

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

電子紙、傳統紙與石碳環保紙之閱讀特性差異 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 100-2221-E-144-001-
執行期間：100年08月01日至101年07月31日
執行單位：國立臺灣藝術大學圖文傳播藝術學系(所)

計畫主持人：謝顯丞
共同主持人：李怡擘、賀秋白
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：鄭思怡

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 11 月 05 日

中文摘要：近年來數位閱讀與綠能環保是全球的兩大議題，2010 年底國際紙漿價格突破金融海嘯前的歷史高點，使用植物纖維製造的紙媒介已不是最符合綠能環保的閱讀媒介。取而代之的是擁有重複使用與零耗能的顯示模式等特性的電子紙成為未來隨身數位閱讀器的新趨勢。另外，石碳環保紙 (Rich Mineral Paper) 擁有無污染的生產製程與自然分解回收的特性，因此探討這兩種新興且具優勢之閱讀媒介是否合乎傳統紙張印刷之閱讀適性。故本研究之目標為電子紙、石碳環保紙及傳統塗佈紙三種不同媒介的閱讀特性之差異分析。本研究採真實驗研究法 (True Experimental Study)，主要以參照美國印刷科技協會 (Graphic Arts Technical Foundation, GATF) 數位測試導表 (Digital Test Form 5.0) 設計的電子原稿，依據生產廠商出廠所設定之最佳人因設計組合的電子紙與其他兩種閱讀媒介 (傳統塗佈紙、石碳環保紙) 的閱讀特性 (反差、灰度、灰色平衡、色域) 做差異比較與分析。

本研究結果顯示，在閱讀特性「反差」之黑、青、洋紅、黃四色色版以傳統塗佈紙反差最大、石碳環保紙次之、電子紙最小，研究中以傳統塗佈紙為實驗對照組，其四色色版的反差值接近 GRACoL 商業式平版印刷規格建議之反差標準值。在閱讀特性「灰度」本次實驗採用相同的東京油墨株式會社 SOY-CERVO 環保油墨進行傳統塗佈紙與石碳環保紙的印製，在青墨、洋紅墨、黃墨的灰度表現，傳統塗佈紙比石碳環保紙有較佳的灰度表現，表示青墨、洋紅墨、黃墨在傳統塗佈紙上墨色純度較佳。在閱讀特性「灰色平衡」傳統塗佈紙以 C7M4Y4、C30M18Y20、C60M52Y48、C80M74Y72 之百分比組合為最佳，石碳環保紙以 C7M3Y4、C30M28Y26、C60M58Y52、C80M76Y74 之百分比組合為最佳，電子紙以 C7M3Y1、C30M18Y16、C60M52Y58、C80M70Y66 之百分比組合為最佳。在閱讀特性「色域」經 35 次 ECI2002R 測量求其平均值後，以傳統塗佈紙的色域最為寬廣、石碳環保紙次之、電子紙最小。在後續研究建議，藉由反差、灰度與疊印能力的差異，凸顯出石碳環保紙的專用油墨有待開發的空間。在其他發現方面，對於石碳環保紙的紙張機械結構橫向與縱向抗拉伸強度略遜於傳統塗佈紙，造成印刷後表面不平整，建議石碳環保紙製造商針對石碳環保紙的機械結構，可做為未來研發改良的重點方向。

中文關鍵詞：電子紙、石碳環保紙、閱讀特性、印刷適性、

英文摘要：In recent years two important global trends have

included digital reading and environmentally friendly green energy, while at the end of 2010 global pulp prices rebounded to new historic highs surpassing their pre-global financial crisis levels, such that natural fiber produced papers are no longer the most environmentally friendly green reading media. Arising in their place are the reusable minimal energy waste display methods characteristic of e-paper concomitant with the unfolding trend for digital readers. Additionally, Rich Mineral Paper has the advantage of creating no pollution during its production and enjoying naturally complete biodegradability, so this study will focus on an evaluation of these two emerging trends in reading media to determine their suitability in comparison with the readability associated with traditionally printed paper. This study will conduct a comparative analysis of readability among three different varieties of reading media including e-paper, rich mineral paper and traditional coated paper. This research employs a true experimental study methodology, depending on manufacturing company' s choice of optimal combination of human factor design variables for e-paper readability. A comparative analysis with such reading attributes as contrast, grayness, gray balance and color gamut of the other two reading media (rich mineral paper, traditional coated paper) establishes referential parameters for future readability enhancement efforts by digital publishers and environmentally friendly rich mineral paper manufacturers.

英文關鍵詞： E-Paper, Rich Mineral Paper, Readability, Printability

一、前言

隨著全球化的趨勢，各種原物料價格屢創新高，2010 年底國際紙漿價格已突破 2008 年金融海嘯前的歷史高點，使用植物纖維製造的紙張媒介卻不是最符合節能減碳與綠能環保的閱讀媒介。取而代之的是擁有重複使用與零耗能顯示模式等特性的電子紙(e-Paper)成為未來行動數位閱讀器的新趨勢。另外，石碳環保紙(Rich Mineral Paper)擁有節淨、無污染的生產製程，低廉的製造成本與自然分解回收的特性，其原料為天然礦粉與聚乙烯所組成，不使用森林資源，生產過程不需用水，符合節能減碳與綠能環保取代紙張媒介的新材料。

在數位出版元年的開端，電子紙跨入彩色化的領域，對於電子書所引發的數位閱讀革命有著十分激勵的作用。現在顯示器不論面板或映管，既不省電又對眼睛健康不佳，而電子紙既省電又可調適光線，對眼球十分健康，未來發展潛力無窮，並將取代目前現有的顯示器及紙張閱讀媒介，從另一個觀點來看，將電子紙當做電子書使用時，若沒有翻到下一個畫面，就會省電，進而達成節能省碳。

先前有關電子紙的研究，大都把電子紙定位在電子紙顯示器上，相關研究多著重在與 CRT 或 TFT-LCD 上對主觀閱讀偏好與視覺績效進行研究。然而隨著數位閱讀的興起，電子紙有著與紙張媒介一樣的特性，但相關研究欠缺與紙張媒介在閱讀特性上的比較。另一方面，由於電子紙的關鍵技術電子油墨發展日新月異，在對比、反射率、色彩顯示已有相當程度的提升，因此本研究將依據生產廠商出廠所設定之最佳人因設計(Ergonomics Design)組合的電子紙與其他不同閱讀媒介(石碳環保紙與傳統塗佈紙(Coated Paper))進行閱讀特性(Reading Attributes)在「反差」(Contrast)、「灰度」(Grayness)、「灰色平衡」(Gray Balance)、「色域」(Color Gamut)之差異分析。

二、研究目的

本研究主要目的在分析數位與傳統閱讀媒介(電子紙、傳統塗佈紙、石碳環保紙)之閱讀特性差異。本實驗之電子紙採用元太科技生產之電子紙，依據生產廠商出廠所設定之最佳人因設計組合的電子紙與紙張閱讀媒介(石碳環保紙與傳統塗佈紙)進行閱讀特性在「反差」、「灰度」、「灰色平衡」、「色域」之差異分析。詳細目的敘述如下：

- (一) 探討電子紙、石碳環保紙與傳統塗佈紙等三種不同閱讀媒介在閱讀特性上「反差」之差異。
- (二) 探討電子紙、石碳環保紙與傳統塗佈紙等三種不同閱讀媒介在閱讀特性上「灰度」之差異。
- (三) 探討電子紙、石碳環保紙與傳統塗佈紙等三種不同閱讀媒介在閱讀特性上「灰色平衡」之差異。
- (四) 探討電子紙、石碳環保紙與傳統塗佈紙等三種不同閱讀媒介在閱讀特性上「色域」之差異。

綜合上述目的(一)至(四)之結果，提出電子紙、石碳環保紙與傳統塗佈紙三種不同閱讀媒介之閱讀特性之差異分析。

三、文獻探討

(一) 電子紙(e-Paper)

電子紙是一種具有類似紙張媒介閱讀特性的顯示器，其特點為高解析度、高對比、視角大，使用環境光源適合長時間閱讀，具有雙穩態(Bi-Stable Status)顯示技術，相對在成本上與耗電量上都遠低於 TFT-LCD。電子紙的外型輕巧、攜帶方便，可重複寫入、儲存大量資訊，完全不必浪費任何森林資源，在講求節能環保的現代，成為未來隨身數位閱讀器的新趨勢。本研究採用屬於反射式電泳式電子墨水顯示器，具有微膠囊型(Micro encapsulation)專利技術之電子紙，為元太科技(PVI) E Ink Pearl 型號，6 吋螢幕大小，解析度為 200DPI。

(二) 人因設計 (Ergonomics Design)

是研究人和機器、環境的相互作用及其合理結合，使設計的機器和環境系統適合人的生理、心理等特點，達到在生產中提高效率、安全、健康和舒適目的的一門科學。在視覺人因設計工程領域，經常討論有關 VDT (Visual Display Terminal) 作業。本研究依據生產廠商出廠所設定之最佳人因設計組合的電子紙進行研究。

(三) 石碳環保紙 (Rich Mineral Paper, RMP)

石碳環保紙的技術源自於合成紙 (Synthetic Paper)，以聚乙烯和超過 60% 以上的天然無機礦粉 (包含填碳酸鈣、硫酸鈣、硫酸鋇、高嶺土、雲母粉、氧化鋅、白雲石粉、矽酸鈣、玻璃纖維、空心玻璃微珠、矽石粉、白堊粉、滑石粉、顏料、二氧化矽、鵬潤土、白土、矽藻土及其混合物，經過鍛燒或未鍛燒者) 為填充物與助劑為主要原料，以單層或多層共擠壓出為其製造方法，突破傳統以紙漿為原料的生產方式，生產過程不使用天然木材，不排除廢水，燃燒無毒氣並強調自然分解回收，故稱石碳環保紙。(台灣龍盟專利說明書，1998) 本研究使用台灣龍盟生產含 85% 天然無機礦粉，基重為 168GSM 的 RP140 進行研究。

(四) 傳統塗佈紙 (Coated Paper)

塗佈紙以非塗佈紙為紙基，在於其表面塗佈一層白色塗料，並經壓光或其他加工之加工紙張，使紙質平滑不起毛，提高了紙張白度、不透明度、光澤度及印刷品的鮮明度 (Romano, 1998, p. 147)。本研究使用傳統塗佈紙為永豐紙業股份有限公司所出產的基重為 158GSM (Grams/sq Meter) 特級銅版紙。

(五) 閱讀特性 (Reading Attributes)

本研究之閱讀特性指標包括反差、灰度、灰色平衡與色域。實驗中受試者透過反射自然光之傳統塗佈紙與石碳環保紙所呈現出的閱讀特性，而電子紙則為不需背光源、反射式膽固醇液晶顯示器的閱讀特性 (李德松，2006)。因此從傳統印刷中色彩特性量測標準選擇可以同時在傳統塗佈紙、石碳環保紙與電子紙的共同閱讀特性，包括了反差 (Contrast)、灰度 (Grayness)、灰色平衡 (Gray Balance) 與色域 (Color Gamut)。

(六) 反差 (Contrast)

係指測量暗部調 (Shadows) 之對比，本實驗中判斷暗部階調層次豐富與否的重要指標。指當反差值越大，其所能再現的層次就越多，暗部調的細節越豐富；反之，印刷反差值越小，其所能再現的層次也越少 (謝顯丞，2009，頁 60)。其值受滿版濃度、材質亮度、75% 階調的濃度以及光澤度所影響 (SWOP, 1998, p.44)。其公式為如下：Ds 表示為滿版濃度值，Dt (75%) 表示為 75% 階調濃度值 (DeJidas & Destree, 1995, p.51)

$$\text{反差 (Contrast)} = \frac{D_s - D_t}{D_s} \times 100\%$$

(七) 灰度 (Grayness)

為檢測顏色純度之指標之一。若印墨中摻雜其他兩種色料會形成灰色，此即為灰度 (Grayness)。灰度的輕重程度會限制顏料複製清晰二次色的能力，即灰度值越低代表印墨的色彩純度越高 (Coudray, 1990, Tritton, 1997)。計算公式如下 (DL 代表最低濃度值，DH 代表最高濃度值)：

$$\text{灰度 (Grayness)} = \frac{D_L}{D_H} \times 100\%$$

(八) 灰色平衡 (Gray Balance)

灰色平衡為印刷色彩中，結合適當之青墨 (Cyan)，洋紅墨 (Magenta)，以及黃墨 (Yellow) 比例已形成之中性灰色 (Romano et al., 1998, p.369)。灰色平衡是用以判斷印刷色彩是否平衡或色偏的方法，應作為各工作流程式控制製品質的依據 (GRACoL, 2005)。利用 CMY 網點組合的灰色平衡測試導表 (Gray Balance Target) 印刷出來並進行分析，以確定 CMY 在不同色調區達到中性灰所需的網點百分比。找出灰色平衡的數值可用視覺分析或使用密度計，通過紅綠藍濾色片測量三色有相同的數值。或使用分光光度計去度量 a^* 和 b^* 接近零，即得灰色平衡的三色組合 (香港印藝學會，2006)。

(九) 色域 (Color Gamut)

色域是指某種設備所能表達的顏色數量所構成的範圍區域，即各種螢幕顯示設備、印表機或印刷設備所能表現的顏色範圍，在色彩空間 (Color Space) 中其體積大小即為色域的大小。色域也可說是色彩訊息的表示，以一、二、三、四度空間或組合來表示強度值，從外觀看，經常以各種實體形狀來表示這些空間 (謝顯丞，2009)。

四、研究方法

(一) 研究架構

本研究屬於真實實驗研究法 (True Experimental study)，旨在分析電子紙、石碳環保紙與傳統塗佈紙閱讀特性之差異，依據生產廠商出廠所設定之最佳人因設計組合的電子紙與對照組石碳環保紙與傳統塗佈紙對閱讀特性在「反差」(Contrast)、「灰度」(Grayness)、「灰色平衡」(Gray Balance)、「色域」(Color Gamut) 等四個變項之比較差異性分析，本研究之架構圖如圖 1 所示。

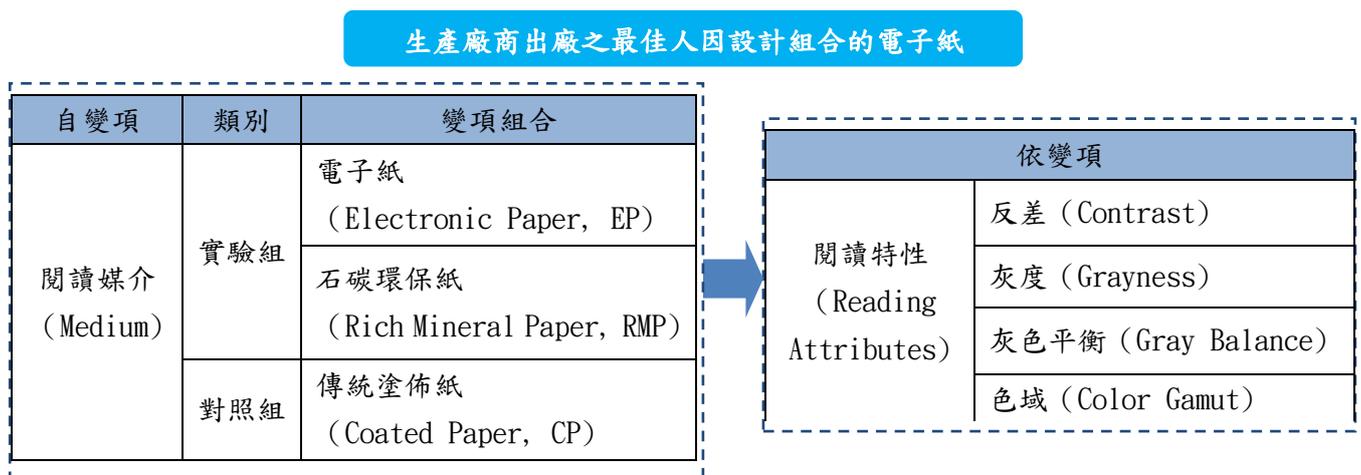


圖 1. 本研究之研究架構

(二) 研究流程

本實驗將採同一電子原稿，經由相同的影像解譯器 (Raster Image Processor) 運算，得到點陣形式 (Bit Mapped Image) 的電子訊息，經轉換顯示於生產廠商出廠所設定之最佳人因設計組合的電子紙，用此原稿進行閱讀特性的量測。另一部分對照組的石碳環保紙與傳統塗佈紙則運用此一點陣形式 (Bit Mapped Image) 的電子訊息進行電腦直接製版印刷，以系統隨機抽樣的方式抽取所要量測之樣本，使用反射式分光光譜儀測量 C、M、Y、K 四色特定區域之滿版濃度、一般階調網點百分比 (25% 及 75%)、中間調 (50%)、亮部調 (10%) 與暗部調 (90%) 網點百分比、疊印控制測試色塊、GATF 灰色平衡表、ECI2002 標準測試導表，將所得數據加以記錄並整理，以利後續對閱讀特性在反差、灰度、灰色平衡、色域等四個變項之比較差異性分析。

傳統塗佈紙的選擇乃根據 ISO 12647-2:2004 (E) 紙張規格建議，選擇白度接近基重為 158GSM (Grams/sq Meter) 永豐特級銅版紙，實驗所需之印刷製程選擇經過德國 Fogra PSO (Process Standard Offset) 平版印刷製程認證的印刷廠進行印製參照美國印刷科技協會 (Graphic Arts Technical Foundation, GATF) 數位測試導表 (Digital Test Form 5.0) 進行差異分析之對照組，本研究流程圖如圖 2 所示。

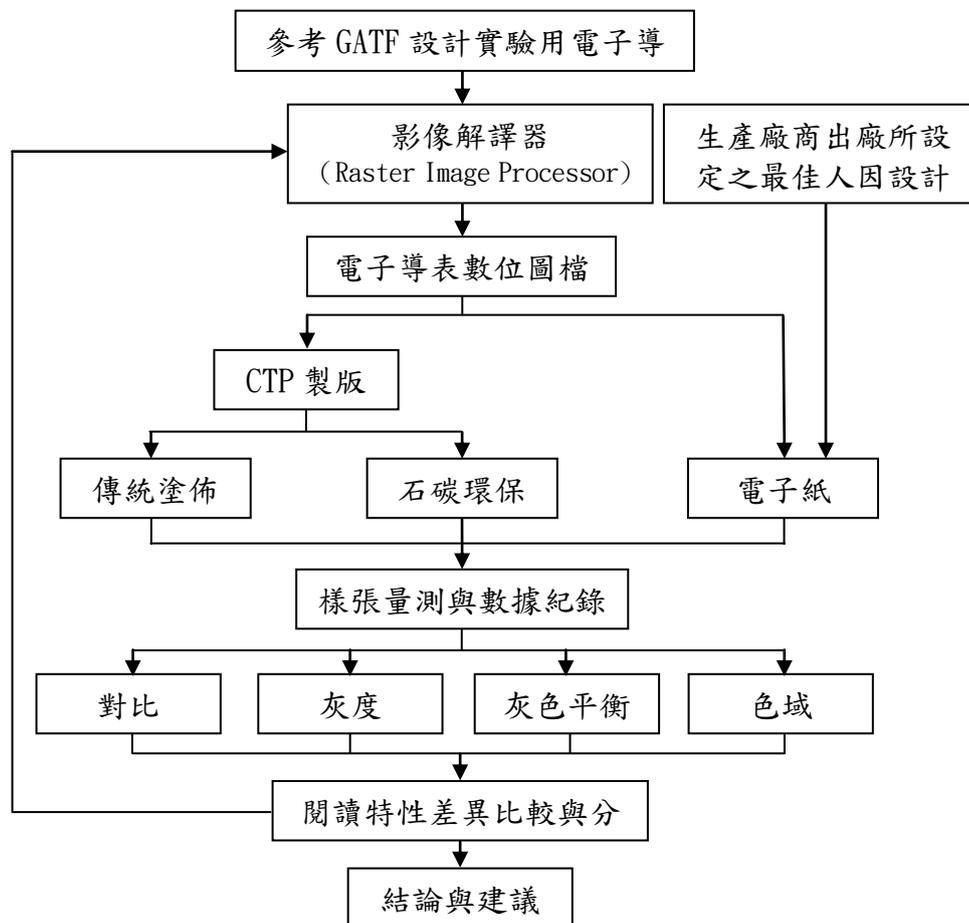


圖 2. 本研究實驗流程圖

(三) 實驗設計

1. 電子紙條件

本研究採用元太科技 (PVI) 所推薦之一款電子紙為本研究實驗材料並以出廠所設定之最佳人因設計組合進行研究。本實驗使用電子紙條件如下表 1 所示：

表 1. 本研究之電子紙條件

電子紙		元太科技
控制變項	型號 (Model)	E Ink Pearl Imaging Film
	顯示技術 (Display Tech)	微膠囊型 (Micro encapsulation)
	尺寸 (Size)	6"
	解析度 (Resolution)	200 dpi
	視角 (Viewing Angle)	Near 180 degrees
	影像更新時間 (Image Update Time)	120 ms
	對比 (Contrast Ratio)	10:1

2. 紙張媒介條件

本次印刷製程實驗所需紙張的選擇乃根據 ISO 12647-2:2004 (E) 規格建議，選擇基重接近的 158GSM (Grams/sq Meter) 永豐特級銅版紙 (謝顯丞、吳玉如，2003)。在石碳環保紙方面選擇台灣龍盟生產含 85% 天然無機礦粉，基重為 168GSM 的 RP140。本實驗使用紙張媒介的條件如下表 2 所示：

表 2. 本研究之紙張媒介條件

紙張媒介	石碳環保紙	傳統塗佈紙
種類	RPD140	永豐特級銅版紙
尺寸規格	25"x35"	25"x35"
基重	168gsm	158gsm

3. 印刷製程條件

本研究所需之印刷製程選擇經過德國 Fogra PSO (Process Standard Offset) 平版印刷製程認證的印刷廠進行印製，此認證以 ISO 12647-2 標準為依據，其驗證內容包含 Prepress 印前作業、Platemaking 製版、Print Run 印刷，適用於張頁式印刷、熱固型捲筒輪轉印刷、連續式報表印刷及新聞印刷。因此所得實驗電子原稿之印刷品具有製程穩定的可靠性。本次印刷製程實驗其製版條件詳細記載如表 3 所示，印刷條件記錄如表 4 所示：

表 3. 印版輸出條件及設備記錄表

電腦直接製版 (CTP) 輸出條件記錄			
實驗時間		實驗地點	中和某印刷廠
操作人員	邱先生		
項 目			
輸出版材	廠牌名稱	Saphira CtP Thermal Plate (HT830C)	
	尺寸規格	1030x790mm	
	厚度	0.3mm	
輸出設備	廠牌名稱	Screen PTR-8800S	
	曝光系統	外滾式	
	雷射光源	512-channel laser diode 830nm	
	出版網線數	2400 dpi, 175lpi	
	影像解譯器	SCREEN Trueflow SE 7.1	
沖版系統	沖版機	東尚 110PSBF	
	條件設定	23°C, 40sec	
	顯影母液	Saphira Positive Plate Developer	
	顯影補充液	Saphira Thermoplate Replenisher	
	上膠液	Saphira CtP Premium Plate Finisher	
	烘乾溫度	40°C	
廠房環境	溫度	25°C	
	相對濕度	50%RH	
	工作安全燈	無 (明室操作)	

表 4. 印刷條件記錄表

印刷條件紀錄			
實驗時間		實驗地點	中和某印刷廠
操作人員	施先生		
項 目			
印刷機條件	印刷機	Heidelberg Speedmaster 4/0 XL105	
	給紙方式	Fedder 給紙	
	印機速度	10000 刷/小時	
	印刷色序	K⇒C⇒M⇒Y	
	水槽液	9°C/ 5.2PH 值/ 黏度 5	
	酒精濃度	9.5%	
	電導度	1700~1720us	
	乾燥系統	IR 紅外線乾燥	
油墨	名稱	SOY-CERVO 環保油墨系列	
	廠牌	東京油墨株式會社	
廠房環境	溫度	23°C	
	相對濕度	69%RH	

4. 電子導表

本研究所使用的電子導表，主要參照美國印刷科技協會 (Graphic Arts Technical Foundation, GATF) 數位測試導表 (Digital Test Form 5.0)，以作為閱讀特性差異分析的依據。導表內容包含亮部 (Highlights) 階調百分比 (K、C、M、Y 四色，每一階調間格為 1% 的網點百分比之測試導表，即 1%、2%、3%、...10%)，暗部 (Shadows) 階調百分比、一般階調網點百分比、滿版濃度色塊、印刷反差 (75%)、灰色平衡導表以及 ECI2002Random (隨機排序導表) 等標準測試導表，導表內容之相關對照說明如下圖 3 所示：

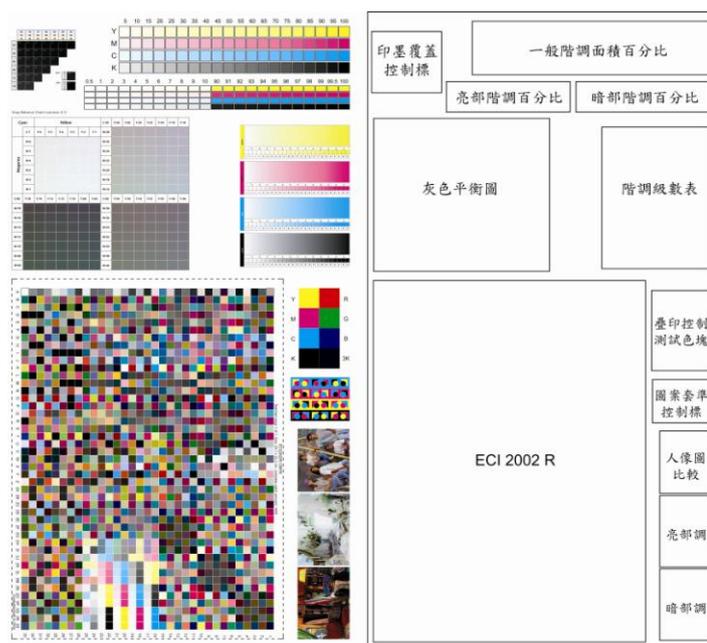


圖 3. 本研究實驗用電子導表原稿與說明

5. 量測儀器

本研究主要在測量三種不同的閱讀媒介所表現的閱讀特性之差異，包含反差、灰度、灰色平衡、色域。分別使用 X-rite i1 Pro / X-rite i1iO 與 GretagMachbeth Spectrolino / SpectroScan 反射式分光光譜儀讀取系統（如圖 4）、X-Rite SpectroEye 反射式分光密度儀與 Keyspan 電腦連線設備。而在印刷製程中測量印版之網點面積則使用 X-Rite IC-Plate II，以上儀器皆使用 X-Rite NetProfiler 2.0 進行色彩準確性的認證並每年送回原廠校驗符合所有公開規格。



圖 4. 反射式分光光譜儀讀取系統

6. 資料蒐集

本研究乃利用同一電子原稿，經由相同的影像解譯器（Raster Image Processor）運算，得到點陣形式（Bit Mapped Image）的電子訊息，經轉換顯示於生產廠商出廠所設定之最佳人因設計組合之電子紙顯示媒介，用以量測，使用同一電子紙顯示器量測 35 次。另一部分對照組石碳環保紙與傳統塗佈紙則運用此一點陣形式（Bit Mapped Image）的電子訊息進行電腦直接製版印刷，每種材質各印刷 800 張，扣除前後水墨平衡較不穩定的 50 張，以系統隨機抽樣的方式每隔 20 張抽取所要量測之樣本，共得 35 張。使用反射式分光光譜儀測量 C、M、Y、K 四色特定區域之滿版濃度、一般階調網點百分比、亮部調與暗部調網點百分比、疊印控制測試色塊、GATF 灰色平衡表、ECI2002 標準測試導表，將所得數據加以記錄並整理，以利後續對閱讀特性在反差（Contrast）、灰度（Grayness）、灰色平衡（Gray Balance）、色域（Color Gamut）等四個變項之比較差異性分析。

7. 統計分析

將所測得數據進行彙整，並使用 SPSS 18.0 及 Minitab 16.0 統計軟體進行各項分析與探討，透過 Microsoft Excel 2007 計算並套用印刷適性公式，計算三種不同閱讀媒介所表現的閱讀特性，以期能得到反差、灰度、灰色平衡、色域的數值。再將這些數值導入 X-Rite ProfileMaker 5 進行色域空間的 3D 模擬圖。將所測得的數據加以記錄並整理，方便後續研究探討，並建構出三種不同閱讀媒介的閱讀特性之差異。本研究主要採用之統計分析方法為（1）描述性統計（Descriptive Statistics）：最常探討各變項之平均值、標準差、最大值與最小值等。（2）單因子變異數分析（one-way ANOVA）：使用單因子變異數分析可同時統計三種以上的母群體平均數的差異情況。

五、結果與討論

（一）分析與結果

本次實驗共分析滿版濃度、反差、疊印能力、色相差、灰度與灰色平衡，其研究結果彙整於如表 5 所示：

表 5. 三種閱讀媒介研究結果彙整表

項目組合	塗佈紙	石碳紙	電子紙	
滿版濃度	K	1.7234	0.9126	0.9566
	C	1.5689	0.8609	0.4780
	M	1.4217	0.8131	0.5326
	Y	1.2249	0.7609	0.1626
反差	K(75%)	41.309	19.598	17.637
	C(75%)	41.303	19.642	15.224
	M(75%)	33.805	16.686	11.699
	Y(75%)	32.642	23.799	10.232
疊印能力	R(MY)	63.916	54.222	NA
	G(CY)	77.093	78.996	NA
	B(CM)	72.096	68.314	NA
色相差	C	12.688	18.506	NA
	M	37.273	56.282	NA
	Y	3.645	4.187	NA
灰度	C	12.395	21.741	NA
	M	7.164	10.202	NA
	Y	0.702	0.932	NA
灰色平衡	7%	C7M4Y4	C7M3Y4	C7M3Y1
	30%	C30M18Y20	C30M28Y26	C30M18Y16
	60%	C60M52Y48	C60M58Y52	C60M52Y58
	80%	C80M74Y72	C80M76Y74	C80M70Y66

1. 階調濃度特性

不同閱讀媒介最高滿版濃度描述性統計彙整顯示，在 K 版的最高滿版濃度表現上，傳統塗佈紙 (1.7234) 最高，電子紙 (0.9566) 次之，石碳環保紙 (0.9126) 最低，在 C 版的最高滿版濃度表現上，傳統塗佈紙 (1.5689) 最高，石碳環保紙 (0.8609) 次之，電子紙 (0.4780) 最低，在 M 版的最高滿版濃度表現上，傳統塗佈紙 (1.4217) 最高，石碳環保紙 (0.8131) 次之，電子紙 (0.5326) 最低，在 Y 版的最高滿版濃度表現上，傳統塗佈紙 (1.2249) 最高，石碳環保紙 (0.7609) 次之，電子紙 (0.1626) 最低。以標準差判斷穩定性而言，觀察四色色版最高濃度的標準差均為，石碳環保紙為最小，傳統塗佈紙次之，電子紙最大，表示石碳環保紙的最高濃度穩定性，優於傳統塗佈紙，也優於電子紙。

2. 網點面積與網點擴增 TVI 曲線

傳統塗佈紙與石碳環保紙 50% 網點擴增描述性統計彙整中發現，在四色色版 50% 網點擴增值比較部分，K 版的 50% 網點擴增值，石碳紙 (31.460) 較高於塗佈紙 (28.629)，C 版的 50% 網點擴增值，石碳紙 (27.420) 較高於塗佈紙 (23.551)，M 版的 50% 網點擴增值，石碳紙 (28.311) 較高於塗佈紙 (25.806)，Y 版的 50% 網點擴增值，石碳紙 (16.904) 較高於塗佈紙 (14.526)，石碳環保紙四色色版的 50% 網點擴增值均大於傳統塗佈紙四色色版 50% 網點擴增值，此現象說明石碳環保紙表面的吸墨性大於傳統塗佈紙，但在印刷控制上較不容易控制。

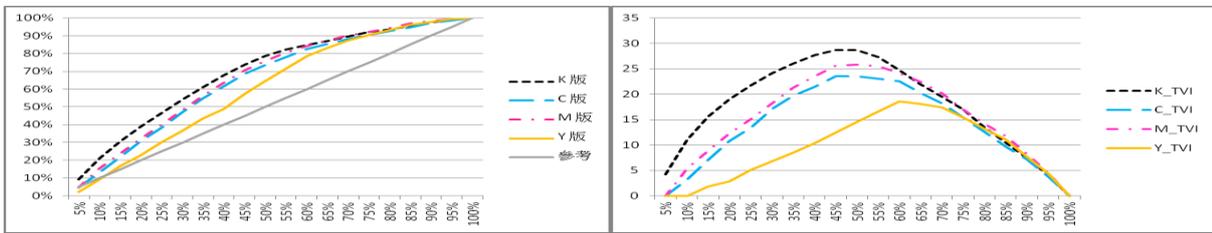


圖 5. 傳統塗佈紙網點面積與網點擴增 TVI 曲線

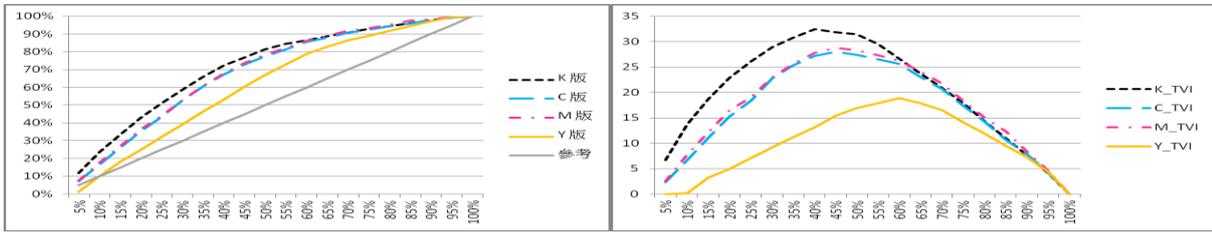


圖 6. 石碳環保紙網點面積與網點擴增 TVI 曲線

3. 反差

不同閱讀媒介之反差描述性統計彙整顯示，在 K 版的反差表現部分，傳統塗佈紙 (41.309) 最大，石碳環保紙 (19.598) 次之，電子紙 (17.637) 最小，在 C 版的反差表現部分，傳統塗佈紙 (41.303) 最大，石碳環保紙 (19.642) 次之，電子紙 (15.224) 最小，在 M 版的反差表現部分，傳統塗佈紙 (33.8054) 最大，石碳環保紙 (16.686) 次之，電子紙 (11.699) 最小，在 Y 版的反差表現部分，傳統塗佈紙 (32.642) 最大，石碳環保紙 (23.799) 次之，電子紙 (10.232) 最小。在變異性程度部分，就標準差判斷穩定性而言，則四色色版反差的標準差均為，石碳環保紙為最低，傳統塗佈紙次之，電子紙最大，由此點表示石碳環保紙的反差值穩定性優於傳統塗佈紙與電子紙。

4. 疊印能力

傳統塗佈紙與石碳環保紙疊印能力描述性統計彙整中發現，在疊印能力比較部分，Red-Y on M 的疊印能力，塗佈紙 (63.916) 較高於石碳紙 (54.222)，Green-Y on C 的疊印能力，石碳紙 (78.996) 較高於塗佈紙 (77.093)，M 版的 50% 網點擴增值，石碳紙 (28.311) 較高於塗佈紙 (25.806)，Blue-M on C 的疊印能力，塗佈紙 (72.096) 較高於石碳紙 (68.314)，一般而言傳統塗佈紙與石碳環保紙疊印能力均在顯著水準之上。

5. 色相差與灰度

色相差與灰度描述性統計彙整中發現，傳統塗佈紙之色相差與灰度值在各色版中均低於石碳環保紙，傳統塗佈紙之 C、M、Y 三個色版其色相差與灰度值之平均值分述如下：青色墨色相差（青墨偏洋紅色）為 12.688、灰度為 12.395；洋紅墨色相差（洋紅墨偏黃色）為 37.273、灰度為 7.164；黃色墨色相差（黃墨偏洋紅色）為 3.645、灰度為 0.702。石碳環保紙部分，青色墨色相差（青墨偏洋紅色）為 18.506、灰度為 21.741；洋紅墨色相差（洋紅墨偏黃色）為 56.282、灰度為 10.202；黃色墨色相差（黃墨偏洋紅色）為 4.187、灰度為 0.932。

6. 最佳灰色平衡組合

傳統塗佈紙、石碳環保紙、電子紙三種閱讀媒介最佳灰色平衡組合，在閱讀特性「灰色平衡」傳統塗佈紙以 C7M4Y4、C30M18Y20、C60M52Y48、C80M74Y72 之百分比組合為最佳，石碳環保紙以 C7M3Y4、C30M28Y26、C60M58Y52、C80M76Y74 之百分比組合為最佳，電子紙以 C7M3Y1、C30M18Y16、C60M52Y58、C80M70Y66 之百分比組合為最佳。

7. 色域

由圖 7、圖 8 表示傳統塗佈紙、石碳環保紙與電子紙的 3D (Lab 值)、2D (ab 值) 色域空間分析

比較，其中黃色代表傳統塗佈紙、藍色代表石碳環保紙、綠色代表電子紙，從圖中發現三中不同閱讀媒介色域空間以傳統塗佈紙最大、石碳環保紙次之、電子紙僅為一點，此點亦可說明灰階的電子紙明度純度高，並沒有其他雜色產生。

從圖 7 三種不同閱讀媒介色域空間 3D (Lab 值) 色域分析圖發現，黃色的傳統塗佈紙色域空間明顯包含大部分石碳環保紙的色域空間，從圖 8 三中不同閱讀媒介色域空間 2D (ab 值) 色域分析圖可看出在藍紫色區域石碳環保紙的色域空間在某些顏色超出了傳統塗佈紙的色域空間，但大部分石碳環保紙的色域空間都涵蓋在傳統塗佈紙的色域空間之內。

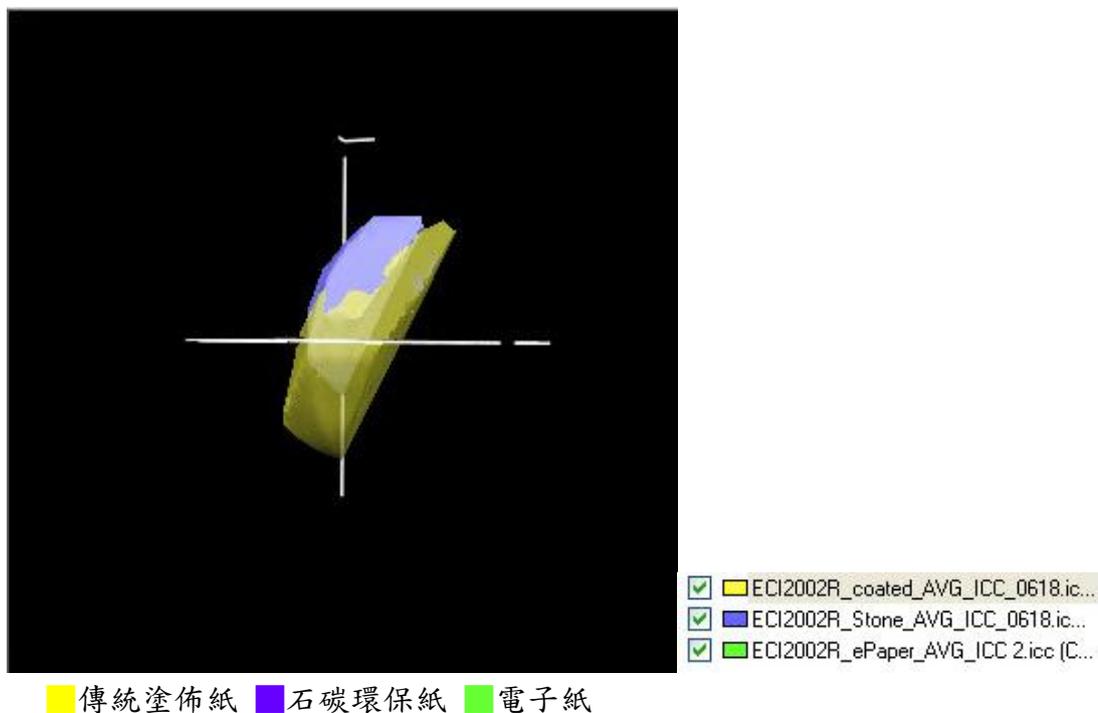


圖 7. 三種不同閱讀媒介色域空間 3D (Lab 值) 色域分析圖

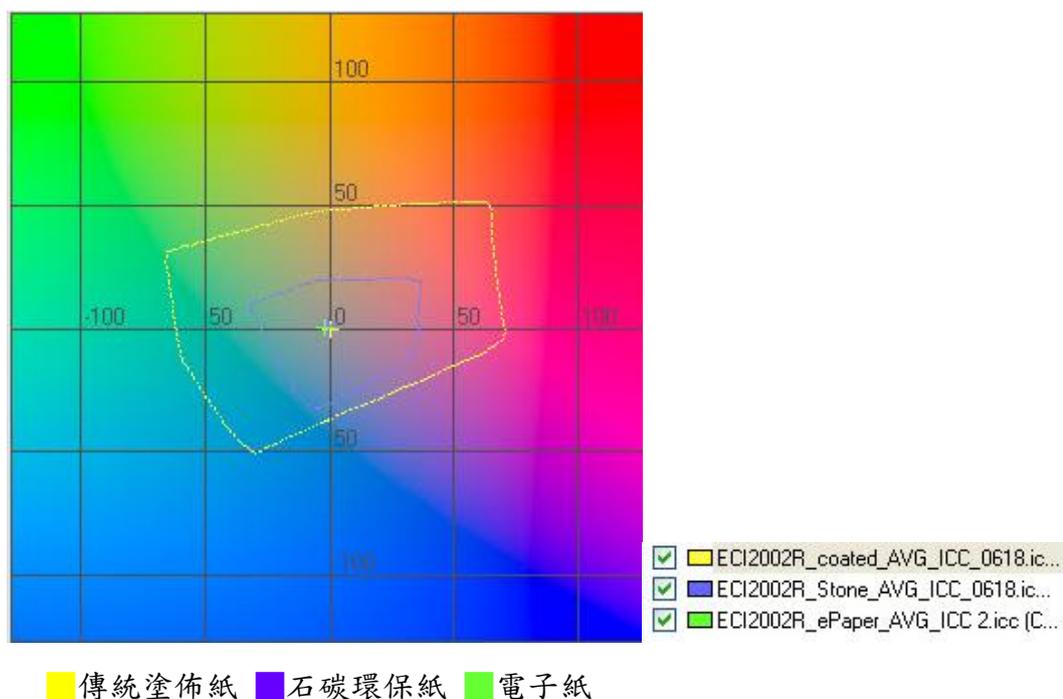


圖 8. 三種不同閱讀媒介色域空間 2D (ab 值) 色域分析圖

(二) 結論與建議

1. 傳統塗佈紙

(1) 反差表現

本次實驗以傳統塗佈紙為實驗之對照組，觀察傳統塗佈紙在閱讀特性上「反差」的表現，其四色色版 75% 的反差平均值為 K 版 41.309、C 版 41.303、M 版 33.805、Y 版 32.642，與 GRACoL 商業式平版印刷建議之反差標準值為 K 版(40-45)、C 版(35-40)、M 版(35-40)、Y 版(30-35)，故本次實驗之對照組傳統塗佈紙在閱讀特性上「反差」的表現十分接近 GRACoL 商業式平版印刷建議之反差標準值。

(2) 色相差與灰度表現

本次實驗以傳統塗佈紙為實驗之對照組，觀察傳統塗佈紙在「色相差」與「灰度」的表現，色相差平均值以洋紅色 M_HueError_to_Y(37.273)，青色 C_HueError_to_M(12.688)，黃色 Y_HueError_to_M(3.645)，均低於 Manfred 的建議值洋紅色 M_HueError_to_Y(40)，青色 C_HueError_to_M(20)，黃色 Y_HueError_to_M(5)。各色墨在灰度平均值分別為 C_Grayness(12.395)，M_Grayness(7.164)，Y_Grayness(0.702) 均低於 Manfred 的建議值 C_Grayness(14)，M_Grayness(14)，Y_Grayness(6)。

(3) 對照組與建議值比較

反差為印刷過程中判斷暗部調階調層次豐富與否的重要指標，色相差與灰度的量測均是作為檢測印墨純度的指標，從對照組傳統塗佈紙在上述兩項閱讀特性「反差」與「灰度」的實驗驗證均接近或在建議值之內，表示此次實驗的印刷製程與油墨特性是符合國際認可的專業標準。

2. 石碳環保紙

(1) 油墨轉移能力

油墨移轉的穩定性，藉由疊印能力描述性統計彙整分析 Red-Y on M、Green-Y on C、Blue-M on C 在傳統塗佈紙與石碳環保紙上，其結果顯示傳統塗佈紙表面塗佈的穩定性在印刷製程油墨從橡皮滾筒移轉到傳統塗佈紙以及油墨的二次色疊印的穩定性均高於石碳環保紙，此現象說明石碳環保紙的表面塗佈與油墨轉移能力略遜於傳統圖佈紙。

(2) 油墨反差表現

本次實驗採用相同的東京油墨株式會社 SOY-CERVO 環保油墨進行傳統塗佈紙與石碳環保紙的印製，石碳環保紙的四色色版的反差值分別為黑版(19.598)、青版(19.642)、洋紅版(16.686)、黃版(23.799)，與 GRACoL 之反差建議值 K 版(40-45)、C 版(35-40)、M 版(35-40)、Y 版(30-35)有段差距，表示此款油墨在石碳環保紙的反差表現不佳。

(3) 油墨灰度表現

本次實驗採用相同的東京油墨株式會社 SOY-CERVO 環保油墨進行傳統塗佈紙與石碳環保紙的印製，傳統塗佈紙在青墨(12.395)、洋紅墨(7.164)、黃墨(0.702)的灰度表現，比石碳環保紙在青墨(21.741)、洋紅墨(10.202)、黃墨(0.932)有較佳的灰度表現，表示青墨、洋紅墨、黃墨在傳統塗佈紙上墨色純度較佳。

(4) 專用油墨的開發

綜合上述油墨轉移能力、反差與灰度表現在傳統圖佈紙與石碳環保紙上的差異，由此凸顯出石碳

環保紙的專用油墨有待開發的空間。石碳環保紙製造商可仿效日本合成紙大廠 YUPO 株式會社的策略，與各大知名油墨廠商共同開發專為石碳環保紙平版印刷製程專用的印刷油墨，以解決石碳環保紙印刷適性的問題。

(5)表面塗佈的改良

石碳環保紙是由天然石頭粉與樹脂混練經單軸延伸生產並經由表面塗佈技術使其可乘載油墨，由上述三項研究建議中亦可發現與石碳環保紙的表面特性與油墨的轉移與承載有關，因此建議石碳環保紙廠商在生產具有不同表面特性的石碳環保紙應找出相匹配的印刷油墨，使其得到最佳油墨轉移能力與最佳灰度的表現。

(6)使用 UV 油墨或塑膠油墨進行色彩

石碳環保紙印刷時，由於石碳環保紙為非植物纖維材質，僅靠表面塗佈層吸收油墨，因此油墨乾燥性差。因此建議後續研究者可利用 UV 油墨或塑膠油墨的進行石碳環保紙的印刷測試，應可得較佳的色彩表現。

3.電子紙

(1)電子紙反差表現

反差為判斷暗部階調層次豐富與否的重要指標，電子紙視覺反差之描述性統計，K 版(17.637)、C 版(15.224)、M 版(11.699)、Y 版(10.232)接近 GRACoL 商業式平版印刷規格新聞紙 85 線印刷的建議反差值 K 版(16)、C 版(13)、M 版(12)、Y 版(15)。

(2)亮部階調層次

實驗發現，電子紙顯示在黑板滿版濃度為 0.9566(表 4-3)，一般階調百分比測試導表前六階 5%、10%、15%、20%、25%、30% 其量測所得的濃度值平均數分別為 0.0580、0.0969、0.1149、0.1531、0.1809、0.2066，其涵義表示此款電子紙在亮部階調的表現上層次豐富性不佳，在電子紙上觀察本研究實驗用電子導表原稿之亮部調標準圖檔，確實遺漏了大部份的亮部階調層次。

4.其他發現

(1)灰色平衡統計分析

本次灰色平衡統計分析採用 35 個樣本的 Chroma 最小值的「平均值法」去判斷最佳灰色平衡百分比組合，建議後續研究者可採用 Chroma 最小值的「次數分配法」進行判斷最佳灰色平衡百分比組合，亦或是兩種方法都使用可達相互驗證的實驗結果。

(2)石碳環保紙的紙張機械結構

本次實驗印刷製程發現，經由同一印刷機，相同印刷速度與壓力印刷石碳環保紙與傳統塗佈紙，發現石碳環保紙的紙張平整性已出現不良的現象，此結果表示石碳環保紙的機械結構在縱向抗拉伸強度(MD 值)與橫向抗拉伸強度(TD 值)略遜於一般傳統塗佈紙的機械結構，建議石碳環保紙製造商針對石碳環保紙的機械結構，可做為未來研發改良的重點方向，對於目前的使用者應選擇磅數較厚(本次實驗使用台灣龍盟 RP140，基重為 168GSM)的石碳環保紙進行印製，對於印刷機操作者應注意石碳環保紙的機械結構特性適時地降低印刷速度以避免平整性不良的現象發生。

(3)政府綠能產業發展策略

大陸國務院已將石碳環保紙列為國家綠能產業發展的重點項目並鎖定日化、食品與醫療等包裝產品的應用，支持大陸石碳環保紙業者成立研究單位對石碳環保紙的改質與改性進行研究，值得我國政府密切注意。政府相關單位應結合更多的政府資源，積極輔導台灣的石碳環保紙業者與其他輔助行業研究發展，並開拓石碳環保紙在日化、食品、電子與醫療等高階應用領域，成為國家綠能產業的重要發展策略。

參考文獻

- Adams II R.M. and Weisberg J. B. (2000). *The GATF Practical Guide to Color Management*, 2nd Edition, GATF Press.
- Bill Pope, Fred Hsu, and Franz Sigg (2008). *Color Gamut Quantified*
- Breede, Manfred H. (1999), *Handbook of Graphic Arts Equations Pittsburgh, PA: GATFPres*
- Coudray, Mark A.(1990). *Predicting Color Reproduction: Hue Error and Grayness in Process-Color inks. Screen Printing*, 87(10), pp. 66-71, 142
- DeJidas, Lloyd P., & Destree, Thomas M. (1995). *Sheetfed Offset Press Operating*(2nd ed). Pennsylvania: Graphic Arts Technical Foundation.
- Dr. Janglin Chen, (2011). *e-Paper Technology and Future Development*, Special Seminar Presented by the Stanford Optical Society
- Heidelberg, (2004). *Basic principle of quality control*, Heidelberg
- GATF Staff, (1995, November). Densitometers Today, *GATF World*. P.9
- Groff Pamela J., (1994). *GATF Glossary of graphic Arts Terms*, GATF
- Graphic Communications Association. (2002) *General Requirements for Applications in Commercial Offset Lithography* (6th ed.), p.53.
- ISO 12647-2, (2004). *Graphic technology Process control for the manufacture of halftone colour separations, proof and production prints Part 2: Offset lithographic processes.*
- Kipphan, Helmut. (2005). *Handbook of Print Media*. Berlin, Germany: Springer.
- Print Quality Assessment. (2001). Retrieved November 25, 2008, from http://www.usink.com/quality_assessment.html
- Robert Chung, Fred Hsu (2008). *A Study of Ink Trapping and Ink Trapping Ratio*
- Robert Chung, Fred Hsu (2009). *Predicting Color of Overprint Solid*, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY
- Romano, Richard M., Romano, Frank J., Oresick, Peter., Destree, Thomas M., Kendra, Erkia L., & Romano, Robert J.(Eds.). (1998). *The GATF Encyclopedia of Graphic Communications*. Pittsburgh, PA: GATFPres.
- Tritton, Kelvin. (1997). *Color control in lithography*. Surry, UK: Pira International.
- Sharma, Abhay. (2004). *Understanding Color Management*, New York, NY: Delmar Learning.
- Wong, Venessa. (Sep. 14, 2009). *Paper, Plastic, or Pebble?* , Business Week, Issue 4146, 56-56.

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/11/02

國科會補助計畫	計畫名稱: 電子紙、傳統紙與石碳環保紙之閱讀特性差異
	計畫主持人: 謝顯丞
	計畫編號: 100-2221-E-144-001- 學門領域: 設計與最佳化
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：謝顯丞		計畫編號：100-2221-E-144-001-					
計畫名稱：電子紙、傳統紙與石碳環保紙之閱讀特性差異							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	1	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	2	0	100%		NIP and Digital Fabrication 2012 (9月9-13日) 2012 China Academic Conference on Printing and Packaging(10月18日-21日)
	專書	0	0	100%	章/本		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>本研究論文被推薦到 Trans Tech Publications Inc. 的《Applied Mechanics and Materials》出版，被 Ei Compendex、CSA、CA、ISI (ISTP)、IEE 檢索。</p>
--	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

學術成就：本研究論文被推薦到 Trans Tech Publications Inc. 的《Applied Mechanics and Materials》出版，被 Ei Compendex、CSA、CA、ISI (ISTP)、IEE 檢索。本研究內容符合現今需求，研究成果可供後續研究使用。

技術創新：本研究探討石碳環保紙及電子紙之閱讀特性，石碳環保紙屬於創新材料應用並兼具環保效益，電子紙配合數位閱讀趨勢與產業發展，兩種閱讀載體之閱讀效益探討與研究，深具創新技術之效益，並可以配合產業發展需求。依本研究結果之建議，可以進一步針對各閱讀載體之特性作更深入之研究，進一步發展其技術應用之可能性。

社會影響：本研究針對石碳環保紙與電子紙兩種閱讀載體之實務應用研究，藉由研究成果向社會大眾推動環保觀念及推廣數位閱讀方式。以環保材料與數位閱讀方式的推廣，找尋紙張替代品，減少砍伐樹木，到達環境保育的影響。