

紡織印花設計品質之再現性研究

張輔玲* 管倖生* 江瑞璋**

*國立雲林科技大學設計學研究所

**國立臺灣科技大學應用科技研究所

摘 要

本研究以紡織印花設計之品質再現性為探討目的，透過實驗設計法，進行紡織用測試導表設計與搭配不同配方塗布紙，經數位噴墨印花及熱昇華轉印布料顯色後，評量印花設計在成品布上的再現效果。本研究採用臺灣自行研發熱昇華轉印紙塗布配方，以碳酸鈣 (CaCO_3)、二氧化矽 (SiO_2)、滑石粉 (Talc)、臺灣絹雲母 (Sericite) 及上述 4 項顏料調配之 10 款配方，以本文作者所提出，專利申請中紡織專用測試導表之視覺元素與量測訊息為判別依據。研究結果如下：1. 測試導表之視覺元素區，在目測條件下，印花設計特性 (流暢性、尖銳性、穩定性、安定度)，具顯著性影響成品布印花效果之優劣性。2. 色彩品質與塗布配方具有正向影響關係。3. 依原紙與不同配方塗布紙之吸墨性能表現為配方 6 ($\text{CaCO}_3/\text{Talc}$) > 配方 4 (Sericite) > 配方 2 (SiO_2)，轉墨率性能表現為配方 5 ($\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$) > 配方 9 ($\text{SiO}_2/\text{Sericite}$) > 配方 10 (Talc/ Sericite)。

關鍵詞：印花設計、數位噴墨印花、紡織品數位測試導表、塗布紙

I. 緒 論

1.1 研究背景與動機

1990年代初，紡織品印花以數位式發展迅速，將影像與設計圖真實且快速呈現在不同的布料上，並廣泛運用在零售業與品牌推廣之視覺傳達，如旗幟、標語等用途。數位噴墨印花製程的發明 (Ujiie, 2002) 使紡織品更接近原創設計，近年來並更進一步展開研究在不同類型的印花圖案時，如何解決設計再現性與輸出品質控制的問題，數位噴墨印花的研究多著重於紡織科技發展趨勢 (Provost, 1994)、數位印花工程技術品質探討 (Dehghani, Jahanshah, Borman, Dennis, and Wang, 2004)，若以測試導表在紡織品數位噴墨印花品質研究，仍然較缺乏實證性的研究觀點。

紡織品印花製程是一項龐大而複雜的流程，布料自天然棉花或合成纖維，都有其適用的染料與配方，以各種化學或物理方法，達到對洗滌、磨損和色差等品質要求。而在紡織品印花數位化過程中自設計打樣階段到量產品質都與色彩再現性有顯著的影響關係 (Collier, Bide, and Tortora, 2009)。布料以不同支數的經緯紗線所組成，表面呈現凹凸與不平滑狀態，染料通過精密的噴墨系統，形成微滴墨噴印在紙張表面，再經過熱昇華轉印在布料上，並影響印花圖案的清晰性和銳利度品質 (Luedtke, Gao, and Landman,

2011)。

在數位噴墨印花輸出品質研究結果中，染料特性與布料組織都具影響布料的輸出效果 (郭文貴, 胡郁鑫, 2006)。紡織品印花數位品質管制 (張輔玲, 管倖生, 2011)，對於結合多項工業技術而成的數位噴墨印花而言，工序冗長、影響品質變異眾多因素下，更需精確達到印花設計再現性。

國際間發表多種紙張印刷品質控制測試導表 (Altona, FOGRA, R.I.T., BRUNNER, GATF, GRACoL, XRite (GretabMacbeth))，目的均為使印刷品能在管制範圍內，快速獲得其超出管制範圍的因素分析，進而達到一致性品質管制，因此具備預防功能的測試導表，能在印花問題未發生前，幫助操作條件設定，以達最佳設計品質再現效果 (財團法人印刷工業技術研究中心, 2012)。本研究以紡織品專用特定目的而設計，分為量測系統與視覺元素，藉以探討紡織品印花設計之再現性。

1.2 研究目的

本研究重點有別於紙張印刷品質控制之評量方法，嘗試以紡織品專用測試導表的研究取向，以呈現在布料上的印花品質，進行實證性研究。透過研究目的的實證，主要達成建立紡織品印花設計與布料品質產生一致性結果；但對於在評量任務時，測試導表的訊息設計，亦為必須驗證的重

點。透過上述研究目的，本研究所得成果除可提供紡織品印花設計的品質測試另一項可靠的評量方法，同時，也可提供工業界作為實用、易判別與數位化的原則，使紡織品進行數位噴墨印花時，能在品質管制範疇內，迅速獲得超出管制範圍的因素回饋，提升紡織品印花設計品質之再現性。

II. 文獻回顧與相關研究

本研究主要探討紡織品印花設計之品質再現性，故針對數位噴墨印花原理、數位測試導表及相關文獻蒐集與探討。

2.1 數位噴墨印花原理

數位噴墨印花結合噴墨設備、墨水、布料前後製程等，以荷蘭Stork公司 (1994) 為技術先驅。噴墨原理以微奈米墨滴在特定位置，噴印在布料或轉印紙上，以計算機控制設定在需要出現圖案處，供應墨水到材料表面 (HP Co., 2010)。壓電式噴頭以在壓電材料上加上電位，壓電材料在電場方向壓縮、垂直方向膨脹，使染料形成微滴墨噴印出 (Epson Co., 2000)，微小且噴印位置精準的墨滴，無論噴印在表面不平滑、凹凸布料或熱昇華轉印紙張上，均能表現出印花圖案的清晰性，因此這項技術多應用在紡織品領域 (Mimaki Co., 2012)。

紡織品布料使用的墨水，分為染料和顏料兩種類型，顏色以青色 (Cyan)、洋紅 (Magenta)、黃色 (Yellow) 和黑色 (Black)，通稱CMYK四色 (J-TECK Co., 2006)，纖維經紡紗、織布後，表面含有漿料或助劑等成分，噴印前製程將布料去除表面不純物，再針對不同布料特性處理，以提供布料的最佳特性 (如表1所示)。完成數位噴墨印花的布料，需經過熱昇華後製程：1. 固色—使染料和纖維產生鍵結，以汽蒸 (攝氏102-110度) 或乾熱 (攝氏180-200度)，在最佳時間條件下，使染料與纖維完成鍵結反應。2. 水洗—去除布料上殘留的不純物 (漿料、染料及其他助劑)，為符合各項品質堅牢度標準，一般在攝氏85度高溫下反覆水洗，直到洗滌水呈現無色。3. 整理加工—賦予材料特殊手感及機能性，如柔軟、涼爽等。數位噴墨印花以數位方式控制印花作業，可預先排除印花過程產生的品質瑕疵，更符合環

保清潔生產，程序為：1. 經過前製程處理布料、2. 上漿、3. 印花設計、4. 數位化色彩控制、5. 數位噴墨印花、6. 固色與水洗、7. 整理加工、8. 成品 (廖盛焜, 陳活源, 賴政佑, 2012)。

2.2 數位測試導表應用

以往關於測試導表多以印刷品為基礎，以生產條件的品質控制為主，且大多數的研究在探討紙張和導表的使用關係 (張世錫, 2001; 江瑞璋, 2002, 2007; 曾正源, 2007)，而紡織品專用的測試導表較缺乏實證性研究。依據Altona Test Suite (2012) 提出測試導表應為電子檔案型態，可隨時在數位工作流程上快速使用，並達到品質管控目的，其尺寸應是沒有限制。本研究以紡織品數位測試導表進行樣張分析，依據布料幅寬設計，將合適的導表尺寸同時置入版面，藉由導表內的量測系統與視覺元素設計，快速評量印花設計之布料再現品質 (參見圖1)，本測試導表於2013年中華民國發明專利申請中。

2.3 數位測試導表之設計元素

數位控制測試導表之量測系統與視覺元素設計，許多著重在數位影像色彩複製的研究，除專業之印刷學理論基礎外，測試導表的設計應用MTF頻率轉換函數理論 (Modulate Transfer Function)，以目測判斷之線條式印刷控制測試標，如蠕印、雙影、解析度與曝光等，使用傅利葉合成與分析 (Fourier Synthatic and Analysis)，並以此做為輸出系統複製能力之評估依據，此一理論廣泛應用在影像解析度研究。心理物理學 (Psychophysics) 探討層面為使用儀器測量物體所得之物理特性數據與人眼視覺反應之關係，而在紡織品數位噴墨印花領域，以印花設計測試樣張 (Test Form) 的印花圖案設計，探討印花布料之成品效果品質 (Chang and Guan, 2011)，目前工業界決定印花品質優劣，多經由主觀經驗判斷，故輔以客觀的科學數據，及運用心理、物理學的論點，來建立評量印花品質再現性，為因應數位化趨勢所必需。

隨著數位化製程應用成熟，Postscript程式語言為設計測試導表重要的量測工具 (李彥儒, 2011)，使用Postscript程式設

表1 數位噴墨印花墨水與前後製程分類

種類	染料			顏料
	反應性	酸性	直接性	
布料	棉、麻、嫫縲、羊毛、蠶絲	尼龍、羊毛、蠶絲	聚脂纖維	無限
前製程	1. 低溫燒除胚布表面棉絮 2. 去除包覆紗線漿料 3. 漂白、含浸使胚布光澤	1. 去除油脂、蠶絲膠 2. 去除助劑、鬆弛加工 3. 胚布熱風定型	1. 去除助劑 2. 鬆弛加工 3. 胚布熱風定型	無
後製程	固色、水洗、整理加工			攝氏 180-200 度熱昇華轉移 無

資料來源：本研究整理



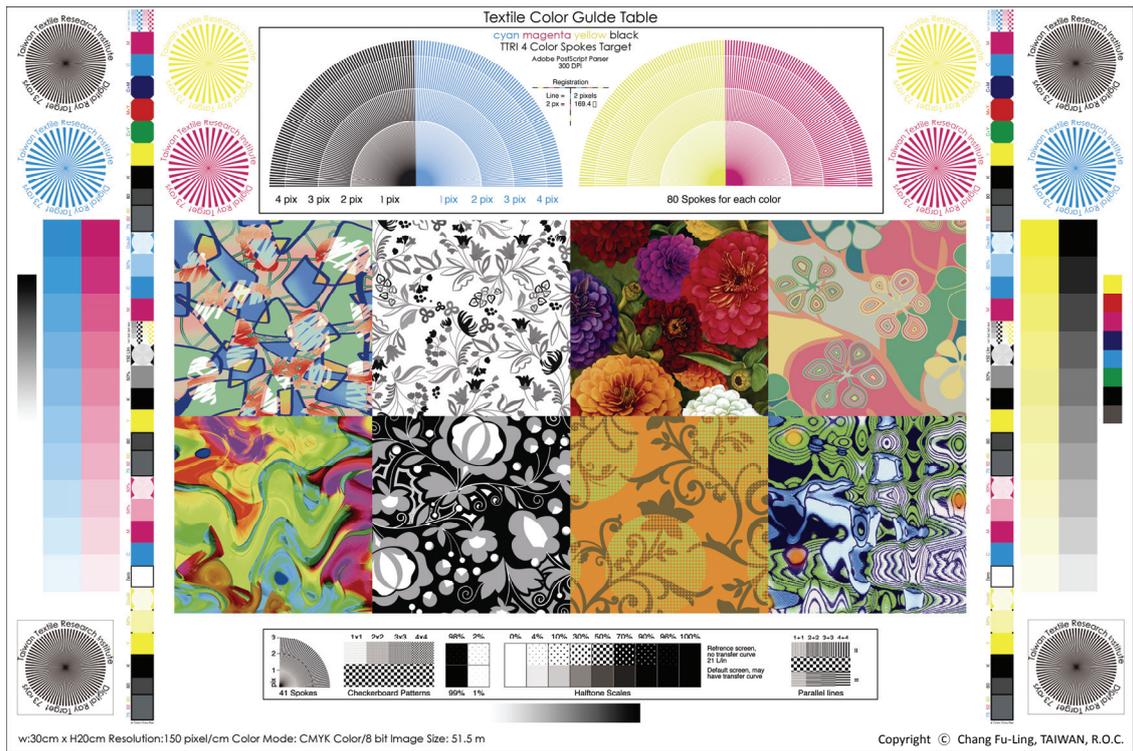


圖1 紡織品數位測試導表

計，雖可經由套裝繪圖軟體程式產生，但非適用於紡織品專用，故需參考布料經緯紗的組織與密度做調整的量測系統與視覺元素訊息設計，並依幅寬排列，以符合數位控制精確度。

透過以上視覺元素設計及技術研究發現，數位式測試導表對於數位印花品質具判斷影響性。本研究以紡織品特性之測試導表設計，搭配聚酯纖維布料，進行數位噴墨印花及熱昇華轉印製程，實證性研究對於紡織印花設計品質之再現性關係。

III. 研究設計

本研究首先以實驗設計法，進行紡織品測試導表之量測系統與視覺訊息設計，將其經過數位噴墨印花及熱昇華轉印布料顯色後，進行印花設計之品質再現性評量。整個研究流程與評量任務，包含測試導表訊息設計、數位噴墨印花製程、與品質評量分析等步驟（如圖2所示）。

3.1 實驗設備與材料

3.1.1 數位噴墨印花設備

數位噴墨印花製程進行中，為保持原物料品質安定性，操作環境設定室溫24℃，熱昇華紙張輸出設備以Epson Stylus Pro 7880主機，輸出條件設定包含以下參數條件：720dpi單向8色頭、Dithering: Smart Diffusion、Resolution: 720dpi、

Density Adjustment: EPSON 7880-720 Dpi.Dns、Printer Profile: EPSON7880.icm、Total Ink Limit: 300%，以分散性染料搭配色彩RIP軟體：TexPrint RIP Version14，使用連續式熱昇華轉印設備Monti Antonio MOD 75T，溫度210℃/轉速1.1M/mm，將印花圖案熱昇華轉印在布料上（如圖3）。

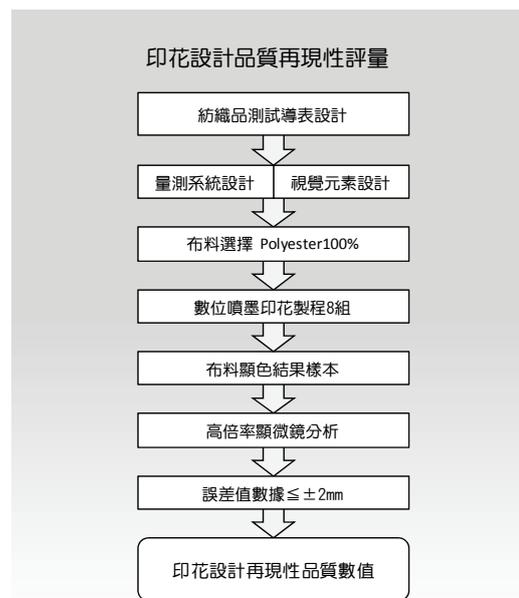


圖2 研究流程



Epson Stylus Pro 7880
Epson數位噴印機



J-teck sublimation inks
J-teck分散性染料



TexPrint RIP
色彩校正軟體



Monti Antonio MOD 75T
熱昇華轉印設備

圖片資料來源：<http://www.epson.com>；<http://www.ergosoft.com>；<http://www.montiantonio.it>；<http://www.j-teckusa.com/>

圖3 數位噴墨印花製程設備



X-Rite® SpectroEye Spectrophotometer
反射式濃度計



GMG® PrintControl and RapidCheck
輸出控制軟體



X-Rite® MeasureTool
濃度值量測軟體



500X Series Digital Microscope
PATTERN LISTED
ZL2007 2 0139634.0
ZL2007 3 0001934.8
數位顯微鏡

圖片資料來源：<http://www.xrite.com/>；<http://www.gmgcolor.com/english/>；<http://www.hksolder.com>

圖4 實驗量測設備與軟體

3.1.2 實驗量測儀器與軟體

此部分為評量經熱昇華轉印在布料上的結果。量測儀器使用 X-Rite® SpectroEye Spectrophotometer 反射式濃度計，紡織品數位噴墨印花輸出設備，進行特性化校正，使用 GMG® PrintControl and RapidCheck，及 X-Rite® MeasureTool 建立色彩描述檔與濃度值分析，色溫設定 Spectrum CIELAB 6,500k，布料表面量測角度 10°，密度設定 Density: Status E，同時，使用 500 倍數位顯微鏡，解析度 1600x1200dpi，拍攝轉印在布料上印花品質效果，做為評量印花品質精度誤差之依據 (如圖4)。

3.2 測試導表設計與名詞解釋

國際標準組織 (ISO) 自 1997 年開始，訂定不同版本的標準影像，主要提供影像輸出裝置 (例如：印表機、印刷機、顯示器、投影機等) 於呈現影像或影像複製任務時，判斷其影像複製結果的參考標準 (管倖生, 蔡政旻, 2010)，其應用領域包含印刷出版、數位影像處理及影像輸出與複製等範圍，對於評量紡織印花品質等議題，尚未訂定專用之圖檔規範。有鑒於國際標準組織 (ISO) 訂定的標準影像條件，與印刷品量測控制導表，需具備高解析度、電子化與精準度之特性，為考量實驗內容之複製性與可被驗證的前提下，本研究以布料再現性結果，為視覺元素設計前提之

紡織測試導表為主。

測試導表之訊息設計區分為 6 部分，如圖 5，解釋如下，第 1 部分視覺元素—印花圖案區 (Textile Pattern)，以布料結構為基礎，線條、色塊所組成視覺元素訊息之測試圖案，檢測印花設計在布料上的品質，包含評量流暢度以混合性與漸層性圖案、尖銳度以精細線條與弧線、穩定度以滿版與點線面、安定度以色塊與不規則色塊。第 2 部分色版階調控制區 (CMYK Gradation Wedge)，由數位噴墨印出 4 色版 CMYK 階調所組成，共有 4 條，評量色彩表現深淺層次的訊號，藉以分析各項色版在深淺能力的表現，是否符合原稿設計再現。第 3 部分數位製程訊息區 (Digital Process Wedge)，評量數位噴墨設備的輸出及打樣能力，包括 41 條輻射線、基本點形狀檢查區、小網點區、網點階調區、平行線區、漸層區。第 4 部分雙影區 (Doubling)，以 4 色版 CMYK 所組成、由內向外輻射狀的圓形，左右平均排列在測試導表上方，K 於下方左右排列，評量是否在印花過程中，產生水平或垂直方向之震動影響及精細度。第 5 部分扇形區 (Resolution and Registration)，以 4 色版 CMYK 由 1 pixel、2 pixel、3 pixel、4 pixel 雷射點所組成的線條，評量輸出設備對位精準度及解析能力。第 6 部分量測系統—彩色導表區 (Color Bar)，由 4 色版 CMYK 訊號組合而成，提供色彩面積樣本，使用儀器量測濃度值等數據。



1. 印花圖案區 (Textile Pattern)

印花圖案訊息設計分為3階段，即準備、設計與修整階段。準備階段以印花生產後製程條件為基準，搭配不同印花方式、量產製程、尺寸排列、染料性質、布料特性等對應條件 (如表2)。設計階段以主要印花圖案主題，為結構設計與

組織排列，並輔以造型與色彩配置，技法以手繪方法搭配電腦繪圖軟體完成，評量設計品質再現性，以1:1雷射底片校正尺 (Calibration Ruler)，進行成品布料量測分析 (參見圖6) 修整階段為印花圖案初稿設計完成後，主要修整工作在整體檢查和修飾，檢視版面是否產生斜檔或空檔，是否

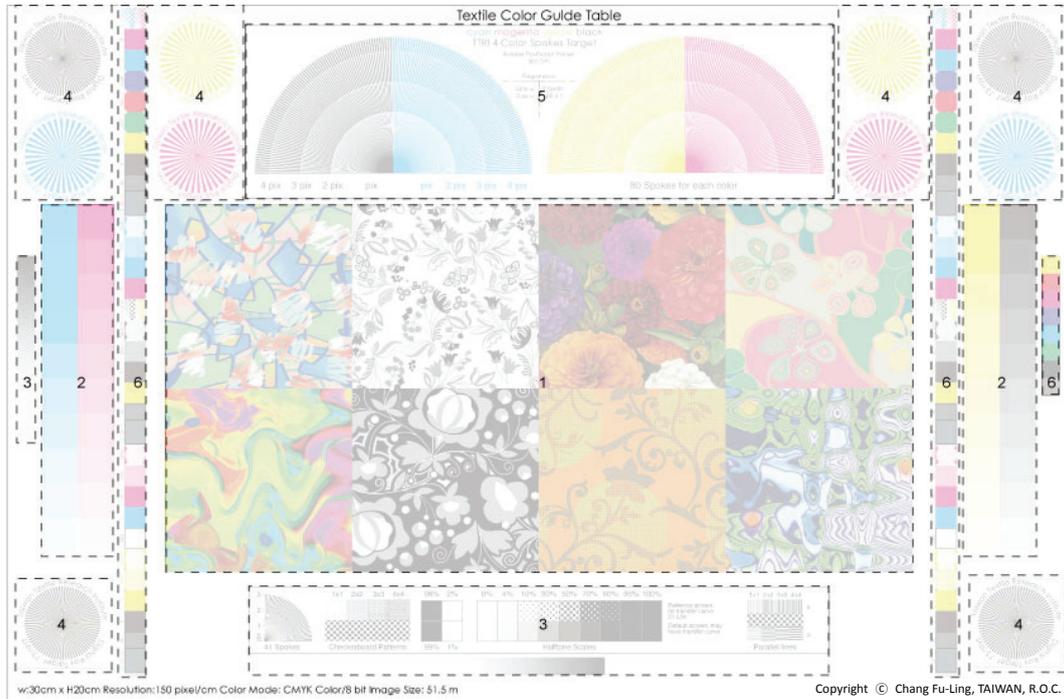


圖5 紡織數位測試導表架構

表2 印花圖案訊息設計與製程分類對應表

設計主題	印花方式	量產	尺寸與排列	染料性質
色塊、線條、影像、漸層	數位印花	1/1 跳接橫向/直向	Top 15"	反應、酸性
	平版、圓網	1/2 跳接橫向/直向	Top 60"	分散、顏料
		1/3 跳接橫向/直向		

表3 8款印花圖案訊息設計分類與評量品質分類對應性

(1) 流暢度 混合性圖案	(2) 流暢度 漸層性圖案	(3) 尖銳度 精細線條	(4) 尖銳度 弧線線條
(5) 穩定性 滿版圖案	(6) 穩定性 點線面圖案	(7) 安定度 弧度色塊	(8) 安定度 不規則色塊

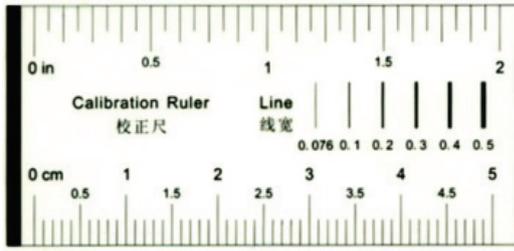


圖6 1:1雷射底片校正尺 Calibration Rule

與量產製程有抵觸，如對花不準、漏花、多花、輪廓不清、分色不明等現象，以評量印花品質之優劣性（參見表3）。

2. 色版階調控制區 (CMYK Gradation Wedge)

階調是色彩表現深淺層次的訊息，為評量各色版在表現深淺層次的的能力，是否在色彩品質控制範圍內，經由數位噴墨印花製程，輸出各色版的階調色塊後，使用標準儀器量測階調的濃度值，所得曲線參數作為色彩修正依據。如階調色塊上有3個位置，以網點百分比來表示階調的深淺度，由左至右分別為100%、50%、0% (如圖7)，另以X軸為印花圖檔上的網點面積，Y軸為印製後量測所得到的網點面積 (如圖8)，50%網點在印製結果顯示色彩較重，網點面積會達到70%的階調表現 (如表4)，為評量影響印花品質色彩再現性，使用網點擴大曲線圖 (DG: Dot Gain Curve)、或稱階調增加曲線圖 (TVI: Tone Value Increase)，將50%—70%印後量測的網點面積及20%之網點擴大率，以曲線圖表示 (如圖9)。色彩的階調曲線，決定染料在布料上反應的層次效果，階調曲線呈拋物線越顯著，印花圖案的漸層品質越佳。

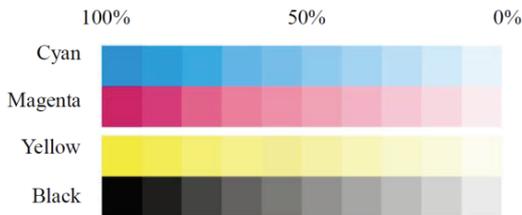
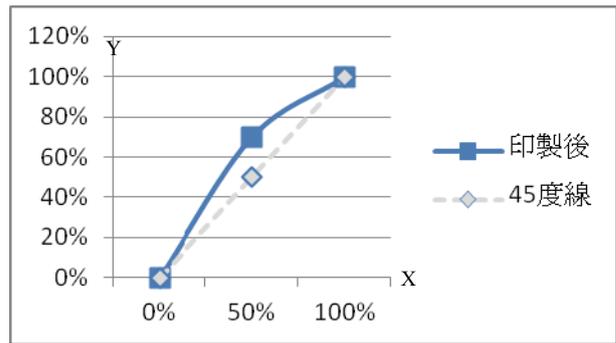


圖7 CMYK的階調色塊



X:原檔網點面積 Y:印後量測所得網點面積

圖8 階調曲線圖

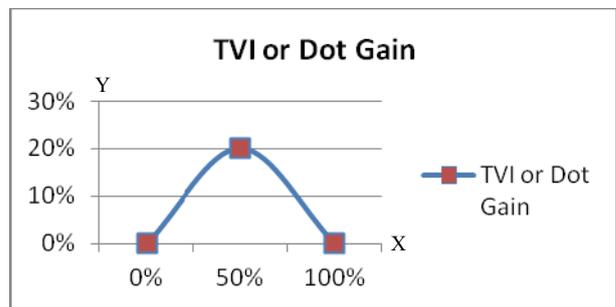


圖9 網點擴大曲線圖 (DG) 階調增加或曲線圖 (TVI)

表4 網點面積與擴大率

檔案的網點面積	印後測量的網點面積	網點擴大率
0%	0%	0
50%	70%	20%
100%	100%	0%

3. 數位製程訊息區 (Digital Process Wedge)

參見圖10數位製程訊息區所示，為對後端印花輸出設備，評量輸出及精準度能力，熱昇華轉印製程，為先將印花圖案印在塗布紙，再熱昇華轉印在布料上，量產時使用雷射直接製版 (CTP: Computer To Plate) 設備製成印花版，可判斷雷射點是否呈現最佳解析力與網點訊息轉移能力。

- 41條輻射線 (41spokes) 以1pixel、2pixel、3 pixel的雷射點所組成的線條，形成等距輻射線排列，評量雷射打點時光學與機械的穩定性。

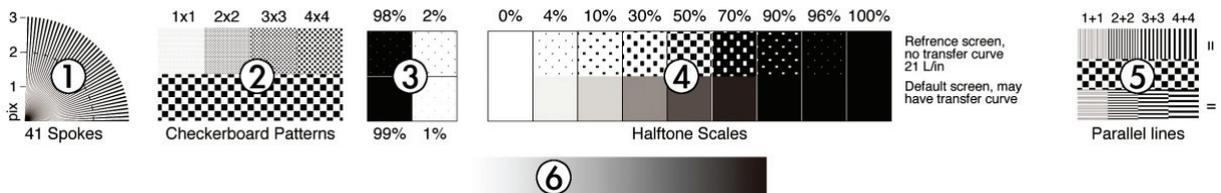


圖10 數位製程資訊區



- ② 基本點形狀檢查由1pixel、2 pixel、3 pixel、4pixel雷射點所組成的網點，評量印花圖檔若顯示出50%灰度值，即表示可達到輸出設備之最高解析力。
- ③ 小網點區為98%-2%、99%-1% 網點組合，評量圖案為白底時，黑色網點擴散率是否增大，圖案為黑底時，白色網點擴散率是否縮小，以判斷輸出精準度。
- ④ 網點階調區分為上下2排，上排的解析力為21 Lines/inch的粗網點，不易受印花後網點擴大的影響，下排為輸出設備的解析度，可帶入網點調整曲線校正，網點密度以百分比表示，範圍從0% (Highlight)-100%滿版濃度 (Solid Ink Density) (Romano, 1998)。

$$\text{網點面積} = \frac{(1 - 10^{-Dt})}{(1 - 10^{-Ds})} \times 100\%$$

Dt：網點濃度減去紙張密度，Ds：實際濃度減去紙張密度

- ⑤ 平行線區以1 pixel、2 pixel、3 pixel、4 pixel的雷射點所組成水平和垂直的平行線條，評量布料上每一條線是否等距，及是否受到浮點運算的設定、機械或光學等問題，影響輸出品質。
- ⑥ 漸層區為評量布料上階調是否自然平順，若有斷階情形，將大幅影響印花的漸層效果。

4. 雙影區 (Doubling)

4個色版CMYK所組成由內向外呈輻射狀的圓形 (圖11)，評量在數位噴墨印花過程中，是否因水平或垂直方向所產生震動的影響，上下走向產生8字形為水平方向震動 (圖11-a)、左右走向產生8字形為垂直方向震動所產生的現象 (圖11-b)，若發生水平或垂直方向的震動或位移，可在輻射狀的圓形，判讀8字形走向。

5. 扇形區 (Resolution and Registration)

1 pixel、2 pixel、3 pixel、4 pixel的雷射點，以CMYK 4色版所組成扇形排列線條 (圖12)，解析輸出設備印花對位精

準度，及分辨是否可以解析至同一個噴墨點訊息。

6. 彩色導表區 (Color Bar)

評量色差濃度值與色差分析，依布料幅寬左右、TOP上下模色彩一致性，在數位噴墨印花量產時，此彩色導表訊息因子的控制更重要 (圖13)，經由儀器量測數值，實施即時瞄導表訊息與數據分析結果的自動化工程，調整墨量的參數，即時回饋修正印花品質，維持前後批次量色彩品質 (Yellow, Y)，印墨分別以紅 (Red, R)、綠色 (Green, G)、藍色 (Blue, B) 三濾色鏡量測最高濃度值 (謝顯丞, 吳玉如, 2000)。

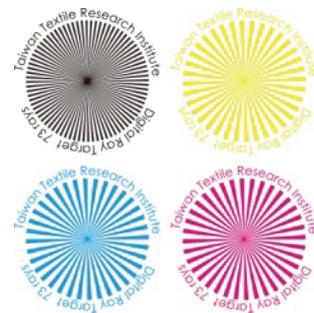


圖11 雙影區

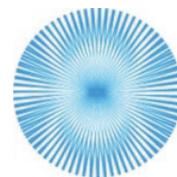


圖11-a 上下走向

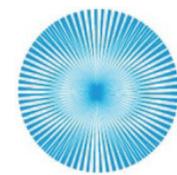


圖11-b 左右走向

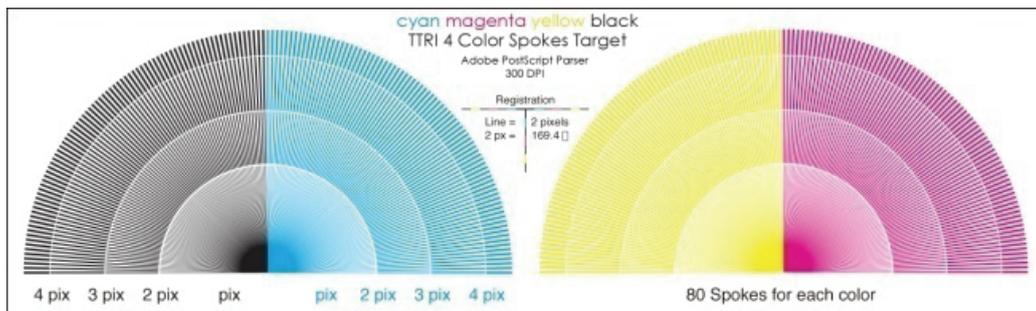


圖12 扇形區

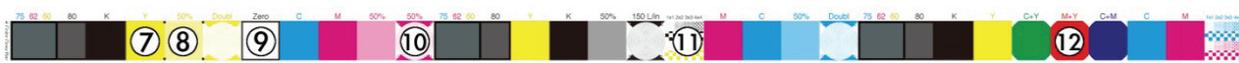


圖13 彩色導表訊息因子

濃度 (Density)=不透明度 (O) 的常數對數 = logO

$$\text{透射式濃度} D = \log\left(\frac{1}{T}\right) = -\log T$$

$$\text{反射式濃度} D = \log\left(\frac{1}{R}\right) = -\log R$$

- ⑦ 滿版色塊區CMYK在數位檔案上為Cyan100%、Magenta 100%、Yellow100%、Black100% 的滿版色塊，儀器量測每個色塊的濃度值 (SID)，參數結果分析做為色差調整與色彩複製的墨量調整。
- ⑧ 平網色塊CMYK在數位檔案濃度為Cyan50%、Magenta 50%、Yellow50%、Black50%，先控制滿版色塊的濃度值 (SID) 後，觀察50% 網點擴大情形，以工業界使用最大的網點值50%標準，控制50%的網點擴大值 ≤ 20%，做為修正依據。
- ⑨ 紙白區在數位檔案濃度為0%的色塊，定義為被印物最白區域，做為測量儀器歸零的參數位置。
- ⑩ 雙影控制區CMYK在數位檔案以同心圓線條顯示，評量是否因機械設備或其它因素，所引起的雙影現象，四個角落分別有1% vs 99%、2% vs 98%、3% vs 97%、4% vs 96% 的小網點，以區分亮部和暗部的細微網點標示。
- ⑪ 基本雷射點區由1x1 pixel、2x2 pixel、3x3 pixel、4x4 pixel 的雷射點所組成的網點，若印花圖案均可顯示50%灰度值，表示可達到輸出設備之最高解析力。
- ⑫ 疊印區是由C+Y=綠色、M+Y=紅色、C+M=藍色所組成的2次色。評量CMY染料的疊印情形，4色染料之色彩在不同原料配方製造下，會產生品質差異，即使染料與被印布料皆相同，仍可能因為色墨濃度不同造成色差，此單色色塊直接反應印花後染料本身色彩、及轉印到轉印紙張上的色彩濃度值。透過檢測各色料的單色密度值和疊印後的密度值，來計算染料疊印率，表示如下：

$$\text{PercentApparentTrap} = \frac{D_{op} - D_1}{D_2} \times 100\%$$

D_{op} ：疊印色塊濃度， D_1 ：第一色塊濃度 (先印)， D_2 ：第二色塊濃度 (後印)

Preucil 於1985年提出疊印率公式，並取決於色序排列，對於一次式噴印的數位噴墨印花而言，疊印能力 (Trapping)

又稱界面轉移能力，可評量染料的界面轉移及透明度，其量測以滿版濃度為主 (何曉輝, 2005)，於Preucil提出密度法檢測後 Ritz (1996) 針對透明度、平滑度及表面張力提出修正，公式如下：

Brunner's公式

$$TR = \frac{1 - 10^{-D_{op}}}{1 - 10^{-(D_1 + D_2)}} \cdot (100\%)$$

Prof. A. Ritz's 公式

$$TR = \frac{1 - 10^{-(D_{op} - D_1)}}{1 - 10^{-D_2}} \cdot (100\%)$$

3.3 研究變項定義與實驗任務說明

本研究為評量「印花設計之品質再現性」任務，以高倍率顯微鏡及雷射底片校正尺 (Calibration Ruler)，對印花在成品布上的結果做擴散率檢驗，為了解色彩品質和塗布配方相互關係，同時對不同配方之紙張轉移殘墨率與吸墨性能進行分析。

1. 研究前提

本實驗所使用量測印花品質相關儀器，如X-Rite SpectroEye Spectrophotometer 反射式濃度計、X-Rite MeasureTool濃度值量測軟體、GMG PrintControl and Rapid-Check 輸出控制軟體及500X Series Digital Microscope數位顯微鏡 (專利編號 ZL2007 2 0139634.0；ZL2007 3 0001934.8)，製造商均已在全世界公開發表及銷售，儀器之信度、效度均已經國際間學界及業界認可，故不在此討論。

2. 研究範圍和限制

- (1) 布料基材為聚酯纖維Polyester 100%。
- (2) 塗布紙樣張規格尺寸B4，250x353mm。
- (3) 數位噴墨印花製程採用分散性染料4色，Cyan青、Magenta洋紅、Yellow黃、Black黑。
- (4) 數位噴墨印花輸出前，均已經過噴墨品質測試條噴印檢驗，確認無阻塞、斷墨等異常現象，始進行樣本噴印，以相同設定條件，噴印在不同配方塗布紙表面，設定條件為720dpi單向8色頭、Dithering: Smart Diffusion、Resolution: 720dpi、Density Adjustment: EPSON 7880-720Dpi.Dns、Printer Profile: EPSON7880.icm、Total Ink Limit: 300%。
- (5) 熱昇華轉印製程設定為溫度攝氏200度，轉速1.1公尺/



分鐘，以轉印紙在上、布面在下方方式，進入連續式滾筒轉印設備，進入順序為前端對照組瑞士紙置放左側、韓國紙置放右側，依序為由左至右排列配方1：10張、配方2：10張、...至配方10：10張，後端對照組韓國紙置放左側、瑞士紙置放右側，藉以檢驗熱昇華轉印前後批次，是否產生色差及轉移殘墨率分析。

3.4 實驗程序

本研究實驗程序共分為三階段：第一階段為紡織測試導表之訊息設計，分為量測系統與視覺元素。第二階段中，在室內恆溫控制24℃條件下，以固定噴墨量、不間斷、連續式，在塗布紙張上進行數位噴墨印花及熱昇華轉印布料製程。最後一項階段中，以高倍率顯微鏡攝像在布料上的結果，以評量其再現性品質任務。

IV. 資料分析與結果

本研究之資料分析以評量「印花設計之品質再現性」，分為數位印花設計品質任務與影響色彩品質關係，其分析與結果分述如下：

4.1 評量數位印花設計品質

紗線以X、Y左右交織成布料，表面呈現凹凸規則狀，在布料上進行印花時，設計效果和輸出解析度均會影響精度品質，精度擴散率 (Overlap) 的控制尤其重要。以測試導表內訊息設計所區分4項印花品質評量依據，以500倍率顯微

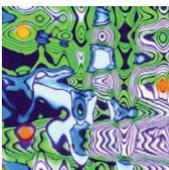
鏡攝像聚酯纖維布料Polyester100%組織結構 (如圖14)，將再現於布料上8款印花圖案隨機局部取樣，以1:1雷射底片校正尺 (Calibration Rule) 驗證印花設計品質評量任務 (如表5)，結果如下：1. 流暢度品質經混合性圖案，Line精度擴散率<0.2、漸層性圖案，Line精度擴散率<0.1。2. 尖銳度品質經精細線條在白底布上，Line精度擴散率<0.1，弧線線條在黑底布上，Line精度擴散率<0.3，弧線銳利度不佳。3. 穩定度/滿版與點線面圖案，多色系色版精度範圍控制在0.1範圍內，不同色版間不會產生重疊色。4. 安定度/弧度與不規則色塊，深版對淺版精度控制在0.2範圍內，淺版對深版精度控制在0.1範圍內。



圖14 1：500聚酯纖維Polyester 100%組織結構

表5 印花設計分類與品質評量結果

印花圖案分類	局部放大圖	尺規精度檢驗	評量結果
			淺藍色 (淺版) 對藍色 (深版) 精度控制在 0.2 範圍以內，線條和色塊效果清晰
(1) 流暢度 混合性圖案			
			多色域色版精度控制在 0.1 範圍，漸層效果融合無發生斷階
(2) 流暢度 漸層性圖案			
			白色 (淺版) 精度控制在 0.1 內，對深版尺寸擴大 0.2，以符合較佳精度範圍
(3) 尖銳度 (白底) 精細線條			

			黑色 (深版) 精度控制在 0.3 內, 對淺版尺寸內縮 0.1, 以符合較佳精度範圍
(4) 尖銳度 (黑底) 弧線線條			
			多色系色版精度範圍控制在 0.1 範圍內, 不同色版間不會產生重疊色
(5) 穩定度 滿版圖案			
			黃色 (第 1 支淺版) 對橘色 (第 2 支淺版) 淺版相互重疊色系精度控制在 0.3 範圍內, 漸層效果佳
(6) 穩定度 點線面圖案			
			桃紅色 (深版) 對綠色 (淺版) 精度控制在 0.2 範圍內, 弧度色塊邊緣轉折順暢
(7) 安定度 弧度色塊			
			綠色 (淺版) 對藍色 (深版) 精度控制在 0.1 範圍內, 不規則色塊效果具清晰性
(8) 安定度 不規則色塊			

4.2 評量印花設計之色彩品質

4.2.1 原紙與塗布紙色彩再現性

印花圖案經過數位噴印在紙張表面, 紙張需具備高吸附墨水及不滲透能力, 透過高溫熱昇華, 將墨水轉移在布料表面上, 紙張對於印花圖案的設計品質與布料上色彩達到最佳再現性有正向關係, 故紙張的特性與不同配方塗布層, 亦為主要評量影響印花設計再現性原因。本實驗以原紙和 10 種配方塗布紙使用測試導表, 以滿版濃度 (SID)、網點擴增值 (TVI), 濃度值是影響色彩再現性最重要因素, 滿版濃度值 (SID) 決定噴墨量濃度、轉印紙的網點擴大, 及印花的色彩階調再現性。在印花前製條件設定下, 數位圖檔以 RGB 模式, LAB 色域值飽和, 色階層次豐富, 但經過數位噴墨印花製程再現在布料後, 色彩階調層次出現明顯的損失與壓縮, 透過原紙和不同配方塗布紙的滿版濃度 (SID) 分析結果顯示, 濃度密度值低於 30%, 色彩層次的再現能力較低, 故須提高濃度密度值, 盡量減少層次的壓縮

量, 以提高色彩階調再現能力; 若密度值高於 70%, 則因噴墨量過多與布料吸收達飽和度影響, 造成畫素擴大, 使色彩層次受損, 尤其在暗調部分層次極易損失, 因此控制滿版濃度 (SID) 的密度值量, 對於色彩階調的再現性影響高, 如圖 15 數據分析, 結果顯示不同配方塗布紙之滿版濃度 (SID) 均高於原紙, 經過不同配方塗布過的紙張亦具有較佳色彩表現能力, 如圖 16 資料分析顯示, 不同配方塗布紙之網點擴增值 (TVI) 30%、50%、70% 均呈拋物線狀數據, 允收範圍 $\pm 3\%$, 原紙與塗布紙色彩再現性表現, 依序為 配方 1 > 配方 8 > 配方 5 > 配方 9 > 配方 2 > 配方 6 > 配方 10 > 配方 3 > 配方 7 > 配方 4 > 原紙。

4.2.2 塗布層吸墨性能對於色彩再現性影響

由 4.2.1 實驗結果得知, 經過不同配方塗布的轉印紙, 其色彩表現能力均優於原紙, 轉印紙的塗層配方與吸墨性能與色彩再現品質, 具有正向關係, 塗層配方質地密度低, 影響吸墨量比率, 色彩階調層次再現能力相對較低, 轉印後



紙張產生黃化、脆裂現象，反之塗層配方質地密度高，吸墨性能高，易造成吸墨過量與熱轉印壓力影響，造成溢墨與網點擴大現象，尤在暗部層次損失，殘墨量過高，亦使耗材費用提高（參見圖17），本實驗對於不同塗布配方質地重量控制、與檢測其在轉印前後的吸墨性能分析結果（參見圖18、表6）所示，不同配方塗布紙吸墨性能表現，依序為配方6>配方4>配方2，吸墨率超出100%基重，產生溢墨為配方1、3、5、7、8、9、10。不同配方塗布紙轉墨率表現，依序為配方5>配方9>配方10>配方2>配方7>配方6>配方8>配方1>配方3>配方4。

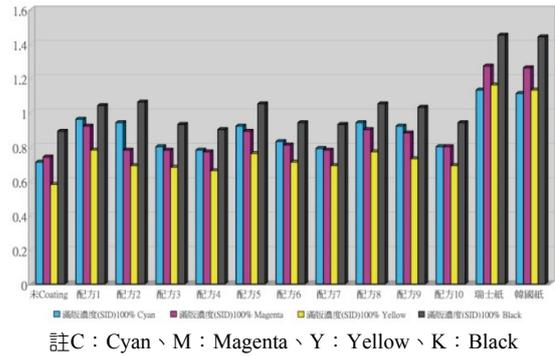


圖15 原紙與塗布紙之滿版濃度 (SID) 分析

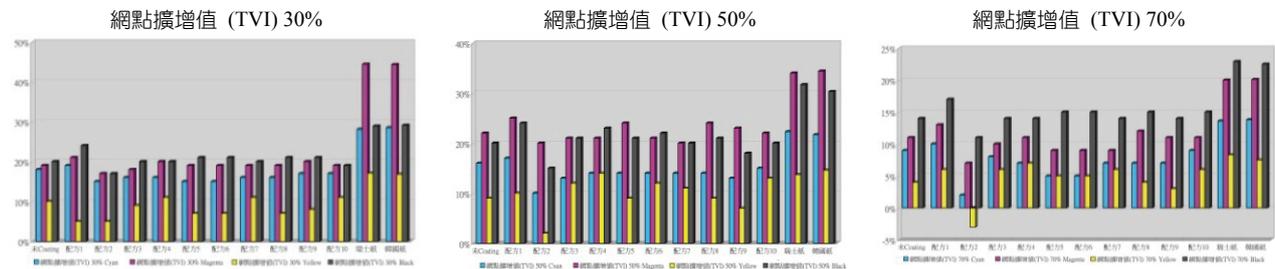


圖16 原紙與塗布紙之網點擴增值 (TVI) 分析

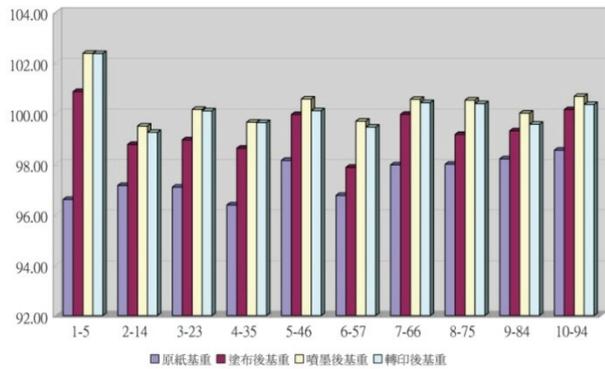


圖17 原紙基重與各製程參數分析

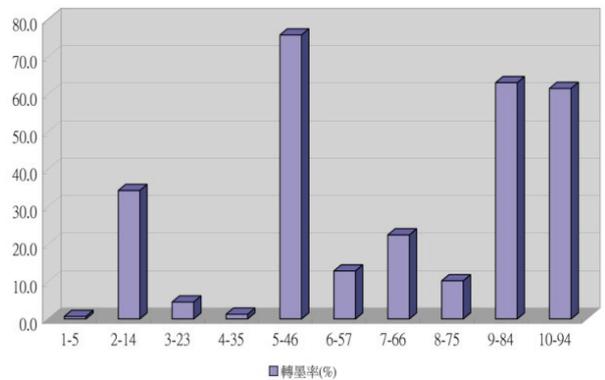
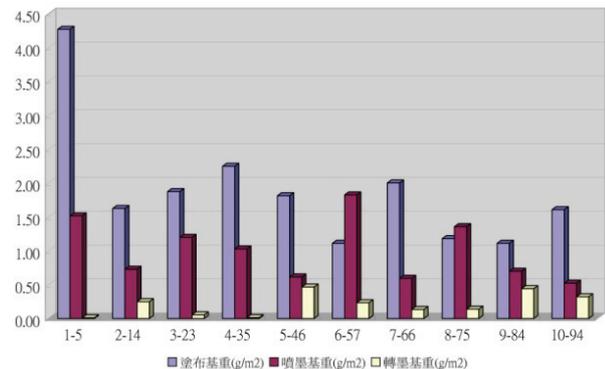


圖18 原紙與不同配方之吸墨率與轉墨率分析



V. 研究結果與討論

5.1 結論

1990年代開始，數位趨勢使印刷界領域進入電子化時代，其不同研究成果，使數位色彩品質控制從廣泛應用到成熟化，而紡織業正處於逐漸以數位化製程與傳統量產方式整合階段，藉由印刷業轉換數位化歷程為本研究基礎，提出紡織專用「測試導表」，做為評量印花品質再現性任務，自測試導表上的視覺元素與量測系統，可得到品質管制之客觀數據，且已獲得初步具體成果，茲將研究結果歸納如

下：

表6 原紙與不同配方之吸墨率與轉墨率參數表

項目 配方	各製程參數								
	樣本數	原紙基重 (g/m ²)	塗布後基重 (g/m ²)	噴墨後基重 (g/m ²)	轉印後基重 (g/m ²)	塗布基重 (g/m ²)	噴墨基重 (g/m ²)	轉墨基重 (g/m ²)	轉墨率 (%)
原紙	10	-	-	115.38	115.34	-	-	0.0375	-
配方 1	1-10/5	96.59	100.86	102.38	102.37	4.27	1.51	0.0103	0.7
配方 2	11-20/14	97.15	98.77	99.50	99.25	1.62	0.73	0.2493	34.3
配方 3	21-30/23	97.08	98.95	100.15	100.10	1.87	1.20	0.0543	4.5
配方 4	31-41/35	96.38	98.62	99.65	99.64	2.25	1.03	0.0129	1.3
配方 5	41-50/46	98.14	99.95	100.57	100.10	1.81	0.61	0.4651	75.8
配方 6	51-60/57	96.76	97.87	99.69	99.46	1.11	1.82	0.2338	12.8
配方 7	61-70/66	97.96	99.96	100.55	100.42	2.00	0.59	0.1331	22.4
配方 8	71-80/75	97.99	99.17	100.52	100.38	1.18	1.36	0.1382	10.2
配方 9	81-90/84	98.20	99.31	100.01	99.57	1.11	0.70	0.4405	63.1
配方 10	91-100/94	98.54	100.15	100.67	100.35	1.61	0.52	0.3217	61.5

1. 數位印花設計品質評量結果

綜合本研究實驗所得結果發現，「印花設計品質」與「塗布紙品質」具有正向相關性。以原紙、不同配方塗布紙之實驗所示，經過塗布紙其色彩滿版濃度值 (SID) 越高，印花設計品質精度相對越高，均在Line<0.1範圍內，同時，依據印花設計分類評量結果顯示，本研究使用1:1雷射底片校正尺 (Calibration Rule)，檢析8款印花圖案在同款布料組織上之高倍率顯示結果，流暢度品質範圍控制在Line精度擴散率<0.2、漸層性在Line精度擴散率<0.1，尖銳度品質 (白底布) 在Line精度擴散率<0.1，弧線線條 (黑底布) 在Line精度擴散率<0.3，穩定度/滿版與點線面圖案、多色系色版精度範圍控制在0.1範圍內，不安定度/弧度與不規則色塊，深版對淺版精度控制在0.2範圍內，淺版對深版精度控制在0.1範圍內。以此意味著，在凹凸布料表面，透過不同印花圖案與高精度校正尺量測，可快速檢視成品布，研判數位印花設計品質。本研究採用之印花圖案元素，為工業界普遍應用之分類範圍，具備混合性、漸層性、精細線條與弧線、滿版與點線面、弧度與不規則色塊之特性，因此，就數位圖案的物理屬性而言，每張圖案樣本的物理屬性，皆有一致的標準，主要建構在圖案中每一個畫素的色彩位元深度，如同本研究所得結果顯示，檢驗流暢度、尖銳度、穩定度與安定度，使用8張印花圖案在布料上的檢測判析，可顯著提升研判凹凸布料特性之印花設計再現品質。

2. 影響印花設計品質的色彩結果

基於上述評量檢驗結果，本研究同時針對影響印花設計品質的色彩評量中發現，紙張的塗布層配方性能，影響色彩轉移率的再現性。自測試導表中的量測系統，可得到色彩管制的科學客觀數據，透過數據分析評量原紙與不同配方

塗布紙，得出最佳色彩再現性，原紙和不同配方塗布紙之吸墨性能表現，依序為配方6>配方4>配方2。不同配方塗布紙轉墨率表現，依序為配方5>配方9>配方10。

5.2 未來研究與建議

紡織專用測試導表未來發展性，更具廣泛的應用空間，並可銜接高端的電子系統與自動化演算工程。未來研究以下述發展方向：

1. 不同視覺元素型式、規格和尺寸的測試導表設計，應用於不同紡織製程需求。
2. 結合自動化量測方法，以紡織專用色彩控制測試導表為基礎，將視覺控制因子搭配自動量測軟體，重新排列組合，做為自動化儀器設備量測時之專用數位導表。
3. 印花品質與色彩管理軟體開發，將不同分類的印花屬性特色，開發印花品質管控自動分析軟體，可銜接自動化的量測數據，對量測好的數據加以分析回饋修正。
4. 多色版與混色版之數位導表開發，紡織布料印花已朝向數位噴墨製程和多色版趨勢，以4色版原理混色出百萬色譜方式，為其未來所需。
5. 印前處理之數位導表設計，數位導表多著重在印製時的品質控制與修正過程，可針對印前處理之墨水特性，更深入探討透明度、疊印率及色彩空間轉換等議題，未來將持續強此方面之導表開發設計。

誌 謝



作者感謝深藍股份有限公司張錫本先生提供本實驗之量測設備與軟體使用。

參考文獻

- MD研究會+DTPWORLD編集部, 2005, 圖解色彩管理的實踐 Color Management in Practical, 博碩文化編譯, 博碩文化, 臺北。
- 江瑞璋, 2002, RGB流程的色彩品質和管理, 印刷科技季刊, 第18卷, 第4期, 頁15-22。
- 江瑞璋, 2007, 數位印刷的色彩評比和應用, 印刷科技季刊, 第23卷, 第1期, 頁39-50。
- 李彥儒, 2011, 數位列印方式之墨點分佈情形研究 (上), 印刷科技季刊, 第27卷, 第4期, 頁45-63。
- 何曉輝, 2005, 油墨疊印率檢測方法的比較, 北京印刷學院學報, 第13卷, 第2期, 頁1-3。
- 郭文貴, 胡郁鑫, 2006, 以導表作棉織物無版印花之色彩校正研究, 華岡紡織期刊, 第13卷, 第3期, 頁333-341。
- 曾正源, 2007, 從色彩管理探討數位樣張之色彩複製, 印刷科技季刊, 第22卷, 第4期, 頁55-74。
- 張世錫, 2001, IT8.7/3色彩管理控制導表技術探討, 印刷科技季刊, 第17卷, 第4期, 頁48-53。
- 張輔玲, 管倖生, 2011, 創意商品設計品質量表建立, 紡織綜合所研究期刊, 第21卷, 第2期, 頁40-50。
- 管倖生, 蔡政旻, 2010, 影像之眼動訊息的觀察與分析, 科技學刊, 第19卷, 第2期, 頁115-129。
- 廖盛焜, 陳活源, 賴政佑, 2012, 數位印花, 科學發展月刊, 第470期, 頁30-35。
- 謝顯丞, 吳玉如, 2000, 無水平版光碟印刷, 初版, 亞太圖書, 臺北。
- 財團法人印刷工業技術研究中心 (PTRI), 2012, 印刷控制測試導表, 印刷智庫技術新知, www.61.218.11.75/newtechs/ControlBar.htm
- Brehm, P. V., 1992, Introduction to densitometry: A user's guide to print production management using densitometry, 2nd Edition, Graphic Communication Association (GCA), Alexandria, VA.
- Chang, F. and Guan, S. S., 2011, A Study of Sensory Impact on Textile Pattern and Colors, Design and Consumer Preference, The 11th Asian Textile Conference, EXCO, Daegu, Korea.
- Chang, H. P., 2005, The Modulation Transfer Function Theory of Optical Imaging Systems, etd-0704105-115800, National Cheng Kung University, Kaohsiung, Taiwan.
- Collier, B. J., Bide, M. J., and Toryora, P. G., 2009, Understanding Textiles, 7th Edition, Upper Saddle River, New Jersey.
- Dehghani, A., Jahanshah, F., Borman, D., Dennis, K., and Wang, J., 2004, Design and engineering challenges for digital ink-jet printing on textiles, International Journal of Clothing Science and Technology, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, UK, Vol. 16 Iss: 1/2, pp. 262-273.
- Hsieh, Y. C., 1999, Dot Gain on the Offset Lithographic Printing Plates, Journal of National Taiwan College of Arts, Taipei, Taiwan, Vol. 64, pp. 33-41.
- Hunt, R. W. G., 1998, Measuring Colour, 3rd Edition, Fountain Press, UK.
- Luedtke, W. D., Gao, J., and Landman, U., 2011, Dielectric Nanodroplets: Structure, Stability, Thermodynamics, Shape Transitions and Electrocrystallization in Applied Electric Fields, J. Phys. Chem. C, 2011, ACS Publications, Washington, DC, 115 (42), pp. 20343-20358.
- Mohamad, M., Sigg, F., Summerville, A., Dutta, A., Viriyarungsarit, T., Chung, R., Dubey, D., and Sivam, G., 2002, Test Targets 2.0: A Collaborative effort exploring the use of scientific methods for color imaging and process control, RIT School of Print Media, Rochester, NY.
- Provost, J., 1994, Ink Jet Printing on Textiles, Surface Coatings International, 77, UK.
- Ritz, A., 1996, A Halftone Treatment for Obtaining Multi-Color Ink Film Trapping Values, Professional Printer, Vol. 40 (6), pp. 11-17.
- Romano, F. J., 1998, The GATF Encyclopedia of Graphic Communications, GATF Press, Sewickley, PA.
- Tagansky, B., 2012, HP-Indigo Technology and its Application to Photo Printing, TDPF International Symposium on Technologies for Digital Photo Fulfillment, Society for Imaging Science and Technology, Las Vegas, Nevada.
- Tritton, K., 1995, Colour control in lithography, Pira International, Leatherhead, UK.
- Ujji, H., 2002, Digital Inkjet Fabric Printing, Presentation at the Center for Excellence of Digital Ink Jet Printing for Textiles at Philadelphia University, Philadelphia.

Website references

- Altona Test Suite, 2002, www.altonatestsuite.com
- Altona Test Suite 2.0, 2011-2012, Technical 2 European Color Initiative, www.eci.org
- Boaz Tagansky; Hewlett Packard Company; Rehovot, Israel, "HP-Indigo Technology and its Application to Photo Printing", TDPF International Symposium on Technologies for Digital Photo Fulfillment, 2012 Society for Imaging Science and Technology.

Digitally Driven, 2013, NanoDot technology, www.digitally-driven.com

Developments in the Textile Printing Industry, Technical Analysis Report, 1994, Stork Textile Printing Group, www.spgprints.com

Epson Co., global.epson.com, An Epson White Paper: Epson Micro Piezo™ Print Head Technology

J-TECK Co., 2012, www.j-teckusa.com

Sophie, M. P., 2013, Fabric choices: entering the digital textile

printing arena, www.outputmagazine.com

Hao-Peng Chang, 2005, The Modulation Transfer Function Theory of Optical Imaging Systems, etd-0704105-115800, National Cheng Kung University.

Received 20 May 2013

Accepted 15 July 2013



AN ANALYSIS ON THE QUALITY OF REPRODUCIBILITY OF TEXTILE PRINT DESIGNS

Fu-Ling Chang*, Shing-Sheng Guan* and Jui-Chang Chiang**

*Graduate School of Design
National Yunlin University of Science and Technology
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

**Graduate Institute of Applied Science and Technology
Color Imaging and Illumination Science and Technology Group
National Taiwan University of Science and Technology
Taipei, Taiwan 10607, R. O. C.

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the quality of reproducibility of textile prints designs. Through experimental design methods, a textile control strip was designed, in conjunction with a series of papers coated in different formulas, to serve as the parameters for the study. The prints designs were digitally printed on different coated papers and heat sublimed for evaluation and analysis of the quality of reproducibility on textiles.

The study utilized heat sublimation transfer paper developed in Taiwan, with coating formulations and image designs based on the characteristics of the dyestuff. The coating formulations contained pigments of calcium carbonate (CaCO_3), silicon dioxide (SiO_2), talc, and sericite (a form of mica) from a native mine, as well as the 50:50 ratio blends of the 4 pigments mentioned above. A total of 10 formulations were developed and tested. Heat sublimed image transfers were carried out using patterns printed on papers onto a textile. The post-transfer prints qualities were then digitally measured and the factors affecting image quality were analyzed. The patent pending test suite designed by the author of this paper was used in the image quality evaluation, based on visual inspection and the data gathered through the test suite.

The results indicated that 1) the printed pattern image regions of the textile color control test suite provided significant visual cues for the quality of reproducibility of textile; 2) the color quality showed a positive correlation with transfer paper coating formulations of the heat transfer paper used; and 3) performance on color reproducibility, the ranking of the coating formulations were formula 5 ($\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$) > formula 9 ($\text{SiO}_2/\text{sericite}$) > formula 10 (talc/sericite).

Keywords : textile print design, digital ink-jet printing, textiles digital test suite, coated paper