 크게 색상 검사(pigmented hue test)와 광학적 검사법(spectral instrument test)으로 구분할 수 있다. 색상 검사는 색편(pigmented hue sample)을 판독하는 능력을 평가하며, 광학적 검사는 광원과 서로 다른 파장의 조절에 의한 Anomaloscope, Lantern test 등을 지칭한다. 광학적 검사는 색상 검사에 비해 정밀한 평가 방법이며 전문가에 의해서만 검진이 가능하다. 집단을 대상으로 하는 색각 검사의 경우, 보통, 사용이 간편한 여러 가지 색각 검사표(예, Stilling, 석원 색맹 검사표 등)를 이용한 색상 검사법이 사용된다. 색각 검사표는 색맹 또는 색약을 평가하는 규정이 서로 다르므로 실제로 색맹 또는 색약이라는 진단을 붙이기엔 모호한 점이 많으며 색각 이상의 정도를 진단하기도 어렵다.

1940년대 Fannsworth에 의하여 창안된 색상 배열 검사인 Fannsworth-Munsell 100-hue test는 비교적 정확하게 색각 이상의 정도를 파악할 수 있는 검사 방법으로 사용되어 왔다 [5]. Fannsworth-Munsell 100-hue test는 많은 색상을 사용하기 때문에 검사의 소요 시간이 길다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 Panel D-15 test가 제안되었으며, 이 방법은 국내에서 한천석[6]에 의해 개선되어 2중 15-색상 배열 검사기로 상품화되어 시판되고 있다. 한천석의 2중 15-색상 배열 검사기는 검사 내용에 비해 비교적 고가이며 색각 이상 정도를 다 단계로는 파악할 수 있으나 세밀하게 계량화하지는 못하고 있다. 즉, 한천석의 2중 15-색상 배열 검사기로는 후천적 색각 이상의 심각성을 정확히 평가하기는 쉽지 않다. 후천적 색각 이상은 초기에 본인이 인지할 수 없는 경우가 대부분이고 지금까지의 색각 이상 검사로 진단이 용이하지 않다. 이는 지금까지의 색각 검사 방법이 대부분 선천성 색각 이상

장애 검사를 위해 개발되어 왔기 때문이다.

본 연구의 목적은 색각 능력을 세밀하게 평가하기 위한 다중 15-색상 배열 검사법을 설계하고 PC에 구현하기 위함이다. 컴퓨터를 이용할 경우 기대할 수 있는 이점은 다음과 같다. 첫째 피검사자에게 친근한 검사 환경을 구성할 수 있다. 둘째 적절한 모니터 환경 설정으로 주위의 조명의 영향을 보상할 수 있다. 셋째 검사의 결과를 쉽게 도식화, 계량화 할 수 있으며 기존의 방법 보다 더욱 세밀하게 색각 이상의 정도를 구분할 수 있다. 넷째 검사의 결과를 피검사자 개인별 특정 집단별로 데이터 베이스화가 용이하다. 다섯째 다양한 형태의 색상 배열 검사법을 쉽게 구현할 수 있다. 여섯째 이미 보급된 PC에 프로그램만 설치하면 되므로 추가의 하드웨어 제작을 위한 비용이 필요하지 않다. 최근 실제로 일부 연구자들은 기존의 색 편을 이용한 여러 색상 검사 방법들을 컴퓨터에 구현하여 임상적 유용성에 관한 긍정적인 연구 결과를 보고하고 있다[2, 8]. 특히 TwoDocs Color Test 프로그램(<http://www.twodocs.com>)은 모니터 캘리브레이션이 가능하도록 하여 컴퓨터 화면을 통한 검사의 신뢰성과 실용성을 크게 높여 주고 있다. 향후 지속적으로 다양한 형태의 색상 검사 방법이 컴퓨터를 통해 구현되고, 통계적으로 그 의학적 유용성이 검증되면, 색상 검사법의 활용도는 크게 높아질 것으로 기대된다.

다중 15-색상 배열 검사에 사용된 15 개의 색은 국제조명위원회 (CIE) 칼라 좌표계[1, 6, 8]의 white reference에서 동일 거리에 위치한 궤적을 따라 일정한 색상 차로 등분한 15 개의 좌표값을 이용하여 설정하였다. 검사의 난이도는 색상 차이를 변화시켜 조정하였으며, 본 연구에서는 난이도가 다른 8 개의 색상 검사법을 구성하였고 또한 기본색(적색, 녹색, 청색)의 채도 변화에 따른 색상 배열 검사도 최초로 포함하였다. 다중 15-색상 배열 검사법의 feasibility 평가를 위해 색맹이 아닌 정상인을 대상으로 색상 차(검사의 난이도)를 변화시키면서 색력(색상 식별 능력)을 관찰하였다. 검사 결과는 색편 배열 순서도(색각 이상의 형태)와 색편 배열 오차율(색각 이상의 심각성 정도)을 이용하여 분석하였다. 본 연구에서 도안한 다중 15-색상 배열 검사법과 한천석의 2중 15-색상 배열 검사법을 비교하였으며, 후천성 색각 이상을 초기에 검진하기 위한 색상 배열 검사의 활용 방안에 대해 살펴보았다.

표 1. 본 연구에서 디자인한 다중 15-색상 배열 검사법의 인접 색편간의 색상 차 및 white reference로부터 거리 d의 값. CDBACC:15-색상 배열 검사법의 인접한 색편간의 색상 차이. MTCDS은 오차 없이 배열했을 때 배열된 색편을 따라 색편간의 색상 차이를 더한 총합

Table 1. Values of the color difference between adjacent color chips(CDBACC) and the distance from white reference (d) of the multi 15-hue tests designed in the study. MTCDS stands for the total color difference scores for a test when all color chips are correctly arranged.

Test number	CDBACC	MTCDS	d	Note
1	(12)	165.78	(33)	Dr Han's 15-hue test A
2	(6)	82.32	(17)	Dr Han's 15-hue test A
3	14	196.41	40	↑
4	11	154.38	30	
5	7.5	105.27	20	get easier
6	3.5	49.14	10	↓
7	2.5	35.09	7	
8	1.8	25.26	5	
9	1.1	15.4	3	get more difficult
10	0.75	10.5	2	↓
11	7.27	101.82	-	
12	6.87	96.13	-	
13	7.86	110.10	-	bule color test

표 2. ITU-T에서 추천한 색상의 RGB 값과 국제 조명 위원회 CIE색 좌표 값(x, y, z)과의 관계

Table 2. Values of RGB of a color to those of the CIE chromaticity coordinate(x, y, z) recommended by ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)

	R	G	B	White
x	0.640	0.300	0.150	0.3127
y	0.330	0.600	0.060	0.3290
z	0.030	0.100	0.790	0.3582

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

여기서

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16$$

$$a^* = 500 \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right)$$

$$b^* = 500 \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right)$$

## 전산화된 다중 15-색상 배열 검사법

### 1. 다중 15-색상 배열 검사법

본 연구에서는 한천석의 2중 15-색상 배열 검사법(Dr Han's double 15-hue test A and B)을 확장하여 검사의 난이도를 2단계에 다 단계로 세분하는 다중 15-색상 배열 검사법을 설계하고 이를 PC에 구현하였다. CIE 칼라 좌표계(CIE chromaticity coordinate system)의 white reference로부터 일정한 거리 (d)에 위치한 궤적을 따라 일정한 색상 차(color difference · CD)로 14 등분하여 15 개의 좌표(x, y)를 선정하고, 좌표 값으로부터 15 개의 색편(color chip)을 결정하였다. 색편간의 CD를 계산하는 방법은 국제조명위원회 CIE에서 추천한 CIELAB 계산식을 사용하였다 [7-8]. 즉 두 색편 간의 색상 차(ΔE)는 아래의 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

X, Y, Z 는 색의 tristimulus 값이고, X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>, Z<sub>n</sub>은 표준 광원의 tristimulus 값을 의미하며, 이 경우, X<sub>n</sub>=98.0705, Y<sub>n</sub>=100, Z<sub>n</sub>=118.225 가 된다.

CD 값 (또는 d의 값)이 작아지면 인접한 색편간의 색상 구별이 어려워 검사의 난해도가 상승한다. 본 연구에서는 d의 값이 2와 40사이의 8가지에 대해 15-색상 배열 검사법 (test 3-10)을 디자인하였다. 또한 기본 색 식별 능력 평가를 위해 white reference로부터 적색, 녹색, 청색 칼라 축을 따라 일정한 CD로 15개의 색편을 취하여 test 11(Red), 12(Green), 13 (Blue)을 구성하였다. 표 1은 다중 15-색상 배열 검사법의 d와 인접한 색편간의 색상 차이 CDBACC(color difference between adjacent color chips)의 값을 보여주고 있다. 표 1에서 test 1과 2는 각각 한천석의 2중 15-색상 배열 검사법에 해당하며, 이 경우 d와 CD의 값이 일정하지 않기 때문에 평균값을 괄호 내에 표기하였다. MTCDS(minimum total color difference score)은 아래의 검사 결과 분석 방법에서 상세히 설명

하고 있다.

## 2. 컴퓨터 프로그램

다중 15-색상 배열 검사법 컴퓨터 프로그램 (BARAM - Version 1.0)은 Visual C++ 언어를 사용하여 작성하였다. CIE 색 좌표계의 x, y, z, 값을 모니터의 RGB 값으로 변환하기 위하여 ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)에서 추천한 값 (Rec. 709)을 사용하였으며 그 값은 표 2와 같다. 앞서 언급한바와 같이 색상 차이 CD는 국제조명위원회(CIE)에서 추천한 CIELAB Formula를 사용하여 계산하였다 [7-8]. 표 2에서 x, y, z는 X, Y, Z 값으로부터 결정되며 그 관계식은 아래의 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \end{aligned} \quad (2)$$

표2에서 보여 주는 바와 같이, white reference에 대한 값은  $X_n=0.3127$ ,  $Y_n=0.3290$ ,  $Z_n=0.3582$  가 된다.

그림 1은 BARAM (Version 1.0) 실행시 컴퓨터의 초기 화면을 보여주고 있다. 프로그램은 사용자가 편리하도록 대부분의 명령은 마우스로 작동되도록 하였다. 화면은 Selected Chips, Chips for selection, Status의 3개의 영역으로 구분되며, 상단에 3개의 메뉴 File, Tools, Help를 가지고 있다. 화면 왼쪽의 Selected Chips는 피검사자가 Chips for Selection에 있는 색편을 선택함에 따라 시계 반대 방향으로 채워질 15 색원형 배열 판이다. 그림에서 청색인 첫 번째 색편(기준 색편)은 원형 배열 판에서 3시 방향에 위치하며 프로그램 실행과 동시에 컴퓨터에 의해서 선택된다. Chips for Selection에는 피실험자가 선택할 14 개의 색편이 무작위로 놓여있다. Status에는 File 메뉴에서 선택된 test 번호인 CHIP No, Tools 메뉴에서 조정 가능한 감마값(gamma correction)과 모니터 밝기(brightness)가 표시된다. 현재 검정 색으로 되어 있는 배경색은 Tools 메뉴에서 변경할 수 있다. 평가 결과를 파일로 저장하기 위해 File Name에 데이터 파일 이름을 쓰고 File 메뉴에서 저장 명령을 실행한다. Tools에는 검사 결과를 도시할 수 있도록 Plot 기능이 있다. 이미 저장된 기준 데이터 파일을 불러오기 위해서는 File 메뉴를 사용한다.

색상 배열 검사를 시작하기 위한 첫 단계로 Start 버튼을 누른다. 이때부터 시간의 흐름이 기록되고 Time에 표시된다. Chips of Selection에서 기준 색편과 가장 가까운 색편을 마우스로 클릭한다. 그러면 자동적으로 선택된 색편이 Selected

Chips의 기준 색편 옆(시계 반대 방향)으로 이동한다. 방금 전에 선택한 색편과 가장 가까운 색편을 Chips of Selection에서 클릭하면 그 색편은 같은 방식으로 기준 색편으로부터 시계 반대 방향으로 3 번째 위치로 이동한다. 같은 방법으로 가장 최근에 선택한 색편과 가장 유사하다고 생각하는 색편을 계속해서 마우스로 클릭하고, Chips of Selection에 있는 모든 색편이 Selected Chips로 이동할 때까지 계속한다. Chips of Selection에 모든 색편이 사라지면 Stop 버튼을 누른다. 그 순간 시간의 기록이 정지하고 총 소요 시간이 Time에 표시된다. 검사 결과를 기록하기 위해 File Name에 파일 이름을 쓰고 File 메뉴의 Save 명령을 실행한다. 저장된 데이터는 선택된 색편의 순서, 색 좌표(coordinates (x, y) of the CIE chromaticity diagram), 색편을 선택할 때까지의 소요 시간을 포함한다.

## 3. 검사 결과 분석 방법

다중 15-색상 배열 검사 결과는 2차원 CIE 색 좌표(CIE chromaticity x and y coordinate) 평면 위에, 선택한 순서대로 기준 색편을 포함 15 개 색편의 위치를 표시하고 직선으로 연결한 도형 CCAD(color chips arrangement diagram)로 표시한다. 그림 2는 본 연구에서 도안한 다중 15-색상 배열 검사법의 CCAD를 보여 주고 있다. 그림 2에서 T3, T4, ... 는 test 3, test 4, ... 을 의미하며, T3의 CCAD를 따라 표기된 번호 1, 2, 3, ... , 15는 색편의 번호이다. T11, T12, T13은 각각 빨간, 녹색, 청색 축을 따라 일정한 색상 차이로 15 등분하는 CCAD이다.(그림 2에서는 15개 중 8번째 색편까지만 도시되어 있다). 그림에서 T11, T12, T13이 만나는 중심점이 white reference이다. T3부터 T10까지 검사법은 인접한 색편간의 색상 차가 일정하고, CCAD 상의 15 색편이 white reference로부터 항상 일정한 거리에 위치한다. 즉 test 3-10은 표 1에서 보여 주듯이 CDBACC와 d의 값이 일정하다. 반면 그림에서 (A)와 (B)로 표기하고 있는 한천석의 2중 15-색상 배열 검사법 A와 B는 d의 값과 CDBACC 값이 일정하지 않으며, (A)의 난이도는 test 4(CDBACC=11, d=30)와 유사하며, (B)의 난이도는 test 5(CDBACC=7.5, d=20)와 test 6(CDBACC=3.5, d=10)의 중간 정도임을 볼 수 있다.

피검사자가 색편을 선택한 순서에 오차가 있을 경우, 초기 색편(또는 기준 색편)부터 최종(15 번째) 색편까지 연결된 순서도 CCAD의 경로의 길이가 커지게 된다(그림 3 참조). 피검사자가 배열한 순서로 모든 색편간의 색상 차이를 합한 값 TCDS(total color difference score)은 색상 배열의 정확성을 표현하는 변수라 할 수 있다. 한 색상 배열 검사의 15개 색편을 순서대로 정확히 배열하였을 때의 TCDS은 그 검사의 TCDS 중 최소값(minimum total color difference score - MTCDs)이 된다. 다중 15-색상 배열 검사법의 각 test별 MTCDs 값은 표 1에 나와 있다. 본 연구에서는 색상 배열의 정확도는 아래의 식 (3)로 정의되는 색편 배열의 오차율 ERCCA(error rate of color chips arrangement)로 정량화 하.

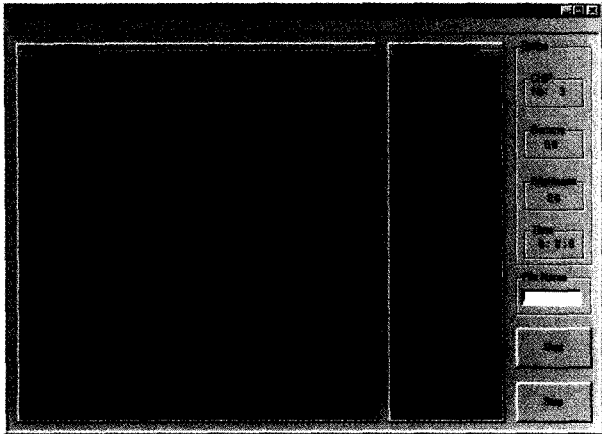


그림 1. 다중 15-색상 배열 검사법 프로그램 BARAM(Version 1.0)의 초기 화면 -test 3의 경우

Fig. 1. An initial screen of the color test program BARAM(version 1.0) for the multi 15-hue test -in the case of the test 3

였다.

$$ERCCA(\%) = \frac{TCDS - MTCDS}{MTCDS} \times 100 \quad (3)$$

ERCCA의 최소값은 0 %이며, 이는 오차가 전혀 없이 순서대로 15개의 색편을 정확히 배열했을 때에 해당한다.

### 실 험

제주대학교 의예과 학생 30 명을 대상으로 다중 15-색상 배열 검사를 수행하였다. 피검사자의 연령 분포는 20 세부터 31 세까지이며, 남자 20 명 여자가 10 명으로 구성 되어있다. 모든 피검사자는 이시하라식 색맹 검사로 색맹이 아닌 것으로 평가되었다. 검사 공간의 조명은 500 Lux로 유지했다. 검사 순서는 난이도가 쉬운 것부터 어려운 것 순으로(즉 test 3, 4, 5, ..., 10 순으로) 8 가지의 15-색상 배열 검사를 먼저 진행하였다. test 10 이후 기본 색상(Red, Green, Blue) 배열 검사(test 11, 12, 13)를 하였으며, 최종적으로, 한천석 2중 15-색상 배열 검사법 A와 B(test 1, 2) 검사를 진행했다. 1개의 검사가 끝나면 5 분 이상 휴식을 취하도록 하면서 수행한 검사의 난이도를 평가서에 답하도록 했다. 난이도 평가는 -3과 3 사이의 정수 값으로 표기하도록 하였으며, 사용된 난이도의 척도는 다음과 같다. -3 아주 쉬운, -2 쉬운, -1 약간 쉬운, 0 어렵지도 쉽지도 않은, 1 약간 어려운, 2 어려운, 3 아주 어려운.

### 결 과

그림 3은 다중 15-색상 배열 검사로 얻어진 결과 중에 전형적인 색상 배열 순서도 CCAD(test 6의 경우)를 보여 주고 있

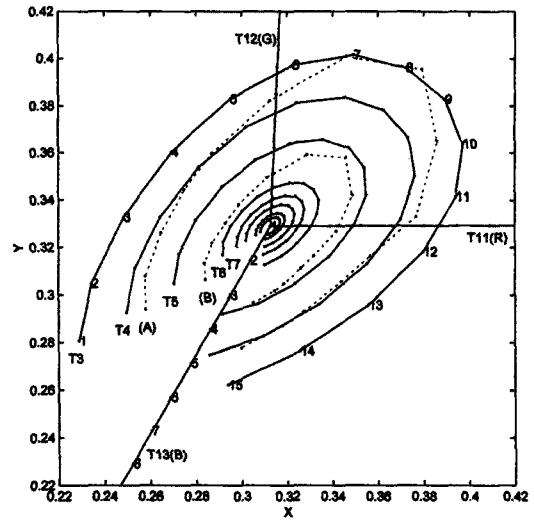


그림 2. 다중 15-색상 배열 검사의 색편 배열 순서도 CCAD. T3, T4, ...는 test 3, test 4, ...를 가르키며, (A)와 (B)는 한천석 2중 15-색상 배열 검사법 A와 B를 의미한다. T11(R), T12(G), T13(B)은 빨간색, 녹색, 청색의 기본색 배열 검사법을 표현한다. T3의 CCAD를 따라 표기된 번호 1, 2, 3, ..., 15는 test 3에서 사용되는 15개 색편의 번호이다. 기본색 검사법은 8번째 색편까지만 도시되어 있다.

Fig. 2. Color chips arrangement diagrams (CCAD) of the multi 15-hue tests. T3, T4, ... represent the test 3, 4, ... and, (A) and (B) are Dr Han's double 15-hue test A and B. T11(R), T12(G) and T13(B) are the RGB color tests. The number 1, 2, ..., 15 labeled along the CCAD of T3 indicate the color coordinate of the n-th chip of the 15 color chips employed for the test 3. For the RGB color test, the color coordinates of up to the 8th color chip were displayed in the figure.

다. 그림 3a는 정확히 순서에 맞게 색편을 선택했을 때의 CCAD이며 이때의 TCDS는 test 6의 MTCDS과 같으며, 그 값은 49.14이다. 그림 3b는 색 편 7과 8의 순서를 바꾸어 배열한 1회의 오차를 포함한 경우이며, 이때 TCDS는 55.94이고, 식 (1)에 의해 색편 배열 오차율 ERCCA은 14 %가 된다. 그림 3c는 2회의 배열 오차가 있는 경우로, ERCCA가 28 %이며, 그림 3d는 다수의 배열 오차를 포함하는 CCAD로 ERCCA가 104 %가 되는 경우이다.

그림 4는 인접한 색편간의 색상 차이 CDBACC 값의 변화에 따라 색맹이 아닌 피검사자가 얼마나 정확하게 응답하는지를 보여주고 있다. 그림 4에서 수평축은 CDBACC이며 수직축은 색상 배열 오차율 ERCCA이다. ERCCA은 CDBACC가 다른 각 test에 대해 평균값 (중심)과 표준 편차 (중심으로부터 범위)로 도시하였다. 그림 4에서 기호 ○은 test 3부터 10까지의 평균값, △은 test 11(R), 12(G), 13(B)의 평균값, □은 한천석 2중 15-색상 배열 검사 A와 B의 평균값을 지시한다. 예상할 수 있듯이 색상 배열 오차는 검사의 난이도가 높아질수록 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 수평축 CDBACC 값이 로그 스케일로 변하고 있으므로 실제 변화의 기울기는 그림에

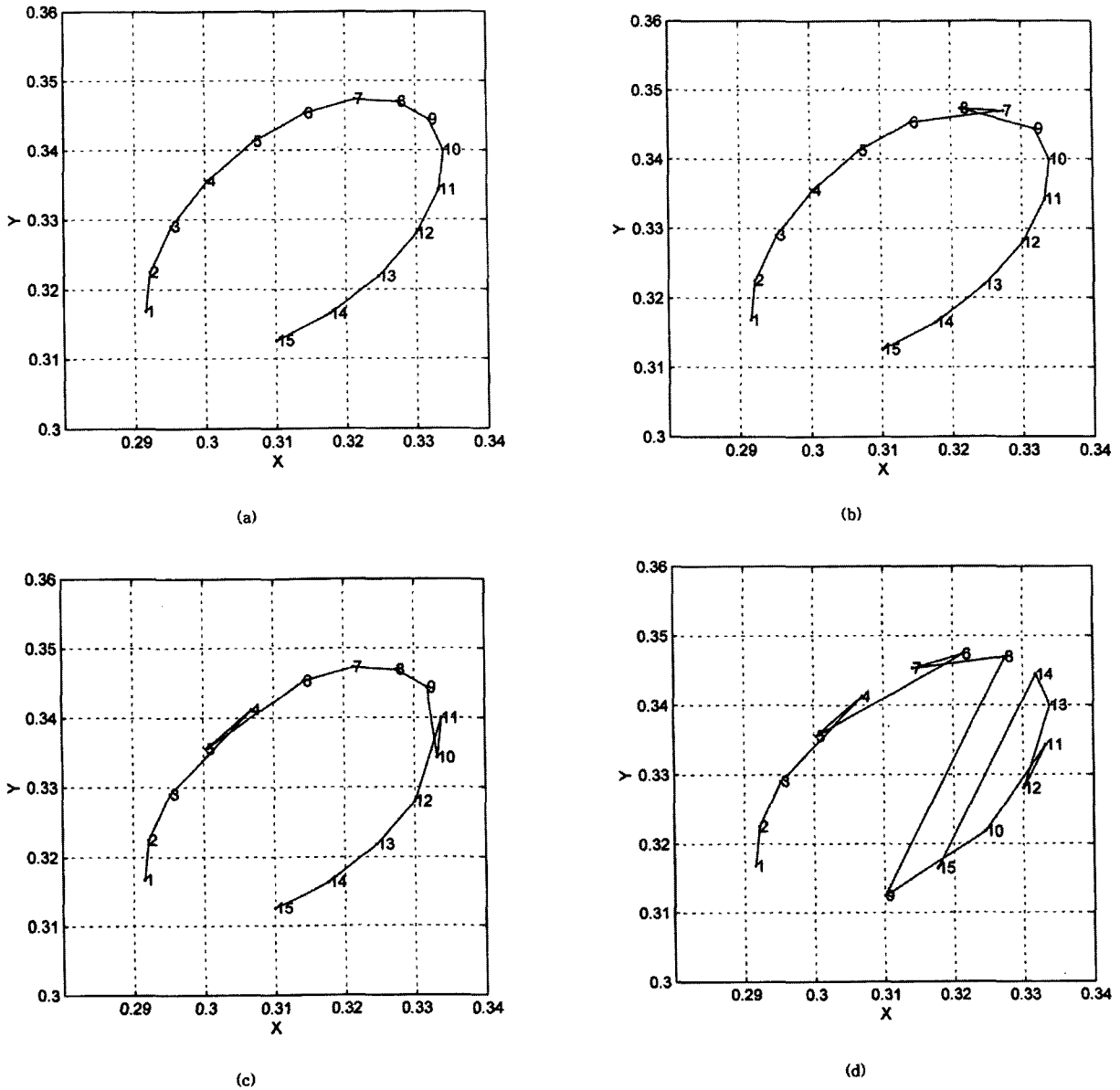


그림 3. 다중 15-색상 배열 검사의 전형적인 칼라 색편 배열 순서도 CCAD -test 6의 경우. (a) 오차 없이 배열한 경우 (ERCCA=0%), (b) 1회 색편을 잘못 배열했을 경우 (ERCCA=14%), (c) 2회 색편을 잘못 배열했을 경우 (ERCCA=28%), (d) 다수의 색편을 잘못 배열했을 경우 (ERCCA=104%)

Fig. 3. Typical color chips arrangement diagrams (CCAD) obtained after the multi 15-hue tests - for case of the test 6. (a) when all color chips were correctly arranged (ERCCA=0%), (b) when one color chip was incorrectly arranged (ERCCA=14%), (c) when two color chips were incorrectly arranged (ERCCA=28%), (d) when many color chips were incorrectly arranged (ERCCA=104%)

서 보여주는 것 보다 더욱 크다. ERCCA는 CDBACC 값이 2.5 보다 큰 영역 (test 3-6)에서는 0 %에 접근하고 있으며, CDBACC 값이 2.5 보다 작은 영역 (test 8-10)에서 30 % 이상으로 급속히 증가하고 있다. 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B는 CDBACC의 값이 2.5보다 훨씬 큰 영역에 위치하고 있으며, 대부분의 피실험자가 오차 없이 색상을 배열하고 있다. 그림 4에서 R, G, B로 표기되어 있는 기본색 test의 경

우 CDBACC 값이 클에도 불구하고( $6.9 \leq CDBACC \leq 7.9$ ) ERCCA은 20 % 이상의 높은 값으로 나타났다. 특히 test 13 (Blue)의 CDBACC는 7.9로 test 11(Red), test 12(Green) 보다 크지만, ERCCA은 test 11, 12 보다 더 큰 40 %로 나타났다. ERCCA 평균값이 증가하면 비례적으로 ERCCA의 표준 편차가 함께 증가하고 있는 것으로 나타났다. ERCCA 표준 편차의 크기는 CDBACC 보다는 ERCCA와 더욱 밀접한 상관

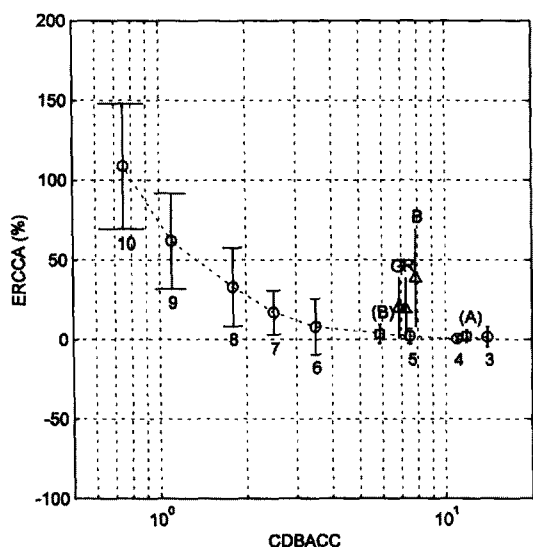


그림 4. 인접한 색편간의 색상 차 CDBACC와 색편 배열 오차율 ERCCA의 관계. 번호 3, 4, ..., 10: test 3, 4, ..., 10. R, G, B: 기본색 배열 검사 test 11(R), 12(G), 13(B). (A), (B): 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B. 수직축의 ERCCA는 평균값(중심)과 표준 편차(중심으로부터 범위)로 도시하였다. ERCCA 평균값 ○: test 3-10, △: test 11(R), 12(G), 13(B), □: 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B.

Fig. 4. Relationship between CDBACC (color difference between adjacent color chips) and ERCCA (error rate of color chips arrangement). The number 3, 4, ..., 10: test 3, 4, ..., 10. R, G, B: test 11(R), 12(G), 13(B). (A) and (B): Dr Han's double 15-hue test A and B. ERCCA was displayed in forms of the error bar centered at the mean value and extended to both ends by the length of the standard deviation. Symbols for the mean value of ERCCA ○: test 3-10, △: test 11(R), 12(G), 13(B), □: Dr Han's double 15-hue tests.

성을 보이고 있다.

그림 5는 인접한 색편간의 색상 차이 CDBACC가 감소함에 따라 오차 없이 순서대로 색편을 배열하는 피검사자의 비율 RSCACC(rate of the subjects correctly arranged color chips)의 변화를 보여주고 있다. RSCACC는 아래의 식(4)로 정의하였다.

$$RSCACC(\%) = \frac{\text{number of the subjects correctly arrange color chips}}{\text{total number of the subjects}} \times 100 \quad (4)$$

그림 5에서 수평축은 CDBACC이며 수직축은 RSCACC (%)이다. CDBACC가 변하는 검사별 RSCACC 값은 3가지 기호를 이용하여 표기하였다(●: test 3 - 10, ▲: test 11(R), 12(G), 13(B), ■: 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B). 그림에서 test 3-10의 경우, RSCACC는 CDBACC가 7 보다 크면 거의 100 %에 근접하며, CDBACC가 감소하면 서서히

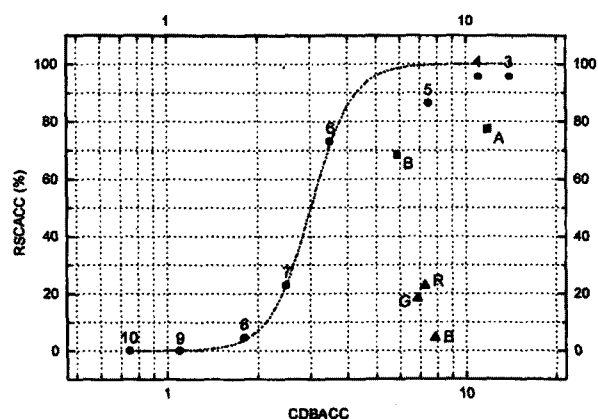


그림 5. 인접한 색편간의 색상 차 CDBACC와 오차 없이 순서대로 색편을 배열하는 피검사자의 비율 RSCACC의 관계. ●: test 3-10, ▲: test 11(R), 12(G), 13(B), ■: 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B

Fig. 5. Relationship between CDBACC (color difference between adjacent color chips) and RSCACC (percentage rate of the subjects correctly arranged color chips). ●: test 3-10, ▲: Red, Blue, Green color test 11(R), 12(G), 13(B), ■: Dr Han's double 15-hue test A and B

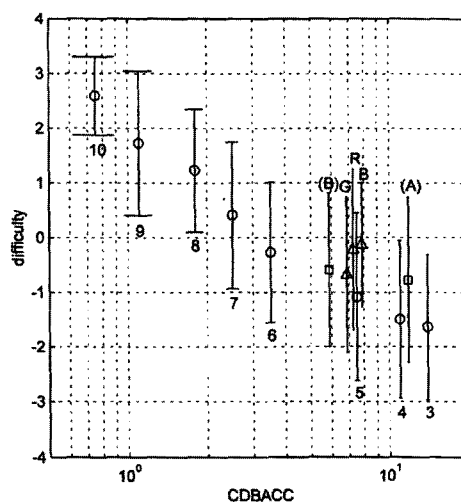


그림 6. 인접한 색편간의 색상 차이 CDBACC와 피검사자 느끼는 검사의 난이도와와의 관계. 수직축의 난이도는 평균값(중심)과 표준 편차(중심으로부터 범위)로 도시하였다. 난이도 척도: -3 아주 쉬운, -2 쉬운, -1 약간 쉬운, 0 어렵지도 쉽지도 않은, 1 약간 어려운, 2 어려운, 3 아주 어려운. 난이도 평균값 ○: test 3-10, △: test 11(R), 12(G), 13(B), □: 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B

Fig. 6. Relationship between CDBACC (color difference between adjacent color chips) and the difficulty that the subjects felt for tests. Difficulty was displayed in forms of the error bar centered at the mean value and extended to to both ends by the length of the standard deviation. Difficulty scale: -3 very easy, -2 easy, -1 little easy, 0 neither difficult nor easy, +1 little difficult, +2 difficult, +3 very difficult. Symbols for mean values of difficulty ○: test 3-10, △: test 11(R), 12(G), 13(B), □: Dr Han's double 15-hue test A and B

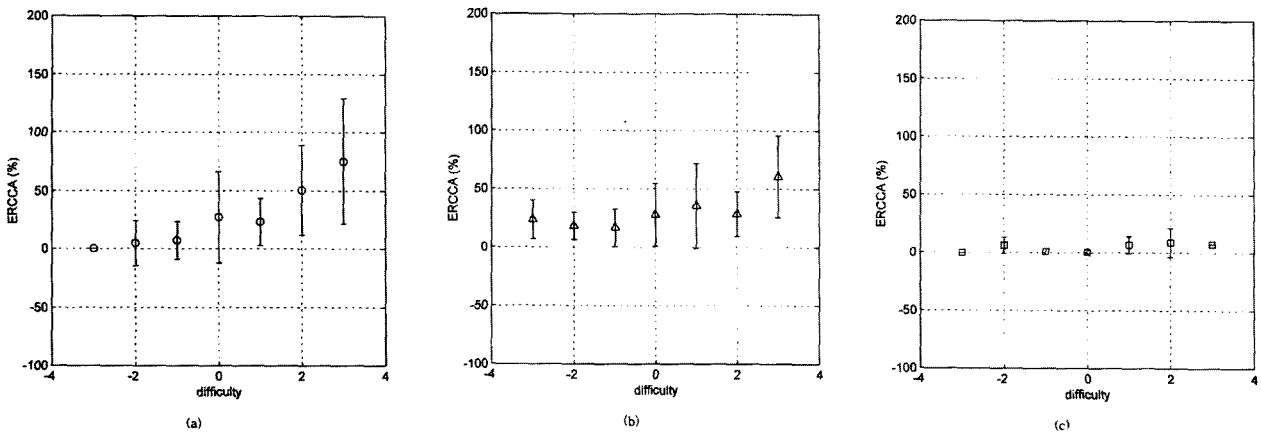


그림 7. 피검사자가 느끼는 검사의 난이도와 ERCCA와의 관계. 수직축의 ERCCA는 평균값 (중심)과 표준 편차 (중심으로부터 범위)로 도시하였다. 난이도 척도: -3 아주 어려운, -2 어려운, -1 약간 어려운, 0 어렵지도 쉽지도 않은, 1 약간 쉬운, 2 쉬운, 3 아주 쉬운. (a) test 3-10, (b) test 11(R), 12(G), 13(B), (c) 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B

Fig. 7. Relationship between ERCCA (error rate of color chips arrangement) and the difficulty that subjects felt for tests. ERCCA was displayed in forms of the error bar centered at the mean value and extended to both ends by the length of the standard deviation. Difficulty scale: -3 very easy, -2 easy, -1 little easy, 0 neither difficult nor easy, +1 little difficult, +2 difficult, +3 very difficult. (a) test 3-10, (b) test 11(R), 12(G) and 13(B), (c) Dr. Han's double 15-hue test A and B

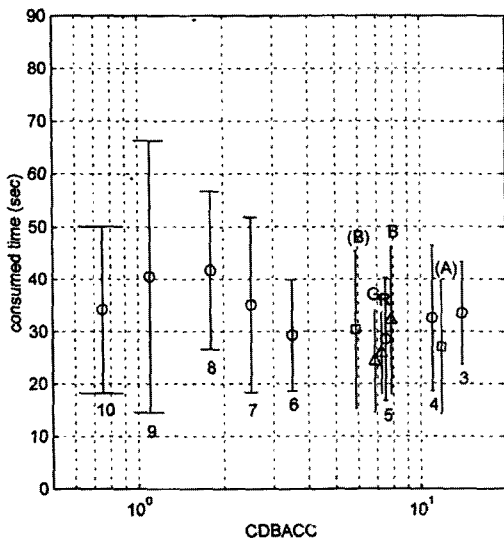


그림 8. 인접한 색편간의 색상 차이 CDBACC와 검사소요 시간과의 관계. 수직축의 검사소요 시간은 평균값 (중심)과 표준 편차 (중심으로부터 범위)로 도시하였다. 평균 검사소요 시간 ○: test 3-10, △: test 11(R), 12(G), 13(B), □: 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B

Fig. 8. Relationship between CDBACC (color difference between adjacent color chips) and the consumed time for tests. The consumed time was displayed in forms of the error bar centered at the mean value and extended to both ends by the length of the standard deviation. Symbols for mean values of the consumed time ○: test 3-10, △: test 11(R), 12(G), 13(B), □: Dr Han's double 15-hue test A and B

감소한다. CDBACC가 5 이하로 떨어지면 RSCACC는 급격히 감소하기 시작하며, CDBACC가 2 이하가 되면 RSCACC는 거의 0%에 접근한다. Logistic Model를 이용하여 CDBACC의 변화에 따라 예측되는 최적의 RSCACCLM (rate of the subjects correctly arranged color chips best fitted using Logistic Model)을 구하면 식 (5)와 같다.

$$RSCACC_{LM}(\%) = 100 \times \left( 1 - \frac{1}{1 + \left( \frac{CDBACC}{3.01434} \right)^{6.2771}} \right) \quad (5)$$

그림 5의 점선 그래프는 식 (5)를 표현한다. 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B에서는 각각 유사한 CDBACC 가지는 test 3-4와 test 5-6에 비해 RSCACC가 낮은 값으로 나타났다. 특히 기본색 검사 test 11(R), 12(G), 13(B)에서는 CDBACC가 7 이상으로 큼에도 불구하고 RSCACC는 20% 이하 특히 test 13(B)의 경우는 거의 0%의 값을 보여주고 있다.

피검사자가 느끼는 검사의 난이도 difficulty와 색편간의 색상 차 CDBACC의 상관 관계는 그림 6에서 보여 주고 있다. 수직축의 난이도는 0에서 양의 방향으로 멀어질수록 높아지고, 음의 방향으로 멀어질수록 낮아진다(설문지에서 사용된 난이도의 척도: -3 아주 쉬운, -2 쉬운, -1 약간 쉬운, 0 어렵지도 쉽지도 않은, 1 약간 어려운, 2 어려운, 3 아주 어려운). CDBACC가 다른 각 test에 대한 난이도는 평균값 (중심)과 표준 편차(중심으로부터 범위)로 도시하였다. ○은 test 3부터 10까지의 난이도의 평균값, △은 test 11(R), 12(G), 13(B)의 평균값, □은 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B의 평균값을 의미한다. 예상할 수 있듯이 그림 6은 test의 CDBACC



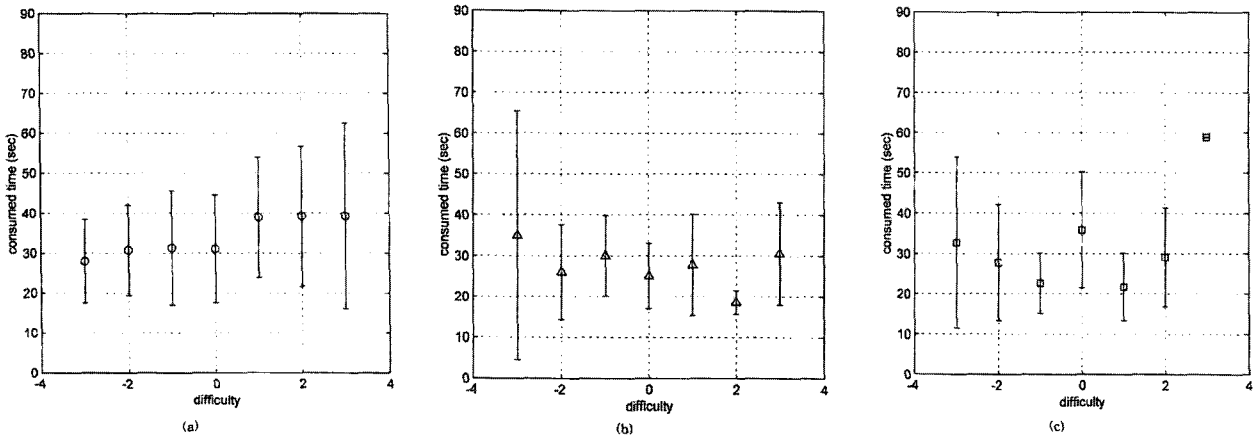


그림 9. 피검사자가 느끼는 검사의 난이도와 검사소요 시간과의 관계. 수직축의 검사소요 시간은 평균값을 중심으로 상하로 표준 편차의 크기를 가지는 error bar 형태로 도시하였다. 난이도 척도: -3 아주 어려운, -2 어려운, -1 약간 어려운, 0 어렵지도 쉽지도 않은, 1 약간 쉬운, 2 쉬운, 3 아주 쉬운. (a) test 3-10, (b) test 11(R), 12(G), 13(B), (c) 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B  
 Fig. 9. Relationship between the difficulty that subjects felt for tests and the consumed time for tests. The consumed time was displayed in forms of the error bar centered at the mean value and extended to both ends by the length of the standard deviation. Difficulty scale: -3 very easy, -2 easy, -1 little easy, 0 neither difficult nor easy, +1 little difficult, +2 difficult, +3 very difficult. (a) test 3-10, (b) test 11(R), 12(G), 13(B), (c) Dr Han's double 15-hue test A and B

가 증가하면 피검사자는 쉽다고 느끼고 있으며, 반대로 CDBACC가 감소하면 어렵다고 느끼고 있음을 보여준다. 흥미롭게도, 각 test의 난이도의 표준 편차는 1.2 정도로 CDBACC 값에 상관없이 거의 일정한 것으로 나타났다. 기본색 배열 검사인 test 11(R), 12(G), 13(B)은 유사한 CDBACC 값을 가지는 test 3-10 사이의 경우보다 상대적으로 어렵다고 느끼는 것으로 나타났다. 특히 청색과 빨간색 배열 검사(test 13, test 11)가 녹색 배열 검사(test 12) 보다 훨씬 어렵다고 응답하였다. 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 B는 유사한 CDBACC 값을 가지는 test 5-6 사이의 경우와 난이도가 유사한 것으로 응답했지만, 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A는 유사한 CDBACC 값을 가지는 test 4 보다 훨씬 어렵다고 응답하였다.

피검사자가 느끼는 검사의 난이도와 색상 배열 오차율 ERCCA와의 관계는 그림 7에서 보여주고 있다. 그림 7에서 ERCCA는 중앙의 평균값과 중앙에서 표준 편차의 크기를 가지는 범위로 도시하였다. 7(a)은 test 3-10의 경우이며, 그림 7b는 RGB 색상 배열 검사 test 11(R), 12(G), 13(B)의 경우이고, 7c는 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B의 경우를 도시하고 있다. 모든 검사에 대해 피검사자는 아주 쉽다(난이도 3)부터 아주 어렵다(난이도 3)까지의 전 범위에 걸쳐 응답하고 있으며, 이는 난이도가 상당히 주관적이며 개인차가 심하다는 것을 암시하는 것으로 이해할 수 있다. test 3-10에서는 난이도가 증가함에 따라, ERCCA의 평균값은 거의 지수 함수적으로 증가하며 표준 편차는 비례적으로 커지고 있음을 보여주고 있다(그림 7a). 반면 RGB test의 경우에는 난이도에 거의 상관없이 피검사자는 20% 이상의 색상 배열 오차율 보이고 있는 반면, 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B에서는 피검사자가 느끼는 난이도와는 상관없이 거의 모든 피검사자는

정확하게 색상을 배열하고 있다.

색상 배열 검사와 소요 시간(consumed time)과의 관계는 그림 8과 9에 요약되어 있다. 그림 8은 CDBACC와 검사소요 시간과의 관계를 보여준다. 수직축의 검사소요 시간은 평균값을 중심으로 상하로 표준 편차 만큼의 크기를 가지는 error bar 형태로 표시하였다. 기호 ○은 test 3-10의 경우, △은 test 11(R), 12(G), 13(B)의 경우, □은 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B 경우의 검사소요 시간 평균값을 의미한다. 그림 8로부터 검사소요 시간은 CDBACC와 명확한 상관성을 보이지 않는 것을 알 수 있다. 다만 소요 시간의 평균값과 표준 편차가 CDBACC가 2-5인 영역, 즉, 색상 배열의 오차율이 급격히 변하는 영역(그림 5)에서 상승하고 있음을 볼 수 있다. 그림 9는 피검사자가 느끼는 검사의 난이도와 검사소요 시간과의 관계를 보여준다. 그림에서 수직축의 검사소요 시간은 평균값(중심)과 표준 편차(중심으로부터 범위)로 도시하였다. 그림 9(a)는 test 3-10에 대한 것으로, 난이도가 0(어렵지도 쉽지도 않은) 이하에서는 소요 시간의 평균값이 30초 정도가 되다가, 난이도가 0이상의 경우에 대해서는 40초로 증가하고 있다. 난이도가 증가함에 따라 검사소요 시간의 표준 편차는 비례적으로 증가하고 있다. 그림 9b는 RGB 색상 배열 검사 test 11(R), 12(G), 13(B)인 경우이고, 그림 9c는 한천석의 2중 15-색상 배열 검사 A와 B의 경우이며, 두 경우 모두 난이도와 검사소요 시간과의 특별한 상관성을 보이지 않고 있다.

토 론

본 연구에서는 13 개의 다중 15-색상 배열 검사(test 3-13)를 도안하여 PC에 구현하였다. test 3-10에서 사용된 15개의 색상은 CIE 색 좌표계의 white reference로부터 일정한 거리

d 만큼 떨어진 궤적을 따라 일정한 색상 차로 15 등분한 좌표로부터 결정하였다. 검사의 난이도는 d 또는 CDBACC 값을 변화함으로써 조절할 수 있고, 본 연구에서는 CDBACC가 0.75 - 14(또는 d가 2 - 40) 사이의 8단계로 변화하는 test 3-10을 구성하였다. 한천석 2중 15-색상 배열 검사 A는 test 4와 유사하며, B는 test 5와 6의 중간 정도의 난이도에 해당하는 것으로 확인되었다. test 11-13은 기본색 식별 능력을 평가하기 위한 것으로, CIE 색 좌표계의 white reference로부터 Red, Blue, Green 축을 따라 일정한 색상 차 CDBACC(6.9 - 7.9)로 14 등분한 좌표로 주어지는 15 색을 이용한다. 기본색 검사 test 11-13에서는 test 3-10 과는 달리 d의 값은 일정하지 않고 white reference로부터 멀어짐에 따라 증가한다. 다중 15-색상 배열 검사 결과는 색상 배열 순서도 CCAD로 도시되며, 색편 배열의 정확성, 즉, 색각 식별 능력은 색상 배열 오차를 ERCCA 값으로 정량화 하였다.

PC에 구현된 다중 15-색상 배열 검사법을 색맹이 아닌 정상인에게 실험한 결과, 인접한 색편의 색상 차 CDBACC 값이 변화함에 따라 피검사자의 색상 배열 오차율이 급격히 변화하는 천이 구간이 존재함을 발견하였다. 그림 5는 CDBACC가 4.5에서 2로 감소하는 동안 RSCACC가 90% 에서 거의 0%로 급격히 감소하고 있음을 보여주고 있다. 이 구간은 색맹이 아닌 정상인의 색상 식별의 천이 구간으로 간주할 수 있으며, 따라서, 정상인이 식별 가능한 최소 색상 차(JNCD: just noticeable color difference)는 2 - 4.5 사이의 값을 갖는다고 추정할 수 있다. 참고로 JNCD를 이용하여 구성한 FM 100-hue test의 색편간의 색상 차 CDBACC는 대부분 2 - 4.5의 범위 내에 있다는 사실은[5] 본 실험 결과와 일치하는 부분으로 아주 흥미 있는 결과라 할 수 있다. 그림 4와 5로부터 피검사자의 JNCD는 ERCCA의 값이 대략 20 %에 해당하는 CDBACC으로 정의할 수 있다. 검사의 난이도를 증가시키면서 즉 CDBACC를 감소시키면서 ERCCA가 20 % 부근에 접근하면 CDBACC를 좀더 작은 간격으로 변화하면서 검사하면, ERCCA가 20 %가 되는 검사의 CDBACC(즉, 피검사자의 JNCD)를 정확히 측정할 수 있다. JNCD는 시력과 유사하게 색력(색각 식별 능력)으로 간주할 수 있으며, 본 연구에서 구성한 다중 15-색상 배열 검사법은 색력 검사를 위해 활용할 수 있다.

기본색의 식별 능력을 검사하는 test 11(R), 12(G), 13(B)의 CDBACC의 값은 JNCD 값 보다 충분히 큰 7 - 8 사이의 값을 가짐에도 불구하고 피검사자는 유사한 CDBACC 값을 가지는 test 3-10에 보다 어렵다고 느끼는 것으로 나타났다(그림 6). 기본색 검사 test 11-13의 ERCCA는 유사한 CDBACC의 값을 가지는 15 색상 배열 검사 test 5에 비해 상당히 높다(그림 4). 더욱 분명하게, 그림 5에서 보여 주는 바와 같이 기본색 검사의 RSCACC값은 20 %이며, test 5의 90 %와 비교하여 매우 낮은 값을 보여 주고 있다. 이러한 원인으로, 첫째, 같은 기본색의 채도 변화만을 식별하는 것이 색상과 채도가 동시에 변화하는 경우보다 더 어렵다는 점과, 둘째로 test 11-13에서 white reference로부터 7 번째 색편부터는 d의 값이 test

3의 40 보다 커지고 있으며, 셋째로, 15번째 색편으로 갈수록 모니터의 색 구현 능력을 초과하는 범위(the range where color is saturated on the PC monitor)에 들어갈 가능성이 높다는 사실을 생각할 수 있다. 만일, CDBACC 값을 줄이고 15번째 색편의 색 좌표가 white reference에 좀더 근접하도록 하면, 모니터의 color saturation으로 인한 문제를 줄일 수 있을 것으로 보인다. 실제로, 기본색 검사 test 11-13에서 색상 배열 오차의 대부분은 색편 7 번 이후에서 발생하고 있는 것으로 나타났다. 향후 기본색 검사는 모니터의 특성을 먼저 파악한 후 색편을 디자인하도록 주의가 요구된다.

본 연구에서 색상 차이 계산을 위해 사용된 CIELAB formula는 실제 물감으로 만든 색편(color pigment)에 적용하는 식이다. 모니터에서 구현된 색의 차이를 정확히 계산하기 위해서는 계산식의 수정(예, 감마 보정, 밝기 보정 등)이 요구된다. 아직 모니터에 구현된 색 차이를 계산하는 보편적인 방법은 없는 것으로 알고 있으며, 향후, 정확한 CDBACC 계산을 위한 연구가 필요하다. 본 연구는 CDBACC 값이 일정한 다중 15-색상 배열 검사법을 PC에 구현하고 유용성을 검증하는 데에 초점을 두고 있으므로 CDBACC 값의 절대적 정확성에 큰 비중을 두지는 않았다. 향후 PC 환경에서 다중 색상 배열 법을 임상적으로 사용하기 위해서는 감마 보정뿐 아니라, 모니터에서 구현된 색편의 광학적인 측정을 통한 캘리브레이션 도구의 개발이 요구된다[1].

본 실험에서는 컴퓨터에 구현된 다중 15-색상 배열 검사법의 feasibility 평가에 주안점을 두었기 때문에 색맹이 아닌 정상인 피검사자에 대한 실험에 국한하였다. 검사 결과의 분석에도 색상 배열 오차율을 정량적으로 표현하는 ERCCA 값을 주로 사용하였다. 색상 배열의 순서도 CCAD의 형태(예, directions and numbers of the transpositional cross-over)로 색각 이상의 유형을 평가[1, 6, 8]하는 부분은 추후 다양한 피검사자 군, 즉, 정상인 또는 색맹 & 색각 이상자 집단, 색 전문가 또는 비전문가에 대한 색상 배열 능력을 평가하는 연구에서 포함할 예정이다. 색상 배열 검사법이 임상적으로 유용하게 사용되기 위해서는, 색편의 크기, 수 및 모양, 그리고 반복 검사로 인한 학습 효과를 줄이는 적절한 검사 프로토콜, 모니터 색의 캘리브레이션, 색 식별 평가 방식(예, paired comparison), 주위 환경의 효과, 색편의 동적 효과 등을 포함한 칼라와 관련된 물리학적, 생리학적, 심리학적 기초 연구가 요구된다. 이러한 연구를 통하여, 현재의 다중 15-색상 배열 검사법을 더욱 개선할 수 있으며, 색각 이상과 관련된 질환을 조기에 진단하는 경제적이고 효율적인 진단기 개발이 가능하리라 생각된다.

## 결론

다중 15-색상 배열 검사를 도안하여 PC에 구현하였다. 15개의 색상은 CIE 색 좌표계의 white reference로부터 일정한 거리 d 만큼 떨어진 궤적을 따라 일정한 색상 차 CDBACC로

14 등분한 15개의 좌표로 결정하였다. 검사의 난이도는 d 또는 CDBACC 값을 변화함으로 조정할 수 있고, 본 연구에서는 CDBACC가 0.75 - 14(또는 d가 2 - 40)까지 8단계로 변화하는 test 3-10을 구성하였다. 또한 기본색(Red, Blue, Green)의 식별 능력을 평가하기 위해 CIE 색 좌표계의 white reference로부터 기본색 축을 따라 일정한 색상 차로 14등분한 좌표로 정의되는 15개의 색편을 이용한 test 11(R), 12(G), 13(B)을 구성하였다. 다중 15·색상 배열 검사 결과는 색상 배열 순서도 CCAD로 도시되며 색편 배열의 오차율 ERCCA로 정량화 하였다. 한천석 2중 15·색상 배열 검사 A는 test 4와 유사하며, B는 test 5와 6의 중간 정도의 난이도에 해당하는 것으로 확인되었다.

PC에서 구현된 다중 15 색상 배열 검사법은 색맹이 아닌 정상인을 대상으로 평가하였고, 정상인의 식별 가능한 최소 색상 차 JNCD는 2 - 4.5 사이의 값을 가지는 것으로 관찰되었다. 한천석 2중 15·색상 배열 검사는 인접한 색편간의 차이 CDBACC가 6 - 12 정도로 정상인의 JNCD 보다 훨씬 크기 때문에 정상인의 초기적인 미세한 색상 이상을 감지하기가 어려운 것으로 나타났다. 개인의 JNCD는 색편 배열의 오차율 ERCCA가 20 %가 되는 부근에서 검사법의 CDBACC 변화를 세밀하게 조정하여 반복 검사를 하면 정확히 측정할 수 있으며, 시력과 유사하게 색력(색각 식별 능력)의 척도로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 색력의 변화는 망막 장애 및 색각 이상을 유발하는 각종 질환(예. diabetes, glaucoma)과 밀접한 관련성이 있으며[2-3], 이러한 질환의 조기 진단을 위해 다중 색상 배열 검사의 활용이 가능할 것으로 보인다. PC 환경에서는 쉽게 다양한 색상 배열 검사의 구성이 가능하고, 자료 처리 및 보관이 용이하기 때문에 향후 본 연구에서 개발된 소프트웨어를 이용하여 경제적이며 임상적으로 유용한 다양한 집단 색각 식별 능력 검사법이 개발될 수 있을 것으로 기대한다.

## REFERENCE

1. W.M. Hart, jr, "Acquired dyschromatopsias", *Surv Ophthalmol*, Vol. 32, No. 1, pp. 10-31, 1987
2. S.J. Tregear, P.J. Knowles, L.G. Ripley and A.G. Casswell, "Chromatic-contrast threshold impairment in diabetes", *Eye*, Vol. 11, Pt. 4, pp. 537-546, 1997
3. J.P. Kelly, S.M. Fourman and L.F. Jindra, "Foveal color and luminance sensitivity losses in glaucoma", *Ophthalmic Surg Lasers*, Vol. 27, No. 3, pp. 179-187, 1996
4. M.J. Kang, S.H. Kang, S.K. Suh, D.H. Shin and J.Y. Lee, "The assessment of acquired Dyschromatopia among organic solvents exposed workers", *Korean J. Preventive Medicine* Vol. 29, No. 3, pp. 529-538, 1996
5. D. Farnsworth, "The Farnsworth Munsell 100 Hue and dichotomous tests for color vision", *J Opt Soc Amer*, Vol. 33, pp. 568-578, 1943
6. C.S. Hahn, "Double 15-hue test", *J. Korean Ophth. Soc.*, Vol. 18, No. 4, pp. 107-111, 1977
7. CIE. Supplement No 2 to CIE publication No 15 (E-1.3.1) 1971/(TC-1.3). Commission Internationale De L'Éclairage, Paris, 1978
8. K. J. Bowman, "A method for quantitative scoring of the Farnsworth panel D-15", *ACTA Ophthalmologica*, Vol. 60, pp. 907-916, 1982
9. B.C. Regan, J.P. Reffin and J.D. Mollon, "Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency", *Vision Res.*, Vol. 34, No. 10, pp. 1279-1299, 1994