

電腦配色系統在彩色熱昇華印表機上的應用

吳瑞卿* 洪聲安**

* 大同大學物理組

** 和新科技有限公司

(收件日期:89年05月14日;接受日期:89年07月26日)

摘要

在紡織工業中,電腦配色原理成功的應用於色彩複製上。一色樣的複製只要透過分光測色儀,測得色樣和色母的基本資料的反射率或 CIEYxy 值,利用 Kubelka-Munk 原理取得此色樣的起始配色配方,再經由電腦修色後,即可完成此色樣的複製。本研究則將此電腦配色原理應用於熱昇華式的彩色印表機,利用熱昇華式的彩色印表機複製 Munsell 色票中明度為 5 的明度色票。實驗結果發現經過兩次的電腦修色,平均色差 $\Delta E_{ab}=3.52$,其中色相 B 的色差最小,平均色差 ΔE_{ab} 為 1.97,色相 YR 的色差最大, ΔE_{ab} 為 5.42。

關鍵詞:

一、前言

由於彩色螢幕及彩色印表機的普及,如何使螢幕所呈現的色彩與印出的色彩一致,是目前各界所期盼的。然而不但有螢幕磷光粉的不同、螢幕映像管的變化,彩色印表機種類的不同等因素外,螢幕與印表機的配色原理及所使用的色彩空間、色域也各不相同,因此要達到螢幕上的色彩與印表機所印出的色彩一致就更加困難[12][13][1]。1996 年各界有鑑於此,成立了 ICC 國際色彩協會,以其改善各設備的不一致性問題[6][5]。此協會以色度學中的 CIEYxy 為各設備的共同語言,分別對螢幕、印表機及其他的輸入設備作色彩校正。目前各界學者、專家也正致力於這方面的研究,如螢幕的校正研究[9]及校正軟體的發展、印表機的色彩特性[2]、不同電腦周邊設備的色域、色貌[7]等研究[8],希望能對各系統色彩的進一步了解,幫助我們達成“所見的即為所要的(What You See Is What You Get)”境界。

目前常用彩色印表機的種類有噴墨及熱昇華式,其中熱昇華式印表機可印出無網點色彩又飽和的色樣,三原色的色帶也十分穩定,且因為印方式是將色帶加熱後,染料擴散到專用紙張上,經由黃色、洋紅和藍青三次列印,得色彩的輸出,所以色彩形成的物理原理與染布色彩形成原理相似。而目前在紡織工業或塗料中,電腦配色原理廣為各界所採用,任何一色樣的複製透過分光測色儀,測得其反射率值或 CIEYxy 值,加上電腦配色軟體,即可得其色料配色配方,複製出此色樣。本研究則將此配色軟體應用於熱昇華式印表機,複製色票,使所印出的即為所

要的色彩，達到 WYSIWYG 的境界。

二、電腦配色理論

色彩的首要因素是光線染料或色料對於不同波長的吸收、反射及散射現象所形成的。由於人類視覺系統的三原色論，因此色彩的複製通常由黃(Y)、洋紅(M)、青(C)所形成，利用不同濃度的三原色色料形成各種色彩。至於複製的準確度常全靠調配師的經驗來決定，但自從 1963 年 Judd 及 Wyszecki 提出 Kubelka-Munk 理論及電腦日益的普及後，電腦配色軟體就成為色彩複製的最大幫手。

2-1 Kubelk-Munk 理論[10]:

Kubelk-Munk 提出某波長的光線由色料的吸收與散射係數的比值與其反射率的關係為

$$(K/S)_\lambda = \frac{(1-R_\lambda)^2}{2R_\lambda} \dots\dots\dots(1)$$

其中 K、S 各為吸收係數及散射係數，R 為反射率。

當色樣由不同濃度的三種色料所形成時，色樣的 K/S 與各色料的濃度 C₁、C₂、C₃ 有關，即

$$K/S = \frac{C_1K_1 + C_2K_2 + C_3K_3 + K_0}{C_1S_1 + C_2S_2 + C_3S_3 + S_0} \quad \text{式中 } K_1、K_2、K_3、K_0 \text{ 為色料或基材的吸收係數， } S_1、S_2、S_3、S_0 \text{ 為色料或基材的散射係數。}$$

但當色料為染料，因為染料顆粒很小，光對染料幾乎無散射作用，散射係數 S₁、S₂、S₃ 趨近於 0，所以

$$F_\lambda = (K/S)_\lambda = \frac{C_1K_{1,\lambda} + C_2K_{2,\lambda} + C_3K_{3,\lambda} + K_{0,\lambda}}{S_0} = C_1F_{1,\lambda} + C_2F_{2,\lambda} + C_3F_{3,\lambda} + F_{0,\lambda} \dots\dots\dots(2)$$

式中 F_{1,λ} = K_{1,λ} / S_{0,λ}, F_{2,λ} = K_{2,λ} / S_{0,λ}, F_{3,λ} = K_{3,λ} / S_{0,λ}、F_{0,λ} = K_{0,λ} / S_{0,λ}，以矩陣表示為

$$[F - F_0] = [C][F_i] \therefore [C] = [F - F_0][F_i]^{-1} \dots\dots\dots(3)$$

因為熱昇華印表機の色樣為三原色 Y、M、C 構成，所以 [C] 為含有三個未知濃度 C₁、C₂、C₃ 的 1*3 的矩陣，[F-F₀] 為 1*3，[F_i]⁻¹ 為 3*3 的矩陣，即為 3 種波長下的值，然而一般的分光測色儀波長範圍為 400nm-700nm，間隔 20nm，共有 16 個不同波長，所以在三波長下的濃度配方 C₁、C₂、C₃ 對於其他波長下卻不一定成立，因此我們常用色彩的三度空間色度座標 CIEXYZ(X, Y, Z)[3]或 CIELab(L, a*, b*)[4]與反射率 R 的關係式以及(1)、(3)式得各色料的濃度 C₁、C₂、C₃，做為電腦配色的起始配方。即

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial C_1} & \frac{\partial X}{\partial C_2} & \frac{\partial X}{\partial C_3} \\ \frac{\partial Y}{\partial C_1} & \frac{\partial Y}{\partial C_2} & \frac{\partial Y}{\partial C_3} \\ \frac{\partial Z}{\partial C_1} & \frac{\partial Z}{\partial C_2} & \frac{\partial Z}{\partial C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{則} \quad \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial C_1} & \frac{\partial X}{\partial C_2} & \frac{\partial X}{\partial C_3} \\ \frac{\partial Y}{\partial C_1} & \frac{\partial Y}{\partial C_2} & \frac{\partial Y}{\partial C_3} \\ \frac{\partial Z}{\partial C_1} & \frac{\partial Z}{\partial C_2} & \frac{\partial Z}{\partial C_3} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

2-2 電腦修色[11]

當所複製的色樣與標準色樣的色差不符合我們所要求時，就必須經過修色計算，調整各色料的濃度值，以達色差最小的結果。

$$\Delta X = \left(\frac{\partial X}{\partial C_1}\right)\Delta C_1 + \left(\frac{\partial X}{\partial C_2}\right)\Delta C_2 + \left(\frac{\partial X}{\partial C_3}\right)\Delta C_3; \Delta Y = \left(\frac{\partial Y}{\partial C_1}\right)\Delta C_1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial C_2}\right)\Delta C_2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial C_3}\right)\Delta C_3$$

$$\Delta Z = \left(\frac{\partial Z}{\partial C_1}\right)\Delta C_1 + \left(\frac{\partial Z}{\partial C_2}\right)\Delta C_2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial C_3}\right)\Delta C_3$$

∨

$$\frac{\partial X}{\partial C_i} = \sum E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \left(\frac{\partial R_{\lambda}}{\partial C_i}\right) = \sum E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \left(\frac{\partial R_{\lambda}}{\partial F_{\lambda}}\right) \left(\frac{\partial F_{\lambda}}{\partial C_i}\right)$$

同理

$$\frac{\partial Y}{\partial C_i} = \sum E_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \left(\frac{\partial R_{\lambda}}{\partial C_i}\right) = \sum E_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \left(\frac{\partial R_{\lambda}}{\partial F_{\lambda}}\right) \left(\frac{\partial F_{\lambda}}{\partial C_i}\right)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_i} = \sum E_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \left(\frac{\partial R_{\lambda}}{\partial C_i}\right) = \sum E_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \left(\frac{\partial R_{\lambda}}{\partial F_{\lambda}}\right) \left(\frac{\partial F_{\lambda}}{\partial C_i}\right)$$

加上式(1)(2)可得

$$\Delta C_1 = \left(\frac{\partial C_1}{\partial X}\right)\Delta X + \left(\frac{\partial C_1}{\partial Y}\right)\Delta Y + \left(\frac{\partial C_1}{\partial Z}\right)\Delta Z; \Delta C_2 = \left(\frac{\partial C_2}{\partial X}\right)\Delta X + \left(\frac{\partial C_2}{\partial Y}\right)\Delta Y + \left(\frac{\partial C_2}{\partial Z}\right)\Delta Z$$

$$\Delta C_3 = \left(\frac{\partial C_3}{\partial X}\right)\Delta X + \left(\frac{\partial C_3}{\partial Y}\right)\Delta Y + \left(\frac{\partial C_3}{\partial Z}\right)\Delta Z$$

三、實驗步驟

本研究以複製常用的 Munsell 色票為目的，因此我們選用 Macbeth 所出版的 Munsell Book Of Color, (Glossy Finish collection) 中明度 V=5 的 11 明度色票，即 2.5BG5/2, 2.5BG5/4, ..., 5BG5/2, 5BG5/4, ..., 10G5/10 等共 220 張色票為標準色票，我們稱為標準色票組 ST，分別用分光測色儀 ColorEye3100 測色，得 D65 光源下的 CIELab 色度座標，以便與用彩色熱昇華印表機 AlpsMD1300 列印出的複製色票比較。另外，為了建立電腦配色軟體的基礎資料，並進一步了解熱昇華印表機三原色的特性，我們用印表機列印出不同濃度的三原色 Y、M、C 單色及中性色色塊，每一色由低到高的濃度遞增，共分 16 階，如 Y1, Y2, Y3, ..., Y16; M1, M2, ..., M16; C1, C2, ..., C16; N1, N2, ..., N16 共 64 色，分別用分光測色儀測色，做為基礎資料，再使用電腦配色軟體得每一標準色票的各原色的起始濃度配方，列印出第一次配方的複製色票組 I (220 色)，測色後計算與標準色票組的色差 ΔE_{ab} ，再經電腦配色軟體修色後列印。本實驗經電腦配色軟體修色兩次列印測色，分別稱為複製色票組 II、複製色票組 III (共 440 色)。最後探討 ALPS 熱昇華印表機三原色的特性，且比較討論標準色票組與起始配方的複製色票組 I、第一次修色的複製色票組 II、第二次修色的複製色票組 III 的色差值。流程圖如圖 1 所示。

四、結果及討論

我們就熱昇華印表機三原色 Y、M、C、中性色的特性，以及所複製出的色票與標準色票間的色差兩部分來探討。

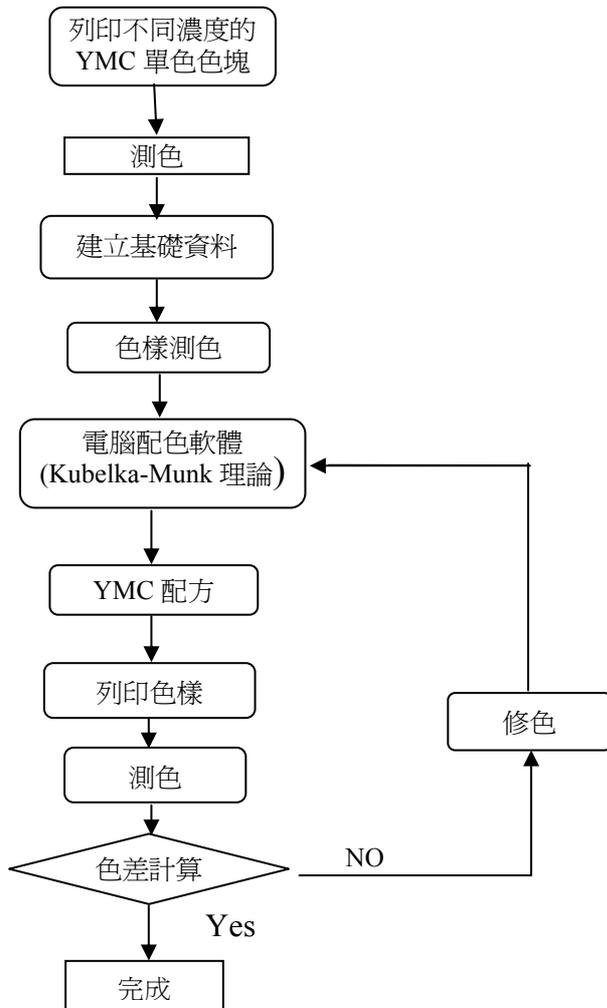


圖 1 實驗流程圖

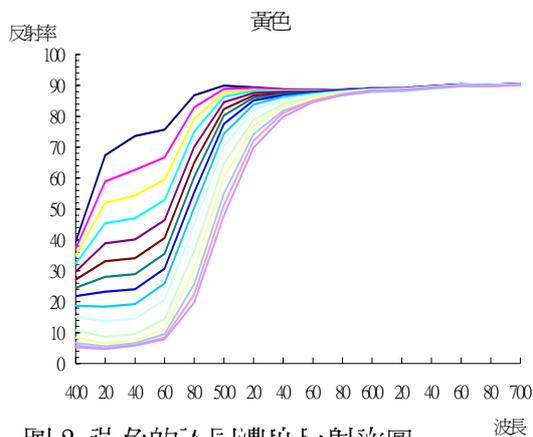


圖 2 黃色的不同濃度反射率圖

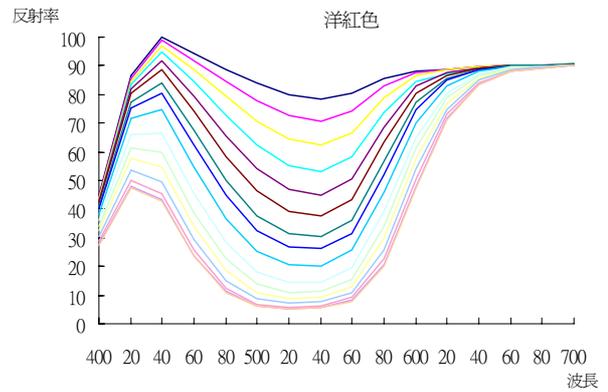


圖 3 洋紅色的不同濃度反射率圖

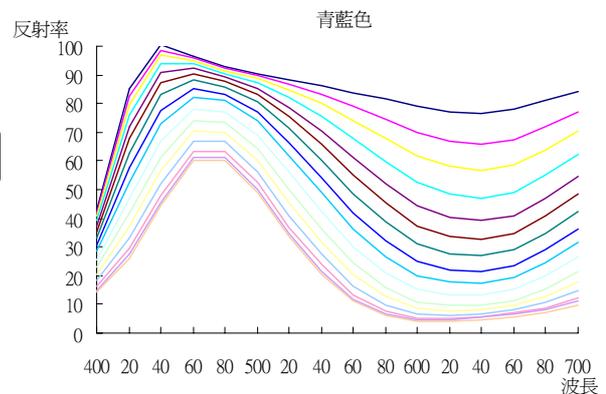


圖 4 青藍色的不同濃度反射率圖

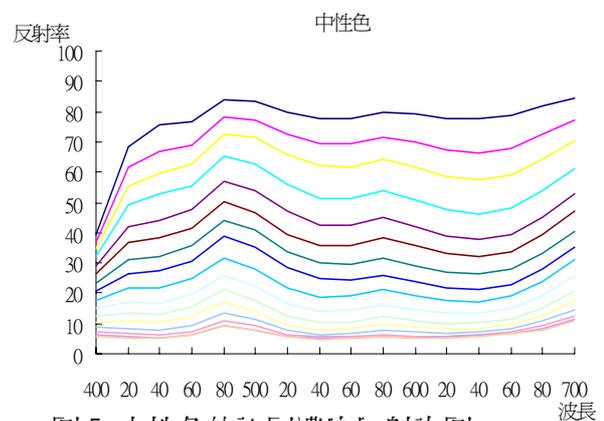


圖 5 中性色的不同濃度反射率圖

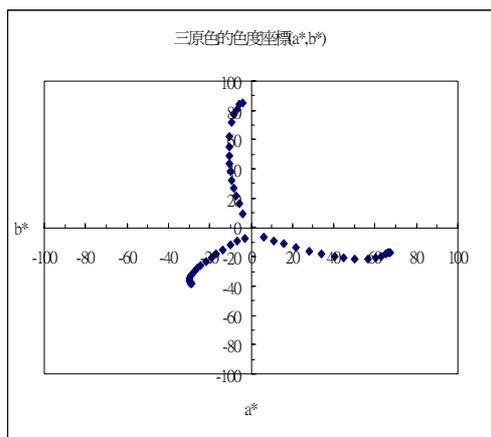


圖 6 三原色色度圖

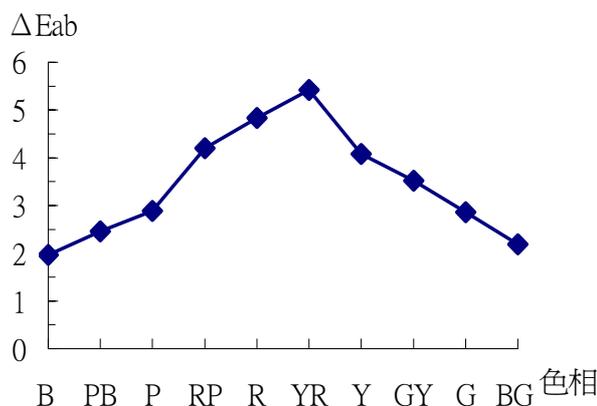


圖 7 各色相的平均色差 ΔEab

表 1 不同彩度各色相的平均色差值

彩度	2	4	6	8	10	12	14	16
B	2.17	2.34	2.54	1.87	1.01	1.67		
PB	2.81	2.40	2.18	2.94	2.56	1.30		
P	2.04	2.34	2.64	3.32	3.81	4.09		
RP	4.06	2.89	4.42	6.89	5.01	3.28	1.53	
R	6.28	6.19	8.76	7.69	2.48	2.12	1.66	2.27
YR	5.59	3.73	6.08	5.34	6.23	5.52	5.74	
Y	4.61	3.47	2.13	6.10				
GY	4.10	1.96	2.11	3.53	5.37	7.39		
G	4.30	2.61	2.44	2.45	2.72	1.88		
BG	2.37	2.64	2.13	1.70	2.10			

4-1 熱昇華印表機三原色

圖 2—圖 5 為不同濃度的黃色、洋紅、青色及中性色的反射率圖，圖中的曲線由上向下濃度如 Y1, Y2, Y3...Y16 依序遞增。由圖可知在一定的波長下，反射率值的大小隨濃度的增加而減少，彩度卻隨之增加。不同濃度的反射率間距並不均勻，尤其是高濃度時，間距越小，由此可看出反射率與濃度不完全成正比關係。在青色色的反射率圖中可看出 480-520nm 的反射率稍偏大，略偏藍色。圖 6 為不同濃度的三原色色度座標 a*, b* 圖，圖中可看出三原色在高濃度時，彩度變高，但色相卻略為改變，其中以青色(cyan)較穩定。而不同濃度間的色間距並不均勻，尤其是高濃度之處，彩度變化較小。其中以青色最明顯，且青色所可達到的彩度也最小。

4-2 標準色票與複製色票的比較

分別比較標準色票組 ST 與起始配方的複製色票組 I、第一修色的複製色票組 II、第二次修色的複製色票組 III 的色差值 ΔE_{ab} ，所有色票的平均色差 ΔE_{ab} (色票組 I - ST)=10.04， ΔE_{ab} (色票組 II - ST)=4.03， ΔE_{ab} (色票組 III - ST)=3.48，複製色票組 II 的色差遠比複製色票組 I 小

很多，但複製色票組 III 的色差卻與複製色票組 II 差不多，所以就電腦修色而言，經過兩次的修色後，想利用再次的電腦修色來降低色差值，其效果並不大。因此我們將經電腦修色兩次的結果的複製色票組 III，做為電腦配色的最後複製的結果。

4-2-1 複製色票的色差與彩度的關係：

不同的三原色所製造的色票之色域各有不同，而印表機只有固定的一組三原色 Y、M、C，所能列印的色域有限，因此，若標準色票的色樣超過印表機的可印範圍，其色差必定較大。表 1 為各色相中彩度相同的色票色差平均值，然而由表中看出對於大部分的色系而言，高彩度的色差沒有明顯的偏大，所以就明度為 5 的色票而言，大部分的色票沒有超過 ALPS 的熱昇華印表機的色域範圍外，所以其色差的造成原因不是色域所造成的；不過就少數的色票如色相 Y、GY，彩度高的色差有偏大的傾向，所以對於色相 Y、GY 系的色票其色差造成的原因有可能是色域的原因。

4-2-2. 複製色票的色差與色相的關係：

為了解複製色票的色差與色相的關係，計算各色相的平均色差值。以 Munsell 的色相環的順序為橫軸，色相系的平均色差 ΔE_{ab} 為縱軸作圖(圖 7)發現，色相 YR 的色票平均色差最大， $\Delta E_{ab}=5.42$ ，人眼可識別出其不同；依序向兩邊的色相對稱性的漸減，直到對邊色相 B，其色差最小， $\Delta E_{ab}=1.97$ ，人眼無法明顯的察覺出其差異。由此可知藍色系的複製較容易，而黃色系較難，其原因可能是黃色的反射率區在 480nm-520nm 間較為陡，因此，黃色配方的濃度誤差會明顯的使此段的反射率產生誤差，影響色樣的色差也相對較大，反之，青色的反射率較為平滑，青色配方的誤差影響色樣的色差就相對較小。

三、結論

本論文由於熱昇華彩色印表機的色彩成色原理與染料成色原理相近，因此嘗試利用紡織界的電腦配色軟體應用於 ALPS2100 的熱昇華印表機，藉以複製 Munsell 色票。本實驗選用中明度色票 V=5 為我們的標準色樣，結果發現，色相 B 的色票複製得較成功，平均色差值為 1.97，色相 YR 的效果較差，平均色差值為 5.42。為了進一步了解所有色票複製的成果，計算不同範圍 ΔE_{ab} 的累計色票個數及累計百分率，如表 2。由表 2 中可以看出，在複製的色票中 50% 的色差值 <3 ，而 87% 的色差值 <6 ，由此可推論電腦配色理論於熱昇華印表機上的應用有不錯的成果。因為對於彩色印表機的複製而言，彩色印表機的三原色為固定的一組 ALPS 公司提供 Y、M、C 三原色色帶，不像工業界所使用的三原色可就所複製的色票選用適當得三原色，因此可複製出如此的成果，已屬不錯。若再進一步作某些色相局部的修正，相信會有更好的結果。

表 2 不同 ΔE_{ab} 的累計個數及百分率

ΔE_{ab}	<2	<3	<4	<5	<6	其他
累計個數	60	111	154	175	191	29
累計百分率	27%	50%	70%	80%	87%	13%

參考文獻

1. 陳君彥, 劉元德, 1997.3, "光資訊色彩管理", <<光學工程, 第 57 期>>, 中華民國光學工程學會, 新竹, pp.29-36.
2. C. de M. Bezerra, C.J. Hawkyard, H.M. Kulube, S. Reyner, 1998, Feb., "Colour Matching for Ink-Jet Prints on Paper", Col. Res. And app. Vol.23, No.1, pp18-26
3. Gunter Wyszecki, 1982, W. S, Stiles, Color Science, 2nd Edition, John Wiley & Sons, pp.157-158.
4. Gunter Wyszecki, 1982, W. S, Stiles, Color Science, 2nd Edition, John Wiley & Sons, pp.166-169.
5. "Image Color Management (IMC) for Microsoft Windows" ,
<http://www.microsoft.com/windows/platform/colomgmt.htm>
6. Michael Has, Todd Newman, "Color Management : Current Practice and The Adoption of a new Standard", <http://www.color.org/wpaper1.html>
7. M.R. Luo, R.W.G. Hunt. 1998, June, "The structure of the CIE 1997 Color Appearance Model(CIECAM97s)", Col. Res. And app. Vol.23, No.3, pp.138-146
8. Mei-Chun Lo, M.Ronnier Luo Peter A. Rhodes, 1996, Aug. "Evaluating Color Models' Performance between Monitor and Print Images", Col. Res. And app. Vol.21, No.4, pp.277-291
9. Roy S. Berns, Ricardo J. Motta, Mark E. Gorzynski, 1993, Oct., "CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice", Col. Res. And app. Vol.18, No.5, pp299-314
10. Roderick McDonald, 1987, Colour physics for industry, Society of Dyers and Colourists, pp116-121
11. Roderick McDonald, 1987, Colour physics for industry, Society of Dyers and Colourists, pp124-130
12. Todd Newman, "Improved Color for the World Wide Web: A Case Study in Color Management for Distributed Digital Media", <http://www.color.org/wpaper2.html>
13. Tim Kohler, "ICC Achievements and Challenges", <http://www.color.org/iccach1.html>

The Application of the Computer Match System on the Color Sublimation Printer

Ray-Chin Wu * Drew-An Horng **

* Physics section of Tatung University

** Mbs color research & service

(Date Received : September 07,2000 ; Date Accepted : July 26,2000)

Abstract

In the textile industry, computer match prediction is successfully applied in the color reproduction. Based on Kubelka-Munk theorem , we predict the recipes of the samples from their reflection of samples and primary dyes we choose. We modify the recipes through the computer calculation in order to obtain the more accurate color reproductions. In this paper, we applied this method on the sublimation color printer. We reproduced the Munsell chips with a value at five ($V=5$) using the sublimation printer. From the result of the experiments, we found the average color difference is 3.52 ($\Delta E_{ab}=3.52$). The average color difference of the hue B chips is the minimum (at 1.97) and that of the hue YR is the maximum (at 5.42)