

噴墨相紙光學性質對列印色彩表現影響之研究

指導老師：周文明 老師

研究學生：黃雅蘋

摘要

印藝科技與時俱進，傳統印刷亦轉型邁向數位化，不斷革新。彩色噴墨列印技術已趨成熟，市場普及率高、應用範疇廣，將成為21世紀圖文傳播最重要的科技手段。近兩屆DRUPA杜賽道夫國際印刷機材展中，「噴墨」更為最受重視的印刷與材料分佈科技—當今各類噴墨紙張隨印表機型、適印墨水與消費者不同需求因應而生；其中藝術圖像輸出以相片與藝術紙張為被印材，依紙張製漿方式、纖維種類與塗佈填料之不同，而產生物理、光學等性質差異，並直接影響其噴印後之色彩表現能力。本實驗乃針對典藏珍品圖像之藝術微噴領域，選相近厚度之適印紙張（以噴墨相紙為主）檢測光澤度、白度、不透明度等光學性質；採用EPSON微針點壓印機，以八色以上EPSON Stylus Pro系列之印表機為實驗控制組及一般商用事務機為對照組，經前測穩定品質噴印後，再量測樣本紙張色塊之色彩呈現特性。進而探討不同複製條件下各種相片紙張之光學性質及其色彩表現之差異；分析紙張各光學性質與藝術微噴後色彩變異間之相關與預測迴歸，期供後人用作選材及廠商造紙之參考，以及增加消費大眾對噴墨相紙的認識，熟悉並加以運用。

關鍵字： 噴墨列印、相片紙張、光學性質、色彩品質

壹、緒論

一、研究背景與動機

隨著科技引領世界風潮，產業紛紛投入數位化，持續研發與創新。結合電腦與雲端技術，亦使印刷業於產品及服務品質、效率、產能上，都有長足進步；並且由於不需製版，製程更簡單且成本大幅降低。印研中心董事長陳政雄（2012）於DRUPA12杜賽道夫印刷機材展後提到：這是有版印刷過渡到無版列印的展出，由其噴墨印刷已征服各大IT、軟片廠，更滲透到傳統印機製造廠，紛紛投入這場數位變革中。

彩色噴墨列印技術至今已臻成熟，除了一般商用事務機，更積極開發快乾、防水的寬幅噴墨列印機型，精進噴頭技術、搭配墨水種類與適性，為產業帶來新風貌。越來越多的圖像從業人員、甚至一般消費大眾都能透過數位化技術打造專屬優質印品—印刷品的生產已逐漸被人們是為生活的一部份（Xu, 2006）。

隨著所得與生活水準提升，及個人化自我意識觀念抬頭，消費者於物質之外更追求內在涵養及美感體驗，新興的噴墨市場逐漸備受矚目，與傳統印刷產生區隔。於是乎促進機具製造商投入資金與人力，研發更新穎、優化的軟硬體設備，如更大尺寸的機器、經濟的機種、環保的材料與印刷製程及更高的解析度，致力於提升印刷品質，滿足市場漸趨多樣之需求，為顧客創造產品附加價值。其中，EPSON藝術微噴（Girclee）兼具噴墨色彩、濃度及保存性等優點，追求一對一行銷(One-to-One Marketing)之客製圖像輸

出，以及複製高仿真之授權典藏珍品（“數位版畫製作&典藏及數位影像輸出服務”，n, d,），乃開拓無限商機。

儘管紙張種類繁多，然而不同用途，對於用紙都有不同要求（陳忠輝、張景嘉，2007）；紙張之表面性質直接地影響其印刷時的印刷適性，並進而影響印刷品質。其中光學性質對於印刷後色彩變異最具相關，若色彩表現佳，印刷品質則隨之提升。因應產業趨勢而以數位化噴墨列印為範疇，本研究探討高品質藝術微噴之各種專用紙張其光學性質之差異，及噴墨後色彩品質表現之對應關係，供造紙廠抄造紙張時提升其光學性質、增強印刷適性之依據，進而於噴墨時提升彩色輸出影像品質，並為印刷業者與消費族群參考使用；瞭解紙張適性及其呈現色彩品質，印刷業者於輸出影像時方能選擇合適紙張，滿足顧客需求，並充分促進客戶與供應商間有效溝通。

二、研究目的

（一）分析市售噴墨相紙光學性質之差異。

（二）檢測不同紙張經八色以上EPSON Stylus Pro系列之微針點壓印表機噴印後其色彩品質特性之差異。

（三）探討各種紙張以相同複製條件噴墨後色彩變異與其光學性質之間的關係。

三、研究的重要性

印刷要素中，以紙張之印刷適性與印刷品質最具相關（林啓昌，1975）。而整個噴墨印刷系統設計最初始之考量，其重點即在於受質（media）的問題上——到底甚麼樣的材質以及需經由什麼樣表面處理的界面，受質才能負載影像的輸出（呂植圳，2002）？彩色噴墨被印紙張種類繁多，而藝術微噴領域追求高品質噴繪輸出，須了解受質的特性、嚴選適當紙材，方能滿足消費者多樣化需求。其中，不同相片紙張各有其光學性質，其印刷適性亦不相同，進而影響噴墨後之色彩表現。為追求最佳化品質管理，首先必須瞭解各紙張之光學性質對噴墨後色彩表現之影響，進而能夠掌握並控管輸出圖像之色彩變化，應用於抄造紙張、改善作業適性，與噴繪輸出時選用紙材之依據。

四、研究假設

假設一

H₁：以相同儀器與標準量測程序檢驗，不同噴墨相紙其光學性質之間有顯著差異。

假設二

H₁：各類紙張以不同印表機噴印相同實驗導表，其交互作用後影響色彩表現有顯著差異。

假設三

H₁：相同複製條件下各類噴墨相紙之不同光學性質對列印後色彩變異有相關性存在。

五、研究範圍

眾多印表機製造商中，EPSON商業化成功、市占率高，並有優良的數位技術（Fodness, 2005）；且目前通過經濟部印刷工業技術研究中心之色彩認證以EPSON Stylus Pro 系列印表機居多（張世鋈，2010）。面對全球數位印刷的需求，EPSON更致力於開發出高附加價值的非接觸式噴墨產品。關鍵技術微針點壓電式噴墨系統，採耐度高的晶體設計，可以精確地控制墨點大小，同時延長印字頭的使用壽命；另外研發廣色域且具卓越抗光性、抗水性的Ultra Chrome顏料型墨水，搭配智慧型墨點調控技術，可列印精細完美之圖文影像（EPSON核心技术，2011）。並且提供多樣化原廠認證紙材，客製藝術作品與複製圖像輸出服務，故研究範圍以EPSON為對象，深入新興市場藝術微噴領域並探討其應用發展趨勢。

六、名詞解釋與定義

1. 噴墨列印：

噴墨印刷，為非撞擊點矩陣式印刷，是一種新的無接觸、無壓力、無印版的印刷技術（王勤，2009），將電子檔案由電腦直接送入印刷列印設備，並使用點（Dot）來複製檔案內容於被印物體上（郝宗瑜，2005）。藉由升溫或加壓，使印墨分解成均勻墨滴，再由微細噴嘴噴射至被印材上設定位置形成文字或影像，墨點越細小則圖像越細緻。

2. 藝術微噴：

西元1991年，藝術微噴（Giclée）一詞由Jack Duganne提出，為與IRIS Printer噴墨打樣——傳統商業印刷上機前供顧客預覽印品及校正色彩之數位打樣——作區分，強調其輸出圖像之藝術價值。以法文之噴嘴（le gicleur）與動詞「噴（gicler）」結合，為該新興數位產業命名。廣義而言，藝術微噴指高品質數位輸出藝術、攝影作品或複製圖像。（Johnson, 2004）近年來以EPSON積極開發新技術，推動專屬認證之UltraGiclée藝術微噴。其規範如下：

1. 使用八色以上EPSON Stylus PRO系列設備輸出
2. 使用Ultrachrome K3 / Ultrachrome K3 with vivid magenta墨水
3. 列印在通過認證的指定紙張上
4. 作品限量發行，並由作者親筆簽名
5. 附有授權輸出中心出具的保證書並加上授權鋼印（EPSON藝術微噴工藝規範，2005）

3. 噴墨相紙：

噴墨相紙（Inkjet Photo Paper）為噴墨紙張其中一類，藉由塗佈層之填料處理，加強紙張亮度、白度與吸墨程度，以提升影像呈現品質及解析度，主要供輸出攝影圖像之用（三菱製紙，2004）。藝術微噴之相紙可依紙材不同結構區分為樹脂塗佈RC（Resin-Coated）紙張，其基材為天然紙漿並上下包夾於兩層聚乙烯間，具高光滑性（Touru & Hiroshi, 1993）；與純纖維、無塗佈樹脂層之紙基FB相紙（Fiber-base），精細的纖維結構與較高的銀鹽含量，影像品質絕佳（Berkowitz, n.d.）。而塗佈層可決定紙張表面呈現光面（Gloss）、半光面（Semi-Gloss）或霧面（Matte）效果（張景嘉，2007）。

4. 光學性質：

印刷時，紙張之表面性質，將直接影響到印刷的品質（黃共志，1995）。而對於人眼而言，較顯著的紙張物理特性是光與紙間之作用，決定其顏色、光澤度、白度與不透明度（柯馨怡、吳中榕、陳忠輝，2002）。

5. 色彩品質：

藉由濃度計、顯微鏡、分光光譜儀等專業儀器，可將印刷品質加以「數量化」，並以此為依據作為評估印刷之色彩再現品質的標準（鄭茂提，1998）。GATF（Graphic Arts Technical Foundation）提出之印刷品質判定所應考慮特性中，與色彩品質特性相關者：滿版濃度（Solid Density）、疊印功能（Trapping）、網點擴大（Dot Gain）、色相差 / 灰度（Hue Error / Grayness）、印刷反差（Print Contrast）及灰平衡（Gray Balance）。ISO 12647-2 則探討三重要數值：四色CMYK滿版在CIE色空間上之定位，即色座標或色彩值（ $L^*a^*b^*$ ）。

貳、文獻探討

一、數位化輸出

數位化（Digital）係以位元（bit）的形式來傳輸資訊的方式；類比影像須經由電子方式數位化後方能以位元方式進行傳輸。而位元乃電腦用以儲存或傳達資料的最小單位，由0與1適當表示（蔡永明，2006）。

廣義而言，數位印刷是將過去電子印前排版系統輸出CMYK四色片後，人工曬版、製版、掛版與規格調整等複雜作業，改以訊息數位化（Digitize Information）的方式（高惠齡，2009）；明確來說則指將待印的電子檔案（Electronic File）直接送入印刷設備，並使用點（Dot）來複製檔案內容於被印媒材上（那福忠，2005）。表2-1為傳統平版印刷與數位化印刷兩者特性之差異分析。數位印刷雖印刷速度較慢，但其優勢在於換紙彈性強，可印短版之印刷品；且具備即時處理印件（Just-in-time）之能力、可列印可變印紋於印刷品上，改進客戶服務水平並減少不必要之浪費、降低總體成本。

表2-1 傳統平版印刷與數位印刷之特性分析表

	傳統平版印刷	彩色數位印刷
速度	快	慢
紙張適性	廣	廣
換紙的彈性	弱	強
一次一本	困難	簡單
後加工性	佳	佳

資料來源：“數位印刷的色彩評比和應用”，江瑞璋，民96，印刷科技，23：1。

數位印刷省略傳統印刷之滾筒來轉印，因而又稱為非接觸式之電子印刷，或無壓印刷（Non-Impact Printing, Electronic Printing），依印刷模式不同可分為熱轉移、靜電、噴粉與噴墨列印等方式。

二、噴墨列印技術簡述

數位噴墨列印技術—非撞擊點矩陣式印刷技術（Non-Impact Dot-Matrix Printing Technology），為數位印刷科技中，備受重視之一環，印刷人雜誌（2012）更譽其即將成為21世紀圖文傳播之最重要科技手段。噴墨列印的基本原理是透過壓力或是加熱，推擠墨水經由超細微之噴頭噴出後形成墨滴，墨滴噴出後到達被印材質上特定點，以形成文字或圖像之效果（張世鋤，2002；陳忠輝、張嘉容，2007）。

1969年，來自瑞典的Hertz教授開展出不同於Dr. Sweet的連續式噴墨系統，控制墨滴大小不同，因而具有半色調（Half Tone）之效果，適合應用於彩色列印之噴墨印表機（張世鋤，2002）。此外，1972年以Siemens公司為先驅發明了另一種噴墨系統—原理為壓電式（Piezoelectric）的依需式噴墨列印技術（Drop-On Demand Inkjet Printing, DOD）。其後各家廠商依此原理推出許多不同之系統，近十年來使噴墨列印之品質提升突飛猛進（王勤，2009）。其中商業化最成功者首推EPSON公司，無論個人化家庭式印表機、或寬幅印表機之使用量與佔有率接獨占鰲頭。根據IDC市調統計，Epson於2011年第四季及2012年第一季，分別以42.6%及40.4%的市佔率連續奪下台灣噴墨印表機銷售冠軍（EPSON新聞與活動，2012）。

依需式噴墨（Drop-On Demand Inkjet Printing）只在印紋的部份噴出墨滴（葉文俊，2006），依其墨滴形成方式與墨水噴出之原理不同，可分為四種形式：壓電式（Piezoelectric）、熱氣泡式（Thermal Inkjet, TIJ）、靜電式（Electro-Static）與音波式（Acoustic），目前市場上以壓電式及熱泡式為二大主流。

（一）噴墨技術發展

為了提升列印密度與速度，EPSON愛普生公司將新一代的Micro Piezo印字頭視為未來的核心技術—透過半導體專業技術製造出極精細的小型Piezo元件，增加印字頭噴嘴數，同時維持相同的墨滴大小。根據開發Micro Piezo印字頭的Epson研究團隊經理Tomoaki Takahashi所言，Micro Piezo印字頭每秒可產生40,000滴墨滴，大幅提升列印速度與解析度（Boyd, 2007）。2010年推出新一代TFP 10多頻道微針點噴墨頭，更可列印出Pantone 98%的色域，是以前列印機所未能達到的色彩表現力（陳政雄，2011）。

除此之外，EPSON積極發展獨家的智慧型墨點調控技術（Variable-Sized Droplet Technology），針對不同列印資料，搭配Micro Piezo噴頭精確地調控墨點大小。主要提供三種尺寸不一的墨滴，根據色彩區域大小之不同而自動變換，可變化出光部、中間調及暗部等相當多階調所需之墨量；墨滴在每一色塊中得到最佳配置—細緻圖文以小墨點噴印；大區域色塊與平滑漸層則自動變換大墨點（Epson Singapore, 2010）。利用不同大小的墨點結構，組合噴出濃淡與

漸層度，不只提升打樣、噴繪速度，也使列印的層次分明、粒子清晰，符合商業領域之需求。

（二）墨水種類

印刷人雜誌（2012）將噴墨系統分爲主要四組成結構，其中列印媒材和墨水歸爲重要一環節。典型噴墨印墨之組成成份包含色料（著色劑）、媒液、接著劑和添加劑。

其中色料（Colorant），又稱著色劑，需具有高不透明度、高溶解度、耐久及耐水等特性，一般而言粒徑以不超過 $3\mu\text{m}$ 爲宜（陳忠輝、張嘉容，2002）。其直接影響墨水呈現不同顏頻；透過吸收並反射特定波長的可見光，使人眼觀察得各種不同之顏色。依色料分類，噴墨墨水可分爲染料和顏料兩類型，分別應用於各類型噴墨領域。

顏料（Pigment）爲基底之墨水，其製造過程複雜，色料粒子由數千個分子以特殊的排列方式聚合而成，懸浮分散於媒質中。該種墨水主要優點爲耐光、耐濕且耐特殊氣候，色彩固著穩定性高，能避免染料墨水褪色後之色彩失真，使被印品得以長時間保存。又奈米顏料出現後，在墨水研磨時將顏料粒子細化至奈米規格，並提高粒子圓度，使顏料墨水之色域表現與噴列的安定性得以提升（葉文俊，2006）。

由於顏料粒子無法溶解於水中，爲使粒子能懸浮夠長的時間，並均勻地分散於媒液中載運至被印紙材，EPSON公司乃採用微包覆

（Micro-encapsulation）技術，將顏料粒子以樹脂類之中介物包覆。如圖2-1，以經過特殊調配之不溶水透明樹脂包覆顏料粒子，使其具備抗水、抗臭氧與更強的抗光效果。

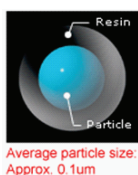


圖2-1 EPSON Ultra Chrome顏料墨水樹脂包覆粒子圖

資料來源：Epson United State (n. d.) *Epson UltraChrome K3 TM Ink Technology*, Retrieved from <http://www.epson.com/cgi-bin/Store/Landing/UltraChromeK3.jsp>

新型高階Stylus Pro機種所採用之Ultra Chrome ink顏料型墨水，2005年推出至今，可達8色甚至11色豐富色域。增加靚紅色（Vivid Magenta）與橙色（Orange）、綠色（Green）等色，擴增色郁涵蓋範圍；並結合K3一亮光黑、淡黑與超淡黑三種獨特灰階調，製造黑白灰色平衡的黑白相片列印效果。Ultra Chrome墨水使噴印色彩之保真度、光澤度大幅躍進，能快速乾燥，且同時改善抗光性，增強原有穩定之耐候與耐水性等優點，近年來多爲數位版畫、藝術作品複製典藏所選用（陳政雄，2010）。

三、紙張與印刷適性

被印媒材是噴墨系統構成環節中不可或缺的主要元素，是圖文重現的重要載體；選擇適當的媒材，乃生產精良的噴墨印品所需要件之一，決定墨滴精細與外觀之顏色呈現。造紙原料和技術決定了紙張的結構與性能，從而影響印刷呈現之結果。因此瞭解紙張的結構特點，對認識其性能及提高使用效果及其重要（郭正德、廖鴻達、吳萬順，2002）。

（一）噴墨輸出紙張

1. 原紙及塗料

未經塗佈的紙稱爲原紙（Base Paper），原紙結構即組成紙張的基本成分。一張印刷紙張之基層由許多長條狀之紙纖維交錯而成，上有許多不規則顆粒狀之礦物性填料；加上纖維層間的空隙，組合而成；材料中纖維、填料和色料等，其種類、大小、形狀與鏈結程度不同，均導致紙張重量、強度及性能差異（郭蘭生，1990）。而印刷用紙之原紙成份，除以純天然原始之棉纖維（Cotton Rag）製造不易變質的耐久性紙材，多由木質纖維製漿而成，並依製漿過程分爲機械紙漿磨木漿（Groundwood）與不含磨木漿（Freesheet）兩種紙張。

根據Pope指出：木質素會隨時間氧化並產生酸性物質，從而導致褪色，並破壞紙張纖維，故不含磨木漿紙材適合噴墨表現，較常做爲數位輸出被印材。隨著噴墨輸出產業日趨多樣化，材料之選擇範圍更加廣泛，消費者無不追求更高品質、特殊表現之成品效果。目前開發數位應用紙材之基本考慮因素包括將色料與承載色料之媒質溶液分開；及將色料長期穩定置留於紙面（吳宗駿，2008）。針對此兩功能，造紙商積極研發，豐富噴墨紙種並提升紙張性能。

2. 噴墨相紙

噴墨列印紙材依不同面向有多種分類，依表面特性可分爲塗佈紙與非塗佈紙。塗佈紙（Coated）最常用於噴墨列印，主要供攝影圖像之輸出。當水性印墨與塗佈紙接觸，將顏料分離並托往紙張表層，就不易產生印墨滲透（Strike Through）；並且因塗佈層可快速吸收水分，減少紙張分散不均勻、滲色、起皺及卷曲等現象（林奇慶、彭元興、陳忠輝，2012）。一般又將塗佈紙分爲相片紙與藝術紙：相片紙爲藉由塗佈層之填料處理，加強紙張亮度、白度與吸墨程度，以提升影像呈現品質及解析度；藝術紙則通常以水彩紙加工而成（張景嘉，2007）。近年來噴墨輸出逐漸滲透藝術市場，帶有特殊紋路與手工質感的藝術紙材逐漸爲創作者所喜愛，各廠商也相繼推出傳統美術用紙，加工爲影像輸出使用。

長期使用於沖印相片紙材的樹脂塗佈RC（Resin-Coated）紙張，隨著噴印技術普及與進步而出現在噴墨輸出市場。嚴格言之並非專紙塗佈方式，實

爲一紙材結構—其基材爲天然紙漿並上下包夾於兩層聚乙烯間，防水性強、具高光滑性；因能防止墨水過多導致紙張起皺，可噴印大面積印紋（Touru & Hiroshi, 1993）。

自2000年起，影像噴墨輸出市場由成本低廉的RC相片紙張轉向高品質的FB紙基相紙；且由於傳統造紙廠加入，FB紙基甚至純棉紙基（100% Cotton Rag）產品逐漸蔚爲主流（Digital Fine Print Material Research, 2009）。紙基相紙（Fiber-base, FB）源自於傳統暗房沖洗相片紙材，由天然紙張纖維如純棉纖維或純alpha纖維(alpha cellulose)構成，表面塗佈氧化鋇（Baryta）增加相紙的反射率使其更白；精細的纖維結構與較高的銀鹽含量，影像階調豐富、品質絕佳（Berkowitz, n.d.）。此外添加碳酸鈣等鹼性緩衝劑的紙張，*pH*值呈中性，能阻擋空氣中之酸性物質，增加印紋保存期限並提升色域表現性能（綠葉數位影像工作室，2008）。

3. 光學增輝劑

由於紙張纖維之色雜質，紙張抄造時乃添加染料或螢光增白劑—又稱光學增輝劑（Optical Brightening Agent, OBA）—於漂白漿料中或做爲膠料塗佈之添加劑。螢光增白劑分子反射光譜的波長均較吸收波長爲長，能提升光的反射量；分子吸收300-400nm的紫外線，並轉換發射出420-450nm波長的可見光（藍—紫光區），進而補償紙張纖維偏淡黃之色差，使紙張增白，增加表面明亮度與白度。（Shi, H., Liu, H., Ni, Y., Yuan, Z., Zou, X., & Zhou, Y., 2012）

（二）紙張特性

爲了達到印刷物的品質及印刷作業之要求，所採用的各種材料必須具備特定之性質；紙張之印刷適性尤其重要，依印刷方式、印刷標的物種類及品質需求之不同，評估紙張特性對印刷之適合性（蘇裕昌，2005）。由於抄造時製漿方式、纖維及添加劑種類、抄造及加工方式之不同，使紙張呈現不同性質，並影響應用時其印刷作業適性與色彩品質表現。

最廣爲採用的紙張性質分類乃William H. Bureau (1982) 於What the Printer Should Know About Paper一書中，針對印刷適性觀點分爲以下四類：外觀性質（Appearance Properties）如紙張顏色、白度、光澤度、不透明度；化學性質（Chemical Properties）如*pH*值、相對濕度、塗料組成、纖維與填料之組成；結構性質（Structural Properties）如塗佈紙抗剝離性、絲流方向、透氣性及剛挺性；表面性質（Surface Properties）如平滑度、墨水吸收性、表面強度、耐剝性、兩面性及表面清潔性（陳勇志，1993）。透過儀器可以檢測得出紙張所具上述特性，進而掌控印刷品呈現品質；其中外觀性質爲紙張經光線照射在紙張上之反射率而得，故又稱光學性質（Optical Properties），該特性對於人眼而言較爲顯著。

光線入射紙張表面後，經單向反射（Specular Reflection）、透射（Transmission）、散射（Scattering）或吸收（Absorption），決定紙張光學性質，受紙張中物質之光學特性—紙漿的白色程度、填料與表面塗佈之白色顏料、染料添加與否與原紙結構組成等影響（鄭戊提，1998）。不同印刷版式，針對紙張之光學性質具有同等的要求水準，本研究擬就其中三檢測要項加以探討：

1. 光澤度（Gloss）

光澤度乃紙面上某一特定角度入射光照射下，對定向光的反射及無定向光的散射程度（蘇裕昌，2005），亦即紙張表面發亮（Shiny）或產生光輝（Lustrous）的特性。通常印刷用紙使用的入射角度爲75°，而最理想的光澤度乃入射光等於反射光之鏡面光澤。紙張受光照射後之鏡面反射光量，因表面平滑程度及介質之折射率（白紙折射係數）、入射光之波長即入射角度而定。

塗佈紙因顏料與接著劑間優良互動及塗層間之快速固定，減少孔隙並使表面平滑，光澤度增加（黃彥儒，2010）；又光澤度與印刷品質相關，影響印刷後墨膜光澤與色彩表現效果；光澤度越高，紙張表面平整細膩，墨滲透少，使印刷墨層保持較高的濃度，充分表現色彩；且紙張中的色散光減少，使印紋鮮銳度提升（喻家聲，1986）。就使用者而言，以文字爲主的書刊紙張，光澤度一般爲宜，避免長時間閱讀因光線反射使眼睛疲勞；而影像版面較大者，適用光澤度高的紙張，使墨色均勻、厚實而鮮艷（林俊宏、謝宛芳、林婉琪、黃聖涵，2005）。

2. 白度（Brightness）

當光線由空氣進入紙張時，行徑會受纖維影響兒變曲；紙層內纖維駛入射光經無數次反射與折射後，向四周散射。若所有光波均反射至觀測者之肉眼，則紙張呈現白色（鄭戊提，1998）。紙張的白度分爲白度（Brightness）與視白度（Whiteness）：白度指基於人眼的視覺感知對於藍光較敏感，故以單一波長457 nm 藍光照射下，紙張表面之反射光量，以百分率表示，較符合人眼實際觀測之感覺；視白度則是以可見光全光譜波長之光線照射紙面後所測得之反射率，受全反射率及反射均勻性影響（陳昌郎，上課講義，2013）。

紙張白度低者，僅部分色光被吸收，無法如實表現明暗對比及反差，較易產生偏色。若白度越高，對光線反射率高，色相差減少、明度值增加，色彩特性較能準確表現且印刷效果提升；印刷對比亦能提高，使半色調網點表現更佳（陳勇志，1993）。

3. 不透明度（Opacity）

若紙張未將光線反射回去，則表示光線在紙張內部被吸收或透過紙張傳送至另一面（柯馨怡、吳中榕、陳忠輝，2002）。不透明度是紙張阻擋入射光線穿

透的程度，即印刷時紙張反面對印刷油墨或噴印墨水之遮蓋能力。

根據TAPPI（1996）標準法T 425 定義紙張之不透明度，以照度對比值（Contrastratio）表示，測試方法為R0.89 與Ro 所測反射率之比（TAPPI Opacity C0.89 = $R_o / R_{0.89}$ ），數值由全透明之0% 至100% 完全無光線透射。Ro 為單張紙背襯黑體所測得反射率，R0.89 則為背襯有效反射率89% 白體時之反射率，其測試原理如圖2-2所示：

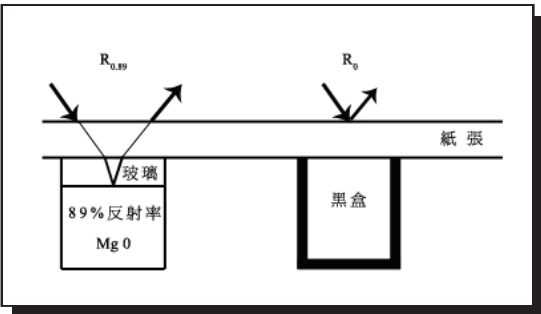


圖2-2 紙張不透明度測試原理圖

資料來源：本研究整理

當光線由空氣進入密度高之纖維介質，會產生折射，速度減緩且部分偏向；離開纖維後則恢復原有速度及方向。雖純纖維素本身透明，但光線於兩介質轉換間，吸收與散射等作用造成光線之損失即紙張不透明程度（鄭戊提，1998）。低透明度之紙張，印紋易於紙品背面顯現，造成次頁之透印現象（Show Through），使印刷對比降低、閱讀困難。一般而言原紙基重越高，纖維交織性佳，則紙張不透明度增加；添加填料、染料等使表面散射係數提升，降低透射光量、提高不透明度。

四、色彩表現與品質評估

噴墨印刷過程中，有無數的潛在變異可能影響印刷品質，必須確認何種變異對於印刷穩定性影響最鉅，並透過適度調整印墨、紙材有效控制印刷製程（黃彥儒，2010）。對於印刷品質之判定因環境與個人偏好、主觀感知而有差異，藉由濃度計、顯微鏡、分光光譜儀等專業儀器，可將印刷品質加以「數量化」，並以此為依據作為評估印刷之色彩再現品質的標準（鄭戊提，1998）。

（一）色彩表現要項

色彩度量的原理是將色彩視覺過程中光源、色物體與色彩接收器分項量測，利用光學儀器分光光度計（Spectrophotometer）測試樣品吸光值從而轉換得濃度與色度計（Spectrophotometer）來測定顏色。綜合各印刷標準規範之要項，與濃度有關的數值如滿版濃

度、網點擴散、印刷反差、油墨疊印等用以監測油墨與紙張之間的互動關係（蘇裕昌、陳鴻財、張雅慈，2004），並影響列印色彩表現，因此常用於評估噴墨用紙印刷性質之標準。

1. 滿版濃度（Solid Ink Density）

濃度係指被印材料吸收光線的能力；一般而言，四色濃度越高，色彩越趨飽和。滿版濃度則指色料於被印材料上之最高濃度值，可使用反射式濃度計測得。其與網點擴張、疊印能力等其他印刷品值特性息息相關；此外，Franz Sigg在1970年TAGA會議上指出：階調複製曲線（Tone Reproduction Curve）亦隨墨膜厚度而改變—滿版濃度越高，中間調濃度增加量提升，導致中間色調偏暗、並影響暗部層次與色彩之飽和度（陳耀東，2008）。噴墨系統中墨點（spot）對於紙張的覆蓋率，即墨水面積佔被印紙張面積之百分比，寬容度僅3% 至10%，受噴印墨點大小及墨點位置的均勻性影響。墨滴達到受質（media）之後若能適度的擴大，即可產生更高品質的滿版影像。（呂植圳，2002）

一般而言，多色印刷時為達到最佳的色彩平衡和色彩飽和度，其最佳滿版濃度參考值由喻家聲1990年於科技月刊中提出，如表 2 - 2：

表2-2 多色印刷之最佳滿版濃度值

色版	傳統平版印刷
黃版	0.95 - 1.1
洋紅版	1.3 - 1.5
青版	1.3 - 1.5
黑版	1.4

資料來源：王翠雲、周佳穎、吳美儀、鄭宛萍（2005）。國立台灣藝術大學美術設計相關科系學生對數位寬幅噴墨印刷品質滿意度之研究。國立台灣藝術大學圖文傳播藝術學系學士論文，未出版，新北市。

2. 印刷對比（Print Contrast）

印刷對比乃測量暗部階調濃度多寡，做為判斷印刷品階調層次豐富程度之重要指標，為控制印刷品質要素之一。根據SWOP（Specifications Web Offset Publications）於1998年出版刊物中指出：印刷對比值越高，暗部階調分明、層次細膩；其值受被印物上滿版濃度、75% 網點濃度、亮度、光澤度等的影響（乃靜莉，2010）。印刷對比的計算為滿版色塊和四分之一三階調濃度值之比較，其計算公式：

$$PC = \frac{(D_s - D_t) \times 100\%}{D_s}$$

D_s 為滿版色塊濃度值

D_t 為75% 或80% 網點整合濃度

3. 色差 (Color Difference)

國際照明委員會 (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) 1976年推出CIE $L^*a^*b^*$ (CIE LAB) 表色法，加入明度資訊，並設計出知覺均勻色域 (Uniform Perceptual Color Space) 之均等色彩空間， $L^*a^*b^*$ 則分別表示明度、紅綠座標與黃藍座標值 (MD研究會、電塾、DTPWORLD, 2009)。色差則是用來表示總色彩差別和建立定量色彩公差 (羅梅君, 1991)，包含色彩三屬性中的彩度 (Chroma)、明度 (Lightness) 之差異性，通常以符號 ΔE 表示。色差使用之模式有CIE LAB、CIE LUV、Hunt、CMC、CIE2000等公式，其中CIE LAB 色差公式為1976年由國際照明委員會 (CIE) 製訂，以表示均勻色彩空間中色點之間的距離 (黃彥儒, 2010)，供減色法相關工業如紡織、印刷業使用。其公式如下：

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

(二) 品質標準規範

2004年國際標準組織頒布一系列印刷及打樣標準—ISO 12647；其中ISO 12647-2乃針對平版印刷而製訂，定義包含塗佈紙、銅版紙在內五種紙張之色度、光澤度、白度與基重，探討三重要數值：四色CMYK滿版在CIE色空間上之定位，即色座標或色彩值 ($L^*a^*b^*$)；階調值 (網點擴大值)，與CMY三色在中間調40或50處其階調的容許寬容值 (江瑞璋, 2008)。德國平面工藝技術研究協會 (FOGRA Forschungsgesellschaft Druck e.V.) 提出數位打樣認證 (Proof Creation)，同樣依據ISO 12647-2之ISOCoated.icc中塗佈紙類與平版印刷打樣色彩設定，針對印前打樣系統制定驗證規範，測試輸出最大色域範圍與色彩準確度。其中Ugra/Fogra Media Wedge CMYK 2.1測試導表包含46個色塊，標準 $L^*a^*b^*$ 值與ISOCoated.icc規範相同 (江瑞璋, 2005)，數據如表2-3。

表2-2 多色印刷之最佳滿版濃度值

色塊	$L^*a^*b^*$ 值
Cyan	55.16/-39.94/-50.74
Magenta	47.23/ 75.94/-03.75
Yellow	89.68/-4.45/94.69
Black	16.86/0.38/-0.37
Red	47.33/69.02/45.12
Green	48.55/-67.47/28.04
Blue	24.43/16.18/-47.1

資料來源：ISOCoated.icc。

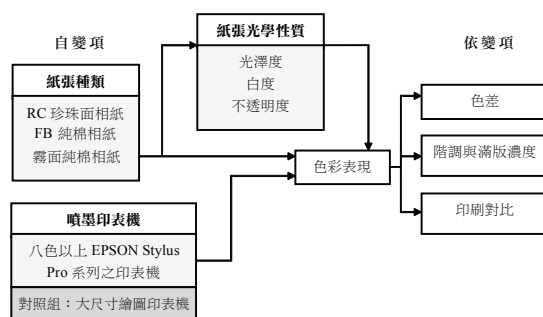
目前由於國內仍未設立完整的噴墨列印之色彩規範與驗收標準，印刷工業研究中心乃於2005年以ISO12647-2內所規範的色彩標準為基礎，推動數位打樣之ISO色彩認證，建立國內印刷業者統一之色彩標準 (張世錫, 2010)，將色彩建立一套明確的溝通方式，以控管品質、降低成本並減少色彩爭議。

參、研究方法

一、研究架構

研究乃針對藝術微噴專用之八色以上EPSON Stylus Pro系列之微針點壓印表機，其噴印於各類噴墨相片紙材之色彩表現能力；量測紙張光學性質以檢視其導致色彩變異之相關並與策其迴歸方程式。

實驗設計如圖3-1，實線框格內為實驗變數及細項水準，箭頭符號則標示兩變項之間的關係。



二、實驗流程

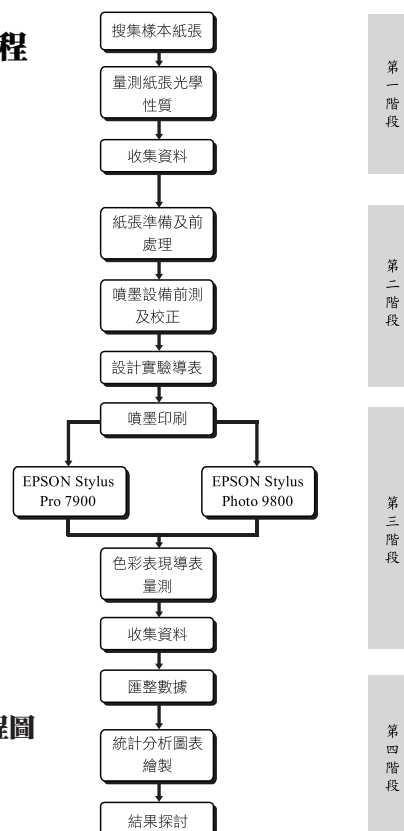


圖3-2 實驗流程圖

三、實驗儀器與設備

(一) 測試設備

實驗控制組之列印設備採用EPSON Stylus Pro 7900藝術微噴認證印表機，採用更新一代的UltraChrome HDR Ink廣色域墨水，比起前代UltraChrome K3 with vivid magenta九色墨水新增橘色及綠色，廣色域高保真墨水使色彩精準性提升、色調表現更加豐富亮麗。此外運用EPSON新開發色彩演繹技術（LUT），減少印紋顆粒、使層次平滑，提高列印品質。該型號於2009年獲European Digital Press Association歐洲數位印刷協會選為年度最佳打樣系統（2009 BEST Proofing system）。

對照組設備則為私人使用之EPSON Stylus Photo 9800大尺寸繪圖印表機基本規格，使用UltraChrome K3八色墨水，利用三種不同濃度黑色墨水更精準的控制灰色平衡，並大幅改善中間調色彩與暗部細節表現。詳細規格見表3-1：

表3-1 實驗印表機基本規格

	EPSON Stylus Pro 7900	EPSON Stylus Pro 9800
解析度	最高可達 2880*1440 dpi	最高可達 2880*1440 dpi
墨水類型	Epson UltraChrome HDR ink	EPSON UltraChrome K3 ink
列印速度 (不包括傳輸時間)	全彩影像 A1 尺寸 紙張種類：Plain Paper Speed 模式：每頁約 1.5 分鐘 (360x720 dpi) Quality 模式：每頁約 3.3 分鐘 (720x720 dpi)	全彩影像 A1 尺寸 紙張種類：Plain Paper Speed 模式：每頁約 2.2 分鐘 (360x360 dpi) Quality 模式：每頁約 5 分鐘 (720x360 dpi)
列印範圍	24 inch	24.16 inch

資料來源：EPSON 台灣愛普生

(二) 量測工具

實驗使用測量儀器包括瑞士ZEHNTNER ZLR1050紙張專用測頭光澤度儀，具絞鍊式機座，乃針對紙張測試所設計；透過分光原理及光學幾何結構以45°角進行環狀觀測，量測樣本15點之反射光並求平均值，使測色結果更為精確，廣泛應用於塑料、食品工業及螢光類產品之HUNTERLAB之分光測色儀器LabScan XE色度計；美國PHOTOVOLT 577不透明度計，透過感應組件直接讀取樣本之反射度百分比，除不透明度外亦可測量色彩、白度、遮蓋力、亮度等值。

噴墨後色塊之濃度與色度等品質要項以美國X-Rite 530 可攜式反射式分光濃度計量測數據。採用精確的光譜量測系統，可計量色塊濃度、La*b*色度值、印刷對比、網點擴張等數據，搭配色彩管理軟體，能精確控制色彩複製流程中影像品質與顏色再現。

四、實驗方法

(一) 紙張採樣

本研究依噴墨相紙之不同基材結構與塗佈層處理，搜尋市售紙樣，選用三種不同紙材基重相近之樣張：290 g/m²之ILFORD半光珍珠面RC相紙、310 g/m²之Canson白金純棉相紙與310 g/m²之Museo 霧面純棉相紙作為實驗材料。

ILFORD半光珍珠面RC相紙（ILFORD Galerie Smooth Pearl Paper）為2012 TIPA Awards選出最佳列印專用紙（Best Fine Art Inkjet Paper）ILFORD GALERIE Prestige系列紙材之一，表面塗層之奈米結構提升印紋耐久度，並使色域表現優異；Canson 100 % 純棉相紙（Canson Infinity Rag Photographique），透過添加天然礦物質提升紙張白度，不含OBA光學增輝劑；Museo 霧面純棉相紙（Museo Portfolio Rag），屬Archival Fine Art Paper系列，百分之百純棉紙張，無光學增輝劑。

(二) 紙張光學性質檢測

實驗委請印刷工業技術研究中心協助量測紙張之光學性質包括：光澤度、白度、不透明度，其檢測方法與儀器各有詳細規範。

(三) 列印導表設計

為探討不同紙張其噴墨列印後之色彩特性與變異，為此需尋求一色彩評比之基準—根據印刷工業研究中心提供之Ugra/Fogra Media Wedge CMYK 2.1測試導表改良，並設立ISOCoated.icc標準CIE La*b*色度值作為參考，供不同紙張比較其量測數據之差異（即其色彩品質特性）。故設計導表如圖 3-3：



圖3-3 列印導表之版面配置

為使噴印結果符合所需測試項目，導表設計有CMYK四色與疊印三色RGB滿版及75 %、50 %、25 % 階調色塊；另有一參考影像，可供視覺觀查與評估。

（四）噴墨列印條件與設定

使用專業繪圖軟體Adobe Photoshop CS3 輸出色塊導表，設定使用中之色域RGB為sRGB IEC61906 - 2.1；CMYK色域則為U. S. Web Coated（SWOP）v2。此外列印品質與解析度相關設定如表 3-2：

表3-2 實驗印表機輸出選項設定

	EPSON Stylus Pro 7900	EPSON Stylus Photo 9800
列印品質	Quality 5 最高品質	Epson 標準 最高品質
列印紙張種類	Premium semigloss photo paper	Premium semigloss photo paper
解析度	1440*2880 dpi	1440*2880 dpi

（五）色彩度量及色差計算

使用X-Rite 530反射式濃度計量測CMYK滿版色塊之濃度、印刷對比與色度值 $L^*a^*b^*$ ，依ISO Coated.icc標準選擇D50標準光源與2°視角。以Microsoft Excel表格紀錄數據，並根據CIE色差公式，輸入運算公式進行色差換算。

五、資料處理

實驗數據之統計分析以IBM SPSS Statistics 19 軟體及GANOVA程式進行。採用統計方法依研究假設而分為單因子變異數分析（One-Way ANOVA）、二因子變異數分析（Two-Way ANOVA）、相關性分析（Analysis of Correlation）及多元迴歸模式之建立（Multiple Regression）。

肆、結果與討論

研究首先針對不同原紙結構與塗佈層填料之三種紙張—ILFORD半光珍珠面RC相紙、Canson白金純棉相紙及Museo 霧面純棉相紙，量測樣本紙張表面光學性質包含：光澤度、白度、不透明度。以對照組EPSON Stylus Pro 9800繪圖輸出印表機與實驗組EPSON Stylus Pro 7900藝術微噴認證印表機兩設備噴印後測量色塊濃度與色度數據，進行紙張光學性質與色彩呈現差異之相關分析，進而探討兩者間交互關係。

一、紙張光學性質分析

表4-1 為紙張表面光學性質之描述性統計量分析報表，僅針對平均數與標準差加以探討。結果得知，ILFORD半光珍珠面RC相紙表面光學性質無論光澤度、白度平均數皆最高，適性較其他二者優良。而

Museo 霧面純棉相紙雖光澤度與白度平均最低，但其樣本間差異之變異量小，光學性質均一，製造品質最為穩定。

表4-1 紙張光學性質描述性統計報表

		個數	最大值	最小值	平均數	標準差
光澤度（%）	RC 相紙	10	60.25	59.20	59.7450	.37745
	純棉相紙	10	3.55	3.45	3.5150	.04116
	霧面純棉相紙	10	1.30	1.30	1.3000	.00000
白度（%）	RC 相紙	10	103.66	102.42	103.1400	.45556
	純棉相紙	10	91.67	91.21	91.4350	.14879
	霧面純棉相紙	10	88.86	88.61	88.7560	.08947
不透明度（%）	RC 相紙	10	97.40	97.10	97.2600	.10750
	純棉相紙	10	98.80	98.10	98.4500	.25055
	霧面純棉相紙	10	98.50	97.90	98.1800	.19322

表4-2 為不同紙張與其表面光學性質之變異數分析摘要表，可比較其不同光學性質之平均數差異及顯著性程度，並且考驗研究假設之成立。

本階段實驗假設為：

H_0 ：以相同儀器與標準量測程序檢驗，不同噴墨相紙其光學性質（光澤度、白度、不透明度）之間無顯著差異。

虛無假設 H_0 ： $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_1 ：以相同儀器與標準量測程序檢驗，不同噴墨相紙其光學性質（光澤度、白度、不透明度）之間有顯著差異。

對立假設 H_1 ： $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

考驗結果不同紙張種類其表面三光學性質均達顯著差異，對立假設成立。

表4-2 不同紙張表面光學性質單因子變異數分析

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
光澤度	組間	21941.791	2	10970.895	228296.086	.000
	組內	1.298	27	.048		
	總和	21943.088	29			
白度	組間	1170.278	2	585.139	7385.738	.000
	組內	2.139	27	.079		
	總和	1172.417	29			
不透明度	組間	7.785	2	3.892	104.570	.000
	組內	1.005	27	.037		
	總和	8.790	29			

經由不同事後比較法Post Hoc檢定，比較紙張種類三水準組間之光學性質平均數差異—本實驗採用較為嚴謹之Scheffe法進行比較。綜合結果得知，表面塗佈樹脂層之ILFORD之RC結構搭配半光面珍珠面塗佈之噴墨相紙，其光澤度59.75 % 明顯高於純棉紙基相紙之個位數字值，人眼亦能清楚辨別；白度亦顯著較高，甚至超過100 %。又Museo霧面純棉相紙無論光澤度或白度皆為三種紙張中最低者，且達顯著。

此外，本研究檢測之藝術微噴相紙不透明度均超過95 %，尤以純棉紙基相紙較甚，顯著高於ILFORD RC相紙。

實驗亦量測三種紙張之平均紙白色度，以La*b*值表示—ILFORD半光珍珠面RC相紙為 93 / - 0.11 / 1.58；Canson白金純棉相紙為 95.54 / 0.72 / 2.54；Museo 霧面純棉相紙則為 94.92 / 0.58 / 3.29。a*值正為紅負為綠，三種紙張中又以ILFORD半光珍珠面RC相紙較偏綠，另兩者則偏紅；而Museo 霧面純棉相紙b* 值最高，紙白最偏黃色，肉眼亦可辨識。

(一) 滿版濃度

本階段實驗乃檢定不同紙張經實驗組與對照組兩印表機噴印後，其滿版濃度之變異程度。分別探討兩操弄因子與依變項各色塊滿版濃度間之主要效果（Main Effect）與交互作用（Interaction Effect）。兩個自變項中，印表機機型為A因子，紙張種類則為操弄之B因子。實驗假設如下：

1. A因子主要效果

H₁：不同種類紙張噴印相同實驗導表，其四色滿版濃度有顯著差異。

H₀：μ_{a1} = μ_{a2} = μ_{a3}

H₁：μ_{a1} ≠ μ_{a2} ≠ μ_{a3}

2. B因子主要效果

H₁：紙張以不同噴墨印表機列印相同實驗導表，其四色滿版濃度有顯著差異。

H₀：μ_{b1} = μ_{b2}

H₁：μ_{b1} ≠ μ_{b2}

3. A因子與B因子交互作用

H₁：各類紙張以不同印表機噴印相同實驗導表，其交互作用後影響色彩表現（即四色滿版濃度）有顯著差異。

H₀：μ_{a1b1} = μ_{a1b2} = μ_{a2b1} = μ_{a2b2} = μ_{a3b1} = μ_{a3b2}

實驗之二因子變異數分析使用鄭招明老師與陳學志老師共同撰寫之GANOVA統計程式進行。得出結果無論分就兩因子獨立討論或交互作用皆達顯著差異，對立假設成立。

表4-3 為實驗噴印結果與喻家聲於科技月刊中提出之最佳滿版濃度參考數值摘要表。探討印品效果，高光澤度之ILFORD半光珍珠面RC相紙呈現CMYK四色色塊之滿版濃度最高，無論經EPSON Stylus Pro 7900藝術微噴認證印表機或對照組EPSON Stylus Pro 9800大尺寸繪圖印表機噴印，其飽和度皆最佳，皆達到或超過最佳滿版濃度；實驗組藝術微噴後洋紅色滿版色塊於兩純棉紙基相紙之間濃度無顯著差異，此外Canson白金純棉相紙之色塊滿版濃度皆為最低。

透過對照組EPSON Stylus Pro 9800大尺寸繪圖印表機比較，可發現藝術微噴之四色色塊滿版濃度，皆顯著較高；尤其黃黑兩色於各種紙張表現良好，均達參考之最佳滿版濃度；由參考圖像主觀感知亦能查覺EPSON Stylus Pro 7900藝術微噴認證印表機噴印色彩鮮麗、具高飽和度。

		Cyan 滿版濃度	Magenta 滿版濃度	Yellow 滿版濃度	Black 滿版濃度
printer	paper	平均數			
Stylus Pro 7900	ILFORD	1.3400	1.5530	1.1640	2.4840
	Canson	.8380	.6290	1.0230	2.4120
	Museo	.8910	.6390	1.0630	2.5610
Stylus Pro 9800	ILFORD	.8530	1.4920	.8770	1.9590
	Canson	.7760	1.1880	.6430	1.2570
	Museo	.8310	1.2160	.7520	1.3130
最佳滿版濃度值		1.3 - 1.5	1.3 - 1.5	0.95 - 1.1	1.4

(二) 印刷對比

三種紙張經實驗組EPSON Stylus Pro 7900與對照組EPSON Stylus Pro 9800兩印表機噴印導表後，量測CMYK四色滿版與75 % 色塊，進行二因子變異數分析，探討不同紙張其四色噴墨印刷對比值(%)之差異。實驗假設如下：

1. A因子主要效果

H₁：不同種類紙張噴印相同實驗導表，其四色印刷對比有顯著差異。

H₀：μ_{a1} = μ_{a2} = μ_{a3}

H₁：μ_{a1} ≠ μ_{a2} ≠ μ_{a3}

2. B因子主要效果

H₁：紙張以不同噴墨印表機列印相同實驗導表，其四色印刷對比有顯著差異。

H₀：μ_{b1} = μ_{b2}

H₁：μ_{b1} ≠ μ_{b2}

3. A因子與B因子交互作用

H₁：各類紙張以不同印表機噴印相同實驗導表，其交互作用後影響四色印刷對比有顯著差異。

H₀：μ_{a1b1} = μ_{a1b2} = μ_{a2b1} = μ_{a2b2} = μ_{a3b1} = μ_{a3b2}

經檢驗後結果：無論分別探討自變項兩因子或交互作用效果，其CMYK四色後之印刷對比有顯著差異，對立假設成立。針對實驗EPSON Stylus Pro 7900藝術微噴認證之印表機噴印後，青色與洋紅色之印刷對比皆以ILFORD半光珍珠面RC相紙為最高；黃色之暗部層次則以Canson白金純棉相紙表現較佳；Museo霧面純棉相紙之黑色階調最為細膩。

藝術微噴之色彩表現，印刷對比平均較對照組之私人用EPSON Stylus Pro 9800大尺寸繪圖印表機高；唯獨搭配高光澤ILFORD半光珍珠面RC相紙之黑色滿版色塊雖濃度高達2.48，但印刷對比卻明顯降低，暗部階調層次漏失。見表4-4：

表4-4 紙張經兩印表機噴印後四色印刷對比值摘要表

		Cyan 滿版對比	Magenta 滿版對比	Yellow 滿版對比	Black 滿版對比
printer	paper	平均數			
Stylus Pro 7900	ILFORD	44.4000	57.2000	38.8000	41.9000
	Canson	44.0000	51.0000	48.8000	51.4000
	Museo	38.1000	45.2000	40.2000	56.0000
Stylus Pro 9800	ILFORD	42.1667	51.1333	42.6000	49.7667
	Canson	12.1000	48.0000	21.8000	67.0000
	Museo	12.1000	37.4000	22.1000	36.6000

(三) 色彩變異 (色差)

本階段實驗乃檢定不同紙張經不同等級列表機噴印後，其色差之變異程度。分別探討兩操弄因子與依變項色差間之主要效果與交互作用。實驗假設如下：

1. A因子主要效果

H₁：不同種類紙張噴印相同實驗導表，其色彩表現有顯著差異。

H₀：μ_{a1} = μ_{a2} = μ_{a3}

H₁：μ_{a1} ≠ μ_{a2} ≠ μ_{a3}

2. B因子主要效果

H₁：紙張以不同噴墨印表機列印相同實驗導表，其色彩表現有顯著差異。

H₀：μ_{b1} = μ_{b2}

H₁：μ_{b1} ≠ μ_{b2}

3. A因子與B因子交互作用

H₁：各類紙張以不同印表機噴印相同實驗導表，其交互作用後影響色彩表現（即色差）有顯著差異。

H₀：μ_{a1b1} = μ_{a1b2} = μ_{a2b1} = μ_{a2b2} = μ_{a3b1} = μ_{a3b2}

經統計分析，不同噴墨相紙經實驗組與對照組兩印表機型噴墨後色塊色度值，與ISOCoated.icc數位打樣標準數值相比之色差，以相同儀器與標準量測程序檢驗，無論分就兩因子獨立討論或交互作用皆達顯著差異，對立假設成立。

表4-5 為實驗量測數據平均數摘要表。實驗組藝術微噴條件下，於ILFORD半光珍珠面RC相紙之滿版色塊色度值，以青色與洋紅色最接近標準值，Canson白金純棉相紙則變異最大；黃色與黑色色塊則相反。兩純棉紙基相紙之洋紅色色彩顯著變異，與標準值相差甚鉅，肉眼可明顯察覺。

對照組EPSON Stylus Pro 9800大尺寸繪圖印表機噴印之黃色與黑色，較接近標準色度值，該兩色彩複製準確性高；青色之表現則否。此外根據表4-6 色差對人眼感知與感受對照表，藝術微噴於ILFORD半光珍珠面RC相紙之洋紅色色彩與數位噴墨打樣標準質最接近，色度差僅介於4~8之間。

表4-5 紙張經不同印表機噴印後四色滿版色塊色差平均數摘要表

		依變數	C100 色差	M100 色差	Y100 色差	K100 色差
printer	paper	平均數				
Stylus Pro 7900	ILFORD	10.6640	6.0713	21.3452	14.9266	
	Canson	16.7751	31.6174	16.7968	14.1991	
	Museo	15.5845	30.7344	19.6098	14.8898	
	總數	14.3412	22.8077	19.2506	14.6718	
Stylus Pro 9800	ILFORD	21.4225	13.4659	8.1477	11.9797	
	Canson	23.3298	16.8563	18.6672	7.8819	
	Museo	22.0165	17.9508	10.9837	8.9581	
	總數	22.2563	16.0910	12.5995	9.6066	

表4-6 色差與差異感受對照表

色差值	差異感受
0.5~2	不容易看出色差
2~4	色塊放在一起時可看出色差，尚可接受
4~8	色塊放在一起時可目視出色差，且差異最大
8 以上	視覺上可直接看出相當大之差異

三、紙張光學性質與噴墨色差之相關與迴歸

(一) 相關分析

針對研究對象藝術微噴領域，採用實驗組EPSON Stylus Pro 7900藝術微噴認證印表機，噴印後色塊色差數據為依變項。進而探討自變項光學性質三水準：光澤度（X1）、白度（X2）、不透明度（X3）與依變項之相關。檢定研究假設三

H₁：相同複製條件下各類噴墨相紙之不同光學性質對列印後色彩變異有相關性存在。

H₀：ρ = 0

H₁：ρ ≠ 0

以多元相關分析進行討論，透過皮爾森積差相關（K. Pearson product-moment correlation）係數 *r* 表示樣本紙張之光學性質（光澤度、白度、不透明度）與色彩呈現之變異（即色差），四變項間相關程度。四變項間相關程度。表4-7 標示 *r* 值高低所代表之兩變項相關程度（馬秀蘭、吳德邦，2002）：

表4-7 皮爾森積差相關係數 *r* 值與相關程度高低分析

	低度相關	中度相關	高度相關
<i>r</i>	0 ≤ <i>r</i> < 0.3	0.3 ≤ <i>r</i> < 0.7	0.7 ≤ <i>r</i> < 1

以顯著水準 .05，對皮爾森積差相關（K. Pearson product-moment correlation）係數 *r* 進行單尾T檢定，實驗結果除紙張白度（X2）對滿版黑色色塊之色彩變異未達顯著外，皆有相關性存在，假設成立。

表4-8 為實驗量測光學性質與滿版四色色差之

相關程度分析摘要：

紙張之光澤度（X1）與青色、洋紅色之色差呈高度負相關，光澤度越高則該兩色與標準色度值色差降低；與黃色及黑色則有顯著正相關性，即色差隨光澤度而提高。紙張之白度（X2）亦與青色、洋紅色塊呈高度負相關，與黃色彩色塊色差則有正向顯著相關。紙張之不透明度（X3）不同於前兩者，其與青色及洋紅色噴墨色差為顯著高度正相關，指不透明度提升導致該兩色之色彩變異加劇；黃色、黑色則相反，隨不透明度增加而色差減小。

表4-8 紙張光學性質與色塊色差之相關程度摘要表

	光澤度（X1）	白度（X2）	不透明度（X3）
C100 色差	-.969**	-.928**	.935**
M100 色差	-.998**	-.978**	.924**
Y100 色差	.754**	.656**	-.824**
K100 色差	.461*	x	-.568**

（二）迴歸模式預測

本階段實驗數據處理方法採逐步迴歸分析，研究三自變數光澤度（X1）、白度（X2）、不透明度（X3），對依變數的影響情況一見表4-9，藉由迴歸分析結果建立線性模式，可預測紙張光學性質對依變項不同顏色之色差的影響情況。

1. 青色滿版色塊與標準色度值之色差，主要受紙張光澤度（X1）之影響，預測能力達93.7 %；估計之標準誤為 .68，數值越低代表估計值與樣本觀察值接近，預測可靠性高。
2. 滿版洋紅色塊色差易受紙張光澤度之影響，且模式解釋程度高達99.5 %，估計之標準誤為 .82表預測可靠性尚可。
3. 黃色滿版色塊之色差則受紙張不透明度影響，模式預測能力為66.8 %；估計之標準誤達1.12，估計值與樣本觀察值誤差較大，預測可靠性降低。
4. 黑色滿版色塊色差值同樣受紙張不透明度影響，預測能力僅 29.9 %，可知相關程度較低；但估計之標準誤僅 .32，迴歸模式預測準確性高。

表4-9 紙張光學性質與四色滿版色塊色差迴歸預測

	迴歸模式	估計的標準誤	調整後的 R 平方
C100 色差	$Y = 16.40 - 0.1 X1$	.67912	.937
M100 色差	$Y = 32.21 - 0.44 X1$	.82028	.995
Y100 色差	$Y = 304.69 - 2.91 X3$	1.12202	.668
K100 色差	$Y = 52.75 - 0.39 X3$	.31538	.299

由實驗結果得知迴歸模式受不同自變項影響，且對於依變數之總變異量，其解釋程度高低受相關係數影響而高低不同。

四、研究限制

本研究主要針對EPSON專業認證之藝術微噴作探討，因此範圍僅限於該廠牌之噴墨印表機。此外，根據EPSON規範須列印於通過認證的指定紙張上，然而專用紙張為國內造紙廠生產，品質較難掌控；加上調紙不易，故以國外大廠進口之噴墨相紙取而代之。

印刷研究中心並無配被光學性質量測器材，需由合作廠商代為檢測，因而無法親自操作實驗；並且未預期過程中紙張放損，導致數據回饋不如預期，降低樣本數，恐影響統計分析之準確性與有效性。

伍、結論與建議

一、結論

（一）品質噴墨相紙之光學性質

紙張光學性質之均勻穩定，為影響列印品質之重要因素之一。此外彩色圖像之輸出，要求色彩複製再現忠於原稿，與色彩呈現之特性滿足消費者需求。數位化時代促使印藝科技之創新研發，藝術微噴領域致力於提升列印品質，使輸出影像更具藝術價值、精緻化與個人化。故針對適宜列印材料之選用，更需嚴格講究與管控。本研究旨在探討藝術微噴專用相紙其光學特性與噴墨後色彩表現差異，兩者間相關程度並建立可預測色彩變異之迴歸模式，綜合結論如下：

實驗採樣三種進口紙張包含一樹脂塗佈RC相紙與兩天然純棉纖維之FB紙基相紙，進行光學特性（光澤度、白度、不透明度）檢測。為承載高墨量印紋並提升影像品質，選用基重介於290 g/m²至310 g/m²—紙張厚實、纖維交織性佳，不透明度均介於95 %至100 %之間。RC相紙表面塗佈奈米結構樹脂，以聚乙烯包覆天然紙張纖維，具高光滑性，表面光澤度與白度亦大幅提升，提升其色域表現；實驗採樣Canson白金純棉相紙及Museo霧面純棉相紙，兩者皆傳統造紙廠，結合造紙工藝與塗佈技術推出噴墨相紙；使用100 %天然純棉纖維，不添加OBA光學增輝劑漂白紙張，堅持最高品質。經量測可發現其紙白偏紅、黃色，光澤度與白度變異程度小，代表該批紙樣光學性質均一、製造品質穩定，且以霧面相紙最佳。

（二）藝術微噴於噴墨相紙之色彩表現

實驗經對照組比較得知，隨印機機型應用領域不同與其技術革新，噴印色彩表現之品質得以提升—經EPSON認證之藝術微噴專用印表機，搭配指定Ultrachrome K3 / Ultrachrome K3 with vivid magenta九色墨水，甚至新一代的 UltraChrome HDR Ink廣色域11色墨水，加上特殊色彩演繹技術（LUT），無論滿版濃度、印刷對比皆顯著提高，色彩更加亮麗飽和、暗部階調也更為細膩。

三種紙張上CMYK四色之色彩表現與品質適性皆有顯著差別。研究發現：高光澤度之RC相紙噴印墨色厚實而鮮艷—滿版濃度顯著高於FB相紙，均達到標準值，而暗部對比效果以青色及洋紅色表現較佳；數位打樣認證採用ISO 12647-2之ISOCoated.icc塗佈紙類與平版印刷打樣色彩設定標準色度值，與RC相紙噴印後之色塊計算兩者間色彩變異程度，洋紅色最為接近，黃色則有明顯色差。

FB紙基相紙添加碳酸鈣等鹼性緩衝劑的紙張，pH值呈中性，能阻擋空氣中之酸性物質，增加印紋保存期限。霧面純棉相紙表面塗佈層之精細的纖維結構與較高的銀鹽含量，使噴墨滿版濃度提升；然一般而言滿版濃度越高，暗部層次漏失機率亦增加，即印刷對比值恐下降—除黑色外，CMY三色暗部階調均以純棉相紙表現較霧面者細緻。純棉紙張藝術微噴後之洋紅色塊較為明亮，與ISOCoated. icc標準值色差甚鉅，選紙時應列入考量。

圖5 - 1 為量測三種紙張經藝術微噴列印CMY及RGB六色之 $L^*a^*b^*$ 色度值，取 a^* 與 b^* 平均數值繪製之六角形二維色域圖。ILFORD半光珍珠面RC相紙色域範圍明顯大於其他純棉紙基相紙。

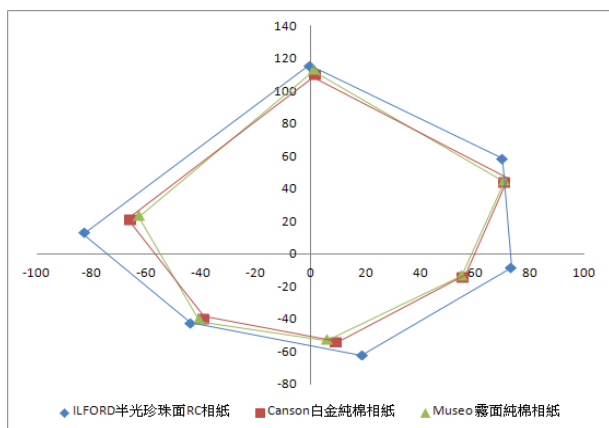


表5-1 實驗採樣紙張之 a^*b^* 六角形平面色域圖

（三）噴墨相紙光學性質與列印色彩表現之關係

實驗針對各紙張之表面光學性質與其經藝術微噴專用印表機噴印後色彩之色差值，進行相關及迴歸預測分析。結果得知：

青色色塊受紙張表面光澤度影響，呈高度負相關—即光澤度越高色塊色差越小；迴歸模式預測能力達93.7%，表示光澤度對該色塊影響較大。洋紅色色塊同樣受紙張表面光澤度影響，光澤度值越高色塊色差越小，其迴歸模式預測能力高達99.5%，影響極劇。故RC相紙於該兩色塊之複製準確性較高，接近認證之標準數值。

黃色色塊則受紙張光學性質中之不透明度影響，具高度負相關性—不透明度值越高色塊色差越小；迴歸模式之預測能力66.8%，仍在60%之上，仍有影響。

藝術微噴之黑色色塊亦受紙張不透明度影響，呈中度負相關—不透明度越高，黑色色塊之色差降低，提升列印品質。但迴歸模式預測能力僅29.9%，影響程度較低。

二、建議

本研究目的為追求最佳化品質管理，必須瞭解各紙張之光學性質對噴印色彩品質之影響，進而能夠掌握並控管輸出圖像之色彩變化。研究結果發現不同紙張種類其光學特性與噴墨品質適性皆有顯著差異，且噴墨後之色彩變異受到紙張光學性質影響，能由迴歸模式預測得知。在此提出建議如下：

（一）對相關業者之建議

1. 紙張光學性質之均勻穩定，為影響列印品質之重要因素之一。此外彩色圖像之輸出，要求色彩複製再現忠於原稿，品質適性更是考驗指標。造紙廠商抄造紙張時，需掌控製程以求同種紙張光學性質之均一與穩定性；而噴墨輸出業者買入紙張後進行檢驗，瞭解紙張特性與輸出色彩表現，彙整數據並建立資料庫以利日後品質控管，提供客戶專業建議或作為溝通依據。回饋紙張特性與適性狀況供造紙廠或進口商做為參考，串連產業上下之品管鏈，於消費者能獲更多元的選擇與最滿意之成品。

2. 藝術微噴產業受限於認證之門檻，且存在傳統沖印產業資本包袱，不易進入；然而其噴墨色域廣、高濃度與飽和度、階調層次豐富細緻、且能長時間保真儲藏，搭配高厚度相片或藝術紙材，可供客製化圖像輸出以及複製高仿真之授權典藏珍品等，兼具藝術與商業價值，仍有其市場區隔與優勢。

3. 進入數位噴墨時代，應盡速設立完整的噴墨列印之色彩規範與驗收標準，推動色彩認證；建立一套明確的溝通方式，以控管品質、降低消耗成本並減少色彩爭議。

（二）後續研究之建議

1. 本實驗僅針對EPSON認證之藝術微噴，然而市面上同等級之大尺寸繪圖輸出印表機如Canon ImagePROGRAF iPF 8300，搭配12色墨水，與實驗用EPSON Stylus Pro 7900藝術微噴認證印表機相比解析度相近，且可同時噴印消光黑與亮光黑而無須交替使用，暗部層次表現更為細緻。後續研究者可選擇更多高等級噴墨輸出印表機納入實驗變項因子，瞭解其他廠牌之噴墨色彩品質。

2. 紙張除光學性質外特性繁多，後續或許能就其他性質加以檢定分析。近兩年藝術紙於藝術微噴等高品質影像輸出領域掀起風潮，紙張之自然紋路能掩飾影像之細微瑕疵，並使成品質感提升。後續研究者可針對藝術紙材與噴墨相紙之特性、解析度、色彩表現等差異進行研究。

參考文獻

1. Boyd, J. (2007)。EPSON新一代MicroPiezo(微針點壓電)印字頭蘊含極大潛力。**Epson科技新知**。2012年11月23日，取自：
http://w3.epson.com.tw/epson/public/download/TechnologyNewline/tnl0705-single_ch.pdf
2. EPSON顛覆傳統印刷磨式的跨領域應用TIGAX上展現企圖心引領數位印刷革命(2012)。印刷人，209，77-80。
3. MD研究會、電塾、DTPWORLD (2009)。超圖解色彩管理——攝影、設計、製版、印刷的數位關鍵。新北市：博碩文化。
4. 王勤(2009年5月8日)。聚焦噴墨印刷技術。2012年10月23日，取自網路城邦：
<http://blog.udn.com/iink/2930124>
5. 江瑞璋(2005)。給打樣認個證 **UGRA/FOGRA CMYK-MEDIA WEDGE**。2013年3月19日，取自：
http://www.brainnew.com.tw/article/ra2005/ra_061005.html
6. 江瑞璋(2008)。ISO色彩和GRACol色彩的分析比較。印刷科技，107，14-32。
7. 呂植圳(2002)。噴墨印刷技術發展與現況。印

9. 那福忠(2005)。不光是印刷。嶄新電子國際論壇。2012年12月23日，取自：
http://www.brainnew.com.tw/article/na2005/n_0620

10. 林俊宏、謝宛芳、林婉琪、黃聖涵(2005)奈米與一般塗佈銅版紙用於張頁式平版印刷之質特性探討。國立台灣藝術大學圖文傳播藝術士論文，未出版，新北市。

11. 林奇慶、彭元興、陳忠輝(2012)。原紙佈層結構對熱昇華轉印紙適性影響之探討。印刷科技，123，46-80。

12. 吳宗駿(2008)。以多孔片狀氧化鋁粉末噴墨印刷相紙之表面塗層。國立成功大學資訊系碩博士班碩士論文，未出版，臺南市。

13. 柯馨怡、吳中榕、陳忠輝(2002)。紙張在印刷中諸問題之探討。印刷科技，18：1，34

14. 郝宗瑜(2005)。數位印刷與教學應用之印刷機制。臺北市：秀威資訊科技。

15. 高惠齡(2009)。色塊雜訊與空間解析度墨列印影像品質影響之研究。國立台灣藝術大學傳播藝術學系碩士論文，未出版，新北市。

16. 張世錫(2002)。數位噴墨列印技術的演進。印刷科技，18：4，32-38。

17. 張世錫(2010年6月)。印刷品質的判讀與說明。博物館數位典藏數位影像品質工作坊，南港區中央研究院資訊科學研究所。

18. 張景嘉(2007)。數位輸出材料印刷適性研究。世新大學圖文傳播暨數位出版學研究所(含班)碩士論文，未出版，臺北市。

19. 郭蘭生(譯)演講摘錄：評估印刷適性之The Science of Printability Evaluation, Bristow, J. 1990, December, 14, 台北世貿中心(1991)。滄印刷雜誌，26，22-31。

20. 陳忠輝、張景嘉(2007)。噴墨紙張因子印刷性能影響之探討。印刷科技，104，50-64。

21. 陳忠輝、張嘉容(2002)。數位印刷之成料現況與趨勢。印刷科技，18：3，54-66。

22. 陳勇志(1993)。台灣區特級銅版紙光學對平印色彩變異影響之研究。中國文化大學造形研究所印刷組碩士論文，未出版，臺北市。

23. 陳政雄(2011)。Epson碓井稔社長對微墨墨歷程及發展厚望。印刷人，200，78-97。

24. 陳政雄(2012)。德國KL印刷公司百年印型數位噴墨輸出。印刷人，209，66-71。

25. 陳春竹、林啓昌(1975)。印刷式性綜論。北市：五洲。

27. 黃彥儒 (2010)。不同塗佈石科紙張於平版印刷之印刷品質特性研究。國立台灣藝術大學圖文傳播藝術學系碩士論文，未出版，新北市。
28. 喻家聲 (1986)。紙張表面性質對彩色印刷影響之研究。中國文化大學造紙印刷研究所印刷組碩士論文，未出版，臺北市。
29. 葉文俊 (2006)。奈米顏料粒徑對噴墨色彩表現研究。國立台灣藝術大學應用媒體藝術研究所碩士學位論文，未出版，新北市。
30. 旗開得勝，EPSON稱霸2012第一季噴墨印表機市場！（2012年7月11日）。EPSON台灣愛普生公司。2012年10月15日，取自：
<http://www.epson.com.tw/ExploreEpson/Detail/5ba56030-ac6a-4521-a1e6-73e1e6a25e83>
31. 噴墨科技的發展與構成分析（2012）。印刷人，209，102-117。
32. 數位版畫製作&典藏級數位影像輸出服務（無日期）。亞太廣告事業股份有限公司。2012年11月21日，取自：<http://www.arz.com.tw/printmaking.htm>
33. 蔡永明 (2006)。數位印刷影像轉印品質研究。國立台灣藝術大學應用媒體藝術研究所碩士論文，未出版，新北市。
34. 鄭戊提 (1998)。改善彩色噴墨印刷用紙之研究。中國文化大學造紙印刷研究所造紙組碩士論文，未出版，臺北市。
35. 藝術微噴 (2008)。綠葉數位影像工作室。2012年11月21日，取自：
<http://220.134.141.209/~clic//service/print2.html>
36. 蘇裕昌 (2005)。塗布紙印刷適性之評估。漿紙技術，9：4，1-21。
37. Berkowitz, S. (n.d.). Fiber-base Printing Paper. *Advanced Photography*, Tyler School of art at Temple University, 301-306.
38. Bureau, W. H. (1982). *What the Printer Should Know About Paper*, Pittsburgh, PA : Graphic Arts Technical Foundation.
39. Epson Singapore (2010, September). *An Epson White Paper Epson Micro Piezo TM Print Head Technology*. Retrieved Nov, 23, 2012, from https://origin-www.epson.com.sg/resource/mediacenter/technology_resources/white_papers/printer/Micro%20Piezo%20White%20Paper.pdf
40. *Inkjet Media* by the MITSUBISHI PAPER MILLS LIMITED(2004). Retrieved June, 14, 2012, from the MPM INK-JET Official Web Site:
http://www.mpm.co.jp/inkjet/english/inkjet_media.html
41. Johnson, H. (2004). *Mastering Digital Printing*. (2nd ed.). Boston, MA: Thomson Course Technology PTR.
42. Shi, H., Liu, H., Ni, Y., Yuan, Z., Zou, X., and Zhou, Y. (2012). Review: Use of optical brightening agents (OBAs) in the production of paper containing high-yield pulps. *BioRes*, 7(2), 2582-2591.
43. Patent US5328749, Resin-coated paper, (2004, July, 12). Inventors: Touro Noda & Hiroshi Matsuda, both of Tokyo, Japan.
44. Xu, R. Ph. D. (2006). *The effects of paper physical properties on print gloss and ink mileage*. Unpublished doctoral dissertation, Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan.