

出國報告(出國類別：實習)

鈔券紙張耐流通檢測技術

服務機關：中央印製廠

姓名職稱：吳惠敏 管制科管理師

派赴國家：瑞士、德國

出國期間：2014年8月30日至9月13日

報告日期：2014年11月20日

摘 要

本次奉派出國實習期間為 2014 年 8 月 30 至 9 月 13 日共計 15 日，實習地點為瑞士 SICPA 及 LandQart 公司、德國 KURZ 與 G&D 公司，主要研習主題為「鈔券紙張耐流通檢測技術」。

由於，此四家公司內部均設有品管及研發實驗室，相關的技術彼此間也相互交流，但有部份也不同。因此本報告將以主題作為撰寫主軸，以整合比較各測試(試驗)間的差異。本報告分為四部分，分別為耐流通測試及模擬流通試驗、後塗佈加工技術之評估、耐久性安全紙張及結論與建議。

目 錄

目錄	I
圖目錄	II
表目錄	III
目的	1
過程	3
壹、耐流通測試與模擬流通試驗.....	3
一、耐流通測試(durability test)	3
二、模擬流通試驗(simulated circulation trial)	15
貳、後塗佈加工技術之評估	26
一、後塗佈清漆 - SICPAPROTECT.....	26
二、評估方法	28
參、耐久型安全紙張	32
一、三明治複合紙 Durasafe – LandQart 公司.....	33
二、三明治複合紙 Hybrid – G&D 公司.....	34
三、SRT(soiling resistance treatment) – LandQart 公司.....	35
肆、結論與建議.....	37

圖目錄

圖 1	油墨滲出性測試結果示意圖	4
圖 2	Kurz 公司光學(金屬)箔膜之化學抗性測試	5
圖 3	試片硫化鈉測試之結果	6
圖 4	壓乾硫化鈉試片之濾紙	6
圖 5	兩種洗滌測試比較	7
圖 6	Fritsch Analysette 3 Pro 機台	8
圖 7	SICPA 污土實品	9
圖 8	石英球髒污測試後試片情形	9
圖 9	以石英球髒污測試同時比較四種安全紙張	10
圖 10	彈跳球髒污測試示意圖	11
圖 11	彈跳球原理示意圖	11
圖 12	彈跳球髒污測試後之試片	12
圖 13	髒污組成的分類	13
圖 14	另一種顏色較淺之污土配方	14
圖 15	歐元回籠鈔券分級	16
圖 16	LCT 試驗之旋轉基座	17
圖 17	分貝計評估鈔券鬆度	18
圖 18	流通鈔券與鬆度之關係	18
圖 19	LCT 試驗鈔券與實際流通鈔券之目視比較	19
圖 20	G&D 公司模擬流通試驗流程圖	20
圖 21	髒污測試儀器 STM-1	21
圖 22	揉捏測試儀器 LTT-1	22
圖 23	試片揉捏測試後示意圖	22
圖 24	摩擦測試儀器 STM-1	23
圖 25	髒污評估儀器 OSA-1	23
圖 26	OSA-1 掃描後可進行試片量測區域之圈選	24
圖 27	BSA-1 聲音評估儀器	24
圖 28	BLA-1 鬆度評估儀器	25

圖目錄

圖 29 新舊鈔券纖維鬆度之差異	25
圖 30 非塗佈表面與 SICPAPROTECT 塗佈表面之顯微鏡下觀察.....	27
圖 31 SICPAPROTECT 塗佈與非塗佈表面之表面張力差異	27
圖 32 打皺測試後不同塗佈效果表面之差異	27
圖 33 螢光筆於 MEK 塗抹處塗鴉.....	28
圖 34 藍色墨水測試之試片前處理示意圖	28
圖 35 藍色墨水測試流程	29
圖 36 清漆裂痕產生之痕跡	30
圖 37 試片與藍色羊毛布	32
圖 38 Durasafe 結構圖.....	33
圖 39 Durasafe 之製程示意圖.....	33
圖 40 摩洛哥 2012 年發行之 25 Dirham.....	34
圖 41 Hybrid 安全紙張之結構示意圖.....	35
圖 42 SRT 與標準紙之黃化測試比較.....	37

表目錄

表 1	油墨滲出性測試條件	3
表 2	德國 Kurz 公司化學抗性檢測要求	5
表 3	SICPA 公司之污土配方	8
表 4	SICPA 公司提供之四種污土配方	13
表 5	人工皮脂配方	15
表 6	Life Cycle Trail 測試流程	17
表 7	實際流通鈔券與 Life Cycle Trail 試驗鈔券之比較	19
表 8	藍色墨水測試評級樣板	29
表 9	表面張力測試評級	31
表 10	SRT 與標準鈔券紙之比較	35

目的

鈔券耐久性之研究是近十年間為鈔券相關產業相當關注之議題。本人擔任中央印製廠管制科檢驗室管理師，自民國 100 年開始進行鈔券老化相關研究，因此對鈔券耐久及耐流通相關技術甚感興趣。

本次奉派出國實習期間為 2014 年 8 月 30 至 9 月 13 日共計 15 日，實習地點為 SICPA、LandQart、KURZ 與 G&D 公司，主要研習主題為「鈔券耐流通檢測技術」。由於，此四家公司內部均設有品管及研發實驗室，相關的技術彼此間也相互交流，但有部份也不同。因此本報告將不依實習地點，而改以主題作為撰寫主軸，以整合比較各測試(試驗)間的差異。

本報告分為四部分，分別為耐流通測試及模擬流通試驗、後塗佈加工技術之評估、耐久性安全紙張及結論與建議。

第一部分為介紹「耐流通測試及模擬流通試驗」技術。鈔券「耐流通」測試(durability test)技術，主要在了解鈔券在流通過程中所能抵抗化學、物理傷害之能力，為傳統用來評估鈔券「性能」之測試技術。但近十年來鈔券相關產業累積對鈔券「耐久性」¹及壽命的大量研究後發現，傳統的耐流通測試並無法用來評估「鈔券是否耐久」。因此，模擬流通試驗便孕育而生。

模擬流通試驗(simulated circulation trial)，則是以一種或數種模擬鈔券流通的測試串連而成，這些測試彼此之間都是有關係的，例如弄髒鈔券，然後以高溫高濕氧化鈔券。評估的方式也可以透過計算或是排序，評定數種鈔券間耐久性的優劣。目前本廠尚未發展此項試驗，因此透過此次研習可增進對此項試驗之了解，做為未來設計之參考方向。

第二部分為「後塗佈加工技術之評估」之介紹。鈔券要增進其耐久性，除了改善紙基(substrate)外，進行後塗佈加工(post varnished)也是許多國家考量的方式之一。然而因應每個國家鈔券的設計，後塗佈加工的參數如膜厚、UV curing 強度/時間等參數都不一樣，在正式印刷前如何確保其參數為「最適化」設定，第一線就依賴相關的評估測試。本次實習 SICPA 公司對於後塗佈加工技術，無論在清漆(vernish)的配方或是評估塗佈效果的技术開發上，都是這領域之翹楚，可提供本廠對於後塗佈加工技術非常大的幫助。

第三部分為耐久性安全紙張之介紹。要改善鈔券的耐久性，第一步便可考慮使用耐久性紙基。本次研習其中兩個公司為知名安全紙張製造廠：G&D 公司旗下 Louisenthal

¹ 本報告定義耐流通性為鈔券動態之耐受能力；而耐久性為鈔券同時兼具「動態-耐流通性」與「靜態-耐保存性」之性質。

紙廠為歷史悠久之鈔券紙廠，第一個推出塑膠與棉紙複合層之三明治安全紙張的便是 Louisenthal 紙廠於 2008 年推出的「Hybrid」系列，當時推出引發非常大的關注，至今已有多國採用 Hybrid 作為其耐久性紙基。該公司另外一項產品「LongLife」耐髒污安全紙張，適逢研發改版，因此很可惜此次未能獲取更多資訊。

LandQart 公司在 2009 年宣布專心致力於安全印刷產業後，在 2010 年同樣推出棉紙與塑膠複合層之三明治安全紙張「Durasafe」作為中高面額鈔券紙基之產品，同時也開發耐髒污安全紙張「SRT」作為低面額鈔券紙基產品。此次有幸同時瞭解這兩家公司之耐久性安全紙張的異同，相信可做為以後應用之參考。

第四部份為結論與建議，此部分將總結此次實習重點並提出建議供未來測試方向，或作為研究之參考。

過程

壹、耐流通測試與模擬流通試驗

一、耐流通測試(durability test)

(一)傳統耐流通測試

耐流通測試(durability test)是鈔券發行前用以了解鈔券流通性能之主要測試方式。目的在測試鈔券上之油墨與其餘安全防偽附著能力，而測試項目大概可分為化性與物性測試。

1. 化性測試

在化性測試中，一般劃分為化學抗性測試(chemical resistance test)和洗衣機洗滌測試(washing machine laundering test)，化學抗性測是開始是由瑞士 SICPA 公司之油墨滲出性測試(bleeding test)而來，其化學試劑乃於 1969 年墨西哥所召開之國際防偽會議中所決定。

油墨滲出性測試是將鈔券試片在一定的溫度、時間條件下，浸泡在化學試劑中，觀察其油墨滲出(脫墨)之情形，一般分為溶劑、酸、鹼、皂及其他類，測試項目及條件見下表 1。

表 1

油墨滲出性測試條件

類 型	名 稱	浸 泡 時 間	溫 度	
溶劑	酒精	Ethanol	30 分鐘	25°C
	乙酸乙酯	Ethyl aceate	30 分鐘	
	三氯乙烯	Trichloroethylene	30 分鐘	
	二甲苯	Xylene	30 分鐘	
	四氯乙烯	Perchloroethylene	30 分鐘	
	石油醚	Naphta	30 分鐘	
	丙酮	Acetone	30 分鐘	
	丙酮	Acetone	5 分鐘	
	汽油	Fractional banzine	30 分鐘	
	二甘醇	Diethylene glycol	30 分鐘	
	酸溶液	20%醋酸	Acetic acid 20%	
2%硫酸		Sulfuric acid 2%	30 分鐘	
5%硫酸		Sulfuric acid 5%	30 分鐘	
5%鹽酸		Hydrochloric acid 5%	30 分鐘	
鹼溶液	2%氫氧化鈉	Sodium hydroxide 2%	30 分鐘	25°C
	5%氫氧化鈉	Sodium hydroxide 5%	30 分鐘	
	硫化鈉	Sodium sulfide	30 分鐘	
皂(洗滌)溶液	10%肥皂溶液	Marseilles soap 10%	30 分鐘	80°C
	工業洗滌溶液	Persil 0.5%+Na ₂ CO ₃ 1%	30 分鐘	90°C
	生物洗滌溶液	OMO biological 2%	30 分鐘	90°C

	漂白水	NaOCl 8.5%	20 分鐘	25°C
其他	*熱水		20 分鐘	80°C
			30 分鐘	60°C
			30 分鐘	90°C
			30 分鐘	90°C
	*人工汗液	Synthetic perspiration	10 分鐘	40°C
			30 分鐘	40°C
			30 分鐘	23°C
	過氧化氫	Hydrogen peroxide 5%	30 分鐘	25°C

註. *者為目前所使用之不同客製條件。

資料來源：SICPA(2013). Banknote durability evaluation.

油墨滲出測試之評估方法為：測試時間結束後，將試片夾起置於濾紙上壓乾靜置數小時。然後依試片與濾紙所顯示情形評估級數。級數由 1 至 5，5 代表完全無損傷，4 代表輕微損傷，3 代表 50%損傷，2 代表大於 50 損傷或嚴重損傷，1 則代表油墨完全滲出或消失，測試結果見下圖 1。

CHEMICAL	TREATED SAMPLE	FILTER PAPER	GRADE
Acetic acid 20% Acide acétique 20% CH ₃ COOH	30 min. at 20-25°C		
Hydrochloric acid 5% Acide chlorhydrique 5% HCl	30 min. at 20-25°C		
Sulfuric acid 2% Acide sulfurique 2% H ₂ SO ₄	30 min. at 20-25°C		
Sodium hydroxide 2% Hydroxyde de sodium 2% NaOH	30 min. at 20-25°C		
Sodium sulphide, saturated Sulfure de sodium Na ₂ S sat. dans H ₂ O	30 min. at 20-25°C		
Soap solution 10% Solution de savon 10% Marseille soap 72%	30 min. at 80°C		
Industrial laundry Lessive Industrielle Persil 0.5% + Na ₂ CO ₃ 1%	30 min. at 95°C		

圖 1 油墨滲出性測試結果示意圖

由於油墨滲出性測試能有效評估鈔券在流通時所遭遇之化學損害，因此廣泛運用在鈔券其他安全功能之化學抗性檢測，如德國 Kurz 公司之 OVD、安全線等光學(金屬)箔膜亦使用化學抗性測試作為其品管測試項目，見下表 2 及下圖 2。

表 2
德國 Kurz 公司化學抗性檢測要求

Durability Tests	Test Conditions	Evaluation (minimum requirement)
1. Visual appearance	-	4
2. Ethanol 95%	1min / 23°C	3
3. Ethanol 95%	30min / 23°C	2
4. Xylene	30min / 23°C	3
5. Petrol 100/140	30min / 23°C	3
6. Acetic acid 20%	30min / 23°C	3
7. Hydrochloric acid 5%	30min / 23°C	3
8. Sulfuric acid 5%	30min / 23°C	3
9. Hot water	30min / 60°C	3
10. Hydrogen peroxide 5%	30min / 23°C	3
11. Diethylene glycol	30min / 23°C	3
12. Tetrachloroethylene	30min / 23°C	2
13. Sweat (pH = 3,2)	30min / 23°C	3

註. 級數為 0-4 級，4 級為優，3 級為輕微改變，2 級為改變，1 級為嚴重改變，0 級為消失或喪失功能



圖 2 Kurz 公司光學(金屬)箔膜之化學抗性測試

因此，目前化學抗性測試幾乎可用來評估整張鈔券安全功能之抗化學能力。本

廠亦使用化學抗性測試作為鈔券耐流通測試項目，其化學溶劑(液)及條件與 SICPA 公司之油墨滲出性測試類似。不過，在與測試實驗室 Dr. Bourqui 針對測試細節進行討論後，發現本廠測試結果未將試片壓乾之濾紙同時進行評估，以致部分變化無法肉眼判斷，喪失判斷之依據。

以硫化鈉抗性為例，測試時可目視判斷試片之油墨與原樣比較僅輕微變化，見下圖 3，然而實際在濾紙上凹版油墨已嚴重滲出，見下圖 4。因此，建議日後評估鈔券之化學抗性時，能將壓乾之濾紙一併進行評估。

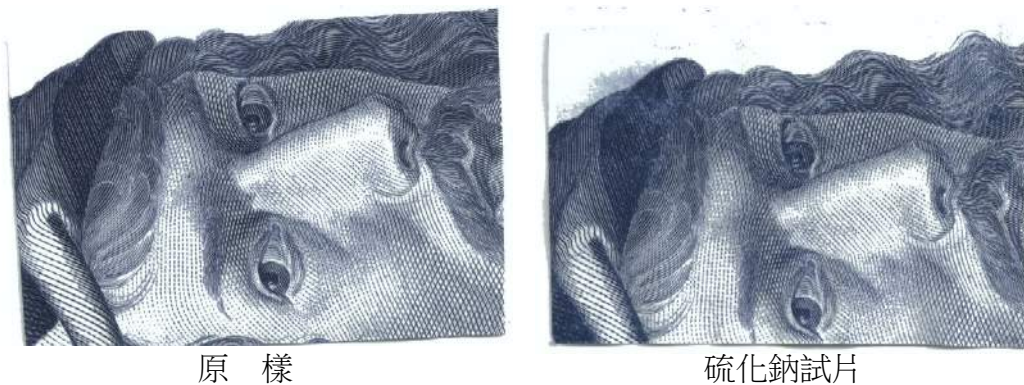


圖 3 試片硫化鈉測試之結果



圖 4 壓乾硫化鈉試片之濾紙

而洗衣機洗滌測試，歐元所採用的測試條件為使用 100ml 之工業洗滌劑 (Persil)、95°C，洗滌約 1.5 小時。不過，SICPA 公司 Dr. Bourqui 表示 95°C 的溫度較高屬於較嚴苛之測試條件，一般會採用 80 °C 進行常規測試，見下圖 5。本廠鈔券之耐流通測試並無此項目，僅於鈔券原紙進行安全防偽特徵之耐受性測試，建議可增訂此項目。



80°C, 1.5 小時洗滌

95°C, 1.5 小時洗滌

圖 5 兩種洗滌測試比較

2. 物性測試

在物性測試中，較常見的項目有乾(濕) IGT 打皺測試(crumping test)、耐摩擦測試(abrasion test)兩類。

打皺測試目的在於評估鈔券油墨(OVD)之附著性，此測試通常使用 IGT 打皺器，以固定速度，每次施以 10 牛頓之力壓潰鈔券。乾打皺測試以 8 次為最常見，濕打皺則需事先將試片浸泡水中 10 分鐘，然後打皺 4 次或 8 次。其評估方法為與參考樣版(reference table)比對，級數為 1-5 級。

另一種評估油墨(OVD)附著性的方法即是耐摩擦測試。該測試亦可以以乾、濕進行測試，通常使用的儀器為 Prubau-Quartant 耐摩擦試驗機。該測試為使用一個直徑 4.6 公分，重 610g 之磨輪在鈔券測試區域往復摩擦，可自訂測試次數。

(二) 髒污測試

隨著鈔券相關產業對於研究的投入，研究發現鈔券設計中四種最基本安全防偽特徵：浮水印、安全線、光影變化薄膜、凹版印紋都以安全紙張為載體^{2,3}；且在分檢之廢券研究中發現，「髒污」為主要的老化類型⁴，因此開啟了各國對髒污測試(soiling test)之興趣。各研究單位對鈔券附著髒污之測試面向不同，因此髒污測試所

² De Heij, H. A. (2006). Public feedback for better banknote design. In *Electronic Imaging 2006*, 607501-607501. International Society for Optics and Photonics.

³ Taxy, B. (2011). Extending banknote lifetime. *Billetarla*, 9, 14-15.

⁴ De Heij, H. A. (2002). Durable banknotes: an overview. In *Presentation of the BPC Paper Committee to the BPC General Meeting, Prague, Czech Republic, May* (pp. 27-30).

採用的儀器也不盡相同。但根據瑞士 LandQart 公司研究發展部門主管 Dr. Kocher 表示以 Fritsch Analysette 最為常見(見下圖 6)，此次參訪之 SICPA 公司、LandQart 公司與 G&D 公司之髒污測試亦使用此儀器進行髒污測試；本廠同樣也使用 Fritsch Analysette 進行髒污測試之開發。



圖 6 Fritsch Analysette 3 Pro 機台

1. 玻璃(石英)球髒污測試

瑞士 SICPA 公司與德國 G&D 公司皆採用玻璃(石英)球髒污試驗。其方法為將測試試片固定在 $63\ \mu\text{m}$ 或 $80\ \mu\text{m}$ 之篩網上，同時加入 250g 玻璃(石英)球與 1.5g 污土後進行震盪測試，時間與震幅參數可自行設計，震盪後即可擦拭去表面髒污，進行髒污評估。兩家公司採用之污土配方如下表 3。

表 3

SICPA 公司之污土配方

成份		重量(g)
石英粉	Quartz	10.0
泥炭土	Peat	40.0
活性炭	Activated charcoal	6.0
甘油單油酸酯	Glycerin-1 monooleat	24.0
角鯊烯	Squalene	10.0
人工汗液	Synthetic perspiration	10.0
		100.0 (g)

由於該污土配方含有較多的著色成份，所以此測試之優點為能快速的提供測試者了解鈔券是否耐髒污，見下圖 7、圖 8。但著色成份多上色容易卻也是一項缺點，原因在於在實際流通中，鈔券變得髒污通常不是因為一次的大污染，而是經過反覆的油污、汗水再混合灰塵、皮屑等等，在時間的歷程中慢慢變髒。



圖 7 SICPA 污土實品



圖 8 石英球髒污測試後試片情形

不過，對於應用在鈔券用安全紙張或鈔券設計之選擇，石英球髒污測試是非常有效率且可以快速獲得初步結果的方法。舉例來說，將四種不同安全紙張裁成適當大小，同時放入儀器中進行測試，測試結果可在震盪時間結束後獲得一個初步判斷。如下圖 9 中可以發現，目視左上角測試與右下角試片污土沾附較多，而左下角污土沾附情形較少；將沾附之污土擦拭後，以儀器量測其髒污程度，結果與未拭去前目視判斷相符。



圖 9 以石英球髒污測試同時比較四種安全紙張

石英球髒污測試之評估方法，雖然仍可使用參考樣版進行級數評估；不過隨著精密光學科技的演進，目前多數採用測色儀器分析其 L^* 值來分析其「亮度」的變化， ΔL^* 越大代表「亮度」變化越大，同時代表鈔券變得越髒。

另外，若要比較不同的幾種鈔券之抗髒污的能力，則可採用抗髒污指數⁵(soiling index)作為指標。抗髒污指數公式如下：

$$\text{Soiling Index (SI)} = (\Delta L^*_{\text{std}} - \Delta L^*_{\text{sam}}) / \Delta L^*_{\text{std}}$$

ΔL^*_{std} ：控制組(標準組)之 L 值變化

ΔL^*_{sam} ：比較組之 L 值變化

舉例來說，本國流通百元券經 SICPA 髒污測試後其 ΔL^*_{std} 約為 30.8，另一設計鈔券 A 之 ΔL^*_{samA} 為 7.0，設計鈔券 B 之 ΔL^*_{samB} 為 18.2，經計算後發現 SI_A 為 0.77，而 SI_B 為 0.41，結果為其抗髒污能力為 A 優於 B，百元券抗髒污能力最低。

2. 彈跳球髒污測試 (Bouncing Ball Test)

⁵ Soiling Index 直譯為「髒污指數」。但筆者認為 soiling Index 越接近 1 代表比較樣的抗髒污能力越高，越接近 0 或負值代表抗髒污能力不佳，因此本報告取其意將 soiling Index 譯為「抗髒污指數」。

瑞士 LandQart 公司根據研究發現⁶，鈔券的髒污來自於皮脂(sebum)的氧化。隨著鈔券的流通時間越長，鈔券的透氣度變高、厚度些微增加，但剛挺度卻變小。代表隨著流通時間的增加，鈔券因為纖維的氧化、吸收濕氣，因此變得更鬆更軟，透氣度增加、剛挺度變小；而當纖維變鬆導致髒污堆積，厚度因此增加。瑞士 LandQart 公司研發部主管 Dr. Kocher 表示彈跳球髒污測試即是以此概念設計，見下圖 10。



圖 10 彈跳球髒污測試示意圖

彈跳球髒污測試特別之處在於底盤固定半球型橡膠墊，其原理是為了讓橡膠彈跳球在鈔券與底盤空隙之間形成「彎折」，模擬流通交易時手拿鈔券的情形，見下圖 11。

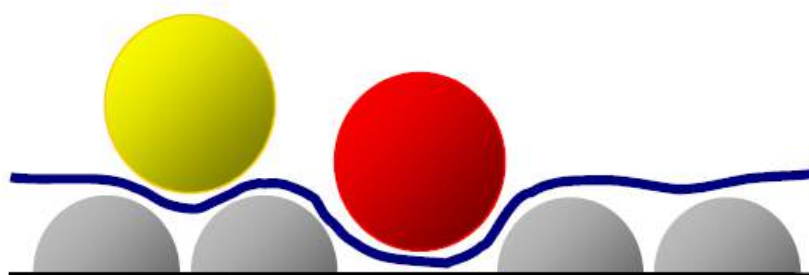


圖 11 彈跳球原理示意圖

同時測試之鈔券僅半固定於底盤中間，因此測試過程中鈔券會隨著橡膠球翻動，產生自然的皺折。另外，彈跳球髒污測試以皮脂取代污土，僅在皮脂配方中加入少許泥炭土(peat)著色，因此測試循環的次數需增加，才能看到明顯的改變。如

⁶ Balke, P. (2009). New soiling test method: Anti-dirty fingers. *De Nederlandsche Bank*. Retrieved from http://www.dnb.nl/binaries/New%20Soiling%20Test%20Method%20%20Anti-Dirty%20Fingers_tcm46-228701.pdf

下圖 12 所示，隨著測試次數的增加，鈔券摺痕與髒污才越明顯。



圖 12 彈跳球髒污測試後之試片

彈跳球髒污測試的評估方式與石英球髒污測試類似，可使用參考樣板進行級數評估，或者使用測色儀器進行 ΔL^* 值之評估。

3. 污土(皮脂)配方的選擇

髒污測試除了方法、儀器的選擇外，污土(皮脂)配方的選擇也是一個關鍵。隨著對鈔券老化髒污的研究進展，研究者發現鈔券在流通的過程中，透過手指與氣態、液態和固態的有機和無機物質接觸，並且穿透紙張表面上鬆散的一層。手指分泌的物質，如汗（99%的水和 1%的固體）、皮脂和手上的髒污，這些揮發性組成份蒸發使體積降低，慢慢變黏稠然後形成固體^{7,8}。通常鈔券上的髒污來源可分為幾種因素。從圖 13 中可以發現鈔券的來源很多樣，可能是無機的如灰塵，有機如細菌；也可能是液態的咖啡，氣態的煙霧，固態的砂粒。因為組成複雜，因此要複製真正

⁷ Balke, P. (2009). New soiling test method: Anti-dirty fingers. *De Nederlandsche Bank*. Retrieved from http://www.dnb.nl/binaries/New%20Soiling%20Test%20Method%20%20Anti-Dirty%20Fingers_tcm46-228701.pdf

⁸ Kyrychok, T., Shevchuk, A., Nesterenko, V., & Kyrychok, P. (2014). Banknote Paper Deterioration Factors: Circulation Simulator Method. *BioResources*, 9(1).

的髒污來源並不容易。

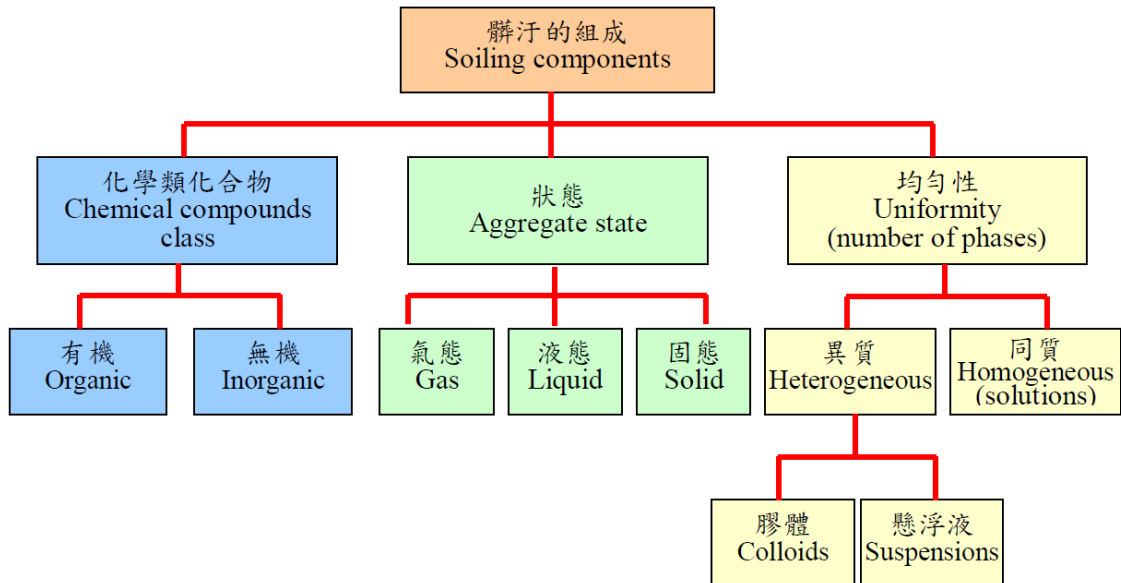


圖 13 髒污組成的分類

目前廣泛使用的髒污替代物大概可分成兩類：人工污土與人工皮脂。污土主要提供鈔券髒污「著色」的來源。因為實際污土的組成會因地區而有所不同，所以在人工污土的配方中，大多以活性碳、石英砂或泥炭土取代，且污土配方中會加入少許油脂或人工汗液等。

SICPA 公司提供以下幾種污土配方的選擇，見下表 4。SICPA 公司所提供之污土配方，皆屬於著色力較強者，因此適合數種鈔券之耐髒污性之初步分類。

表 4
SICPA 公司提供之四種污土配方

配方 A			
石英砂	Quartz		10.0 g
泥炭土	Peat		40.0 g
活性碳	Activated charcoal		6.0 g
甘油單油酸酯	Glycerin-1 monooleat		24.0 g
角鯊烯	Squalene		10.0 g
人工汗液	Synthetic perspiration		10.0 g
			100.0 (g)
配方 B			

培養土	Dried potting compost	56.5 g
麵粉	White flour	28.4 g
細砂	sand	14.0 g
碳黑	Carbon black	1.1 g
		100.0(g)

配方 C

培養土	Dried potting compost	31.5 g
石英砂	Quartz	58.0 g
木屑	Sifted sawdust	1.6 g
人工汗液	Synthetic perspiration	6.0 g
左旋乳酸鈉	L)-sodium lactate	0.4 g
碳黑	Carbon black	2.0 g
浮油脂肪酸	Tall oil fatty acid	0.5 g
		100.0 (g)

配方 D

石英砂	Quartz	20 g
泥炭	Peat	80 g
活性炭	Activated charcoal	5 g
甘油單油酸酯	Glycerin-1 monooleat	90 g
		195 (g)

另外，於文獻⁹中發現另一種污土配方，該配方將污土成份分成液體(人工汗液)、固體(著色劑)與油脂，然後依一定比例混合上述配方進行測試。由於該配方屬於淺棕色(見下圖 14)，其著色能力不及 SICPA 公司提供之配方，所以髒污測試可分成幾個循環進行。



圖 14 另一種顏色較淺之污土配方

⁹ Arjo Wiggins 紙廠提供之「Determination of Banknote Paper Durability」文章。

而 LandQart 公司採用的是人工皮脂(Artificial sebum)100g 加上約 0.1g 的棕色顏料，人工皮脂成份如下表 5 可分為兩種。配方 A 含較多的酸與油酸，因此較容易產生氧化，在進行髒污測試時較容易產生黃化現象(yellowing)。

表 5
人工皮脂配方

配方 A	
角鯊烯	10%
棕櫚酸異硬脂	17%
膽固醇油酸酯	2%
澳洲堅果油	35%
膽固醇	2%
甘油酯肉荳蔻酸	4%
肉荳蔻酸	3%
棕櫚酸	12%
硬脂酸	3%
油酸	12%
	100%
配方 B	
硬脂酸	14.7%
油酸	14.7%
氫化油	14.7%
橄欖油	14.7%
十六醇	10%
固體石蠟	25.2%
膽固醇	6%
	100%

二、模擬流通試驗(simulated circulation trial)

如何改善鈔券之耐久(用)性¹⁰，各國央行已經關注很長一段時間了^{11,12}，許多國家也開始著手研究鈔券老化髒污的原因和影響。然而，由於造成鈔券老化髒污的因素很複雜，因為流通地區、面額等不同都會有不同的結果，很難被系統化，因此使

¹⁰ 原文為「durability」一般翻譯為耐流通性，但全文意思為延長鈔券之流通週期，同時為了與傳統耐流通測試作區別，因此本報告譯為耐久(用)性。

¹¹ Marincovic, C., Pritchard, K., Binder, M., and da Silva, N. (2011). Life cycle assessment of Canada's polymer bank notes and cotton-paper bank notes. Final report, Bank of Canada.

¹² Meuer, T. and Martin, J. (2011). The Eurosystem's efforts in the search for a longer lasting banknote. *Billettaria - International Review on Cash Management* 9, 22-24.

得鈔券老化之參數很難被清楚定義¹³。

實驗室傳統用於鈔券耐流通的測試，如化學抗性、打皺、耐磨擦等，雖可以用來了解鈔券展現對流通環境的抵抗能性，但卻不能保證這些抗性良好的鈔券有較好的耐久性。舉例本國壹佰元券，在傳統的耐流通測試結果中，除耐折度測試距離略低外，無論化學抗性、物理抗性或耐光性等，都與千元鈔券相當，甚至部份優於千元鈔券。但實際流通資料證明，百元券流通週期遠小於千元鈔券。姑且不論其流通(交易)頻率造成流通週期結果的差異，許多研究都顯示傳統耐流通測試，並無法做為鈔券是否耐久的評估依據。

因此，許多研究單位開始思考如何設計一套模擬(simulated)鈔券流通的試驗，並且可用來評估或比較鈔券之耐久性。

以下介紹本次實習之兩種模擬流通試驗。

(一) Life Cycle Trail (LCT) -生命週期試驗

「Life Cycle Trail (LCT)」為瑞士 LandQart 公司所發展之模擬流通試驗。為了模擬鈔券實際流通的情形，首先將歐元回籠劣化的鈔券進行分級¹⁴(見下圖 15)，同時進行測試分析。結果發現：0 級的透氣度(porosity) 為 2.5，至 4 級時明顯增加為 150；而 0 級的厚度(thickness)為 100，至 4 級時增加至 123；且鬆度(Limpness)隨著時間增加，鈔券的剛挺度降低。

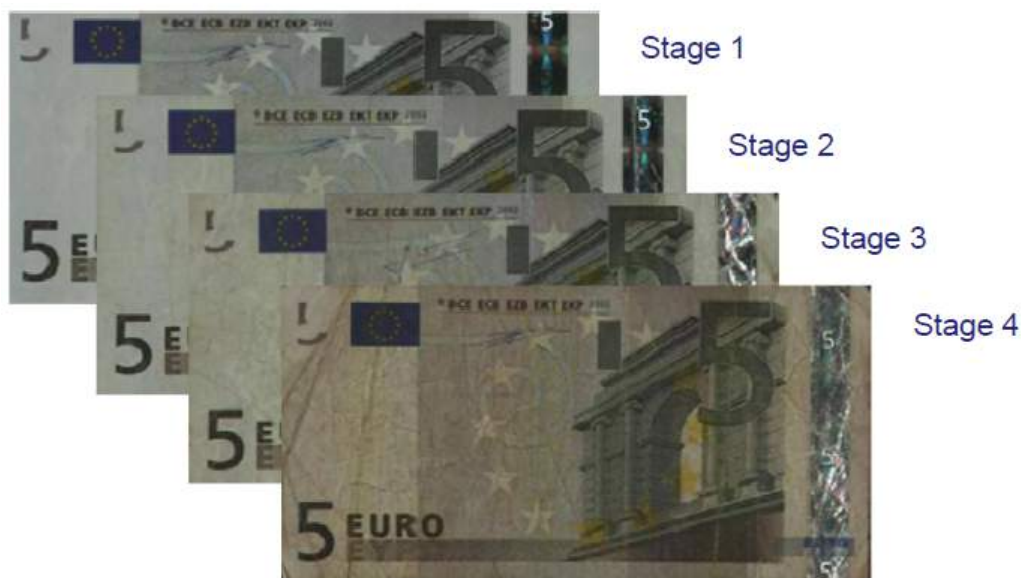


圖 15 歐元回籠鈔券分級

¹³ Kyrychok *et al.* (2014). Banknote deterioration. *BioResources* 9(1), 710-724.

¹⁴ 0 級為新券，1 級-3 級為不同程度(輕為到嚴重)的回籠券，4 級為廢券(unfit banknote)。

依據實際流通鈔券之測試結果，而開發出 Life Cycle Trail (以下簡稱 LCT)，以下介紹之。

1. 試驗方法概述

LCT 試驗以彈力球髒污測試為基礎，主要設計概念有以下幾點：

- (1) 由底盤半球墊與彈跳球接觸鈔券，模擬流通時「手拿鈔券」的情形。
- (2) 底盤正中間設置一個旋轉基座(見下圖 16)，以強力磁鐵固定鈔券中心點，讓鈔券可以因彈跳球的跳動產生彎折。
- (3) 污染物以皮脂為主，可依地區不同自行添加其他物質。



圖 16 LCT 試驗之旋轉基座

從下表 6 之測試步驟中發現，其 LCT 試驗與彈跳球髒污測試類似，但 LCT 試驗加入「耐候處理」程序，原因在於研究發現鈔券的老化、髒污來自於皮脂的氧化，而耐候處理的高溫高濕提供皮脂氧化的程序。

表 6
Life Cycle Trail 測試流程

步驟	描 述
1	在儀器底盤置入半球墊和橡膠球
2	滴入 6 滴的皮脂（皮脂必須以 60°C 液化）
3	儀器先設定振幅 2.0mm，震盪 5 分鐘，使皮脂均勻分布在彈跳球上
4	將鈔券半固定於底座之旋轉基座上
5	滴入 3 滴水
6	設定震幅 2.0mm，震盪 30 分鐘
7	震盪結束後將鈔券翻面，再添加 3 滴水

8	同樣設定震幅 2.0mm，震盪 30 分鐘
9	測量厚度、透氣度、鬆度(分貝)、白度和 L* A * B *值
10	重複上述步驟 2-9，直至所需的周期結束
11	最後：耐候處理 90 °C，75%RH (3 天)
12	測量厚度、透氣度、鬆度(分貝)、白度(R457)和 L* A * B *值

評估結果之量測儀器，大多為基本紙張量測儀器，如厚度計、透氣度計、色度儀等，其中較特別的是測試「鬆度」的儀器，是以「分貝計」設計而成，見下圖 17。將鈔券置於葉扇台上，利用葉扇轉動與鈔券發出的聲音，來判斷鈔券老化的程度。目前測試的結果是實際流通歐元鈔券之新舊與鬆度計有良好正向關係。聲音越鏗鏘清脆，分貝越大，代表鈔券越新；反之，鈔券越老舊，分貝就會越小，見下圖 18。

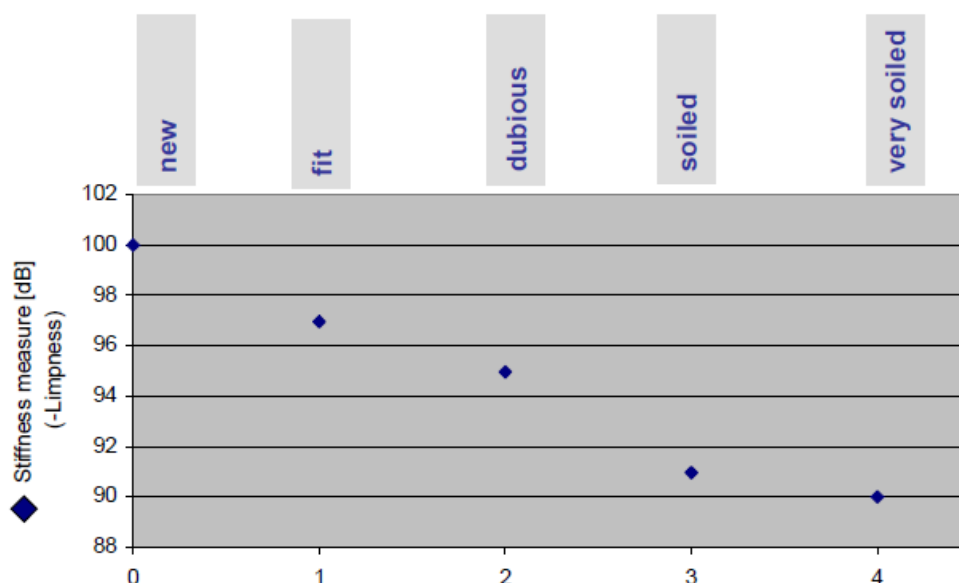


圖 18 流通鈔券與鬆度之關係

不過，目前鬆度分貝計仍在測試階段，因為需要更多樣本的測試才能確認：聲音判定鬆度是否與鈔券的老化有相關性。這個問題，在 G&D 公司開發的 LTT 試驗也是有一樣的疑問，本報告將在後述。

2. LCT 試驗與實際流通之研究

(1) 相關性研究

LandQart 公司與荷蘭銀行進行 LCT 試驗之開發研究。研究結果顯示，以 LCT 試驗的鈔券 1-4 級比對實際流通的回籠鈔券 1-4 級，見下圖 19，目視結果僅有些微差距；而從下表 7 則可發現 LCT 試驗鈔券與實際流通鈔券的量測結果非常類似，顯示 LCT 試驗的確可以模擬鈔券實際流通老化之情況。



圖 19 LCT 試驗鈔券與實際流通鈔券之目視比較

表 7
實際流通鈔券與 Life Cycle Trail 試驗鈔券之比較

		新鈔券	1 級鈔券	2 級鈔券	3 級鈔券	4 級鈔券
實際流通鈔券	透氣度	2.5	20	60	90	150
	厚度	100	108	116	121	123
LCT 試驗鈔券	透氣度	2.5	25	62	95	160
	厚度	100	108	110	112	118

(2) 歐元經驗(Euro Circulation Trial)

2011 年歐洲央行發表了一項歐元耐久性研究，針對五種不同材質的鈔券¹⁵進行實際流通的測試，測試結果有兩種印後塗佈鈔券表現出良好的耐久性。

因此 LandQart 公司與荷蘭銀行(De Nederlandsche Bank, DNB)合作進行模擬流通試驗研究，由荷蘭銀行提供歐元耐久性研究中之其中三種「盲樣鈔券」。結果發現透過 LCT 試驗及評估後，所得之結論與實際流通結果完全吻合，證明 LCT 試驗與實際流通有極佳的相關性。

LCT 試驗所採用的主要儀器 Fritsch Analysette，本廠亦有相同之設備。因此可作為本廠日後開發模擬流通試驗之參考。

(二) Life Time Trail (LTT) -生命歷程試驗

Life Time Trail (LTT，以下簡稱 LTT 試驗)為 G&D 公司所開發用於鈔券之模擬流通試驗¹⁶。不過「LTT 試驗」所代表的僅是模擬流通試驗，試驗後的評估方式稱為 BAM 評估(Banknote Analysis Method)，整套測試流程如圖 20，從流程圖中可看出 LTT 試驗可進行循環測試後再進行評估。

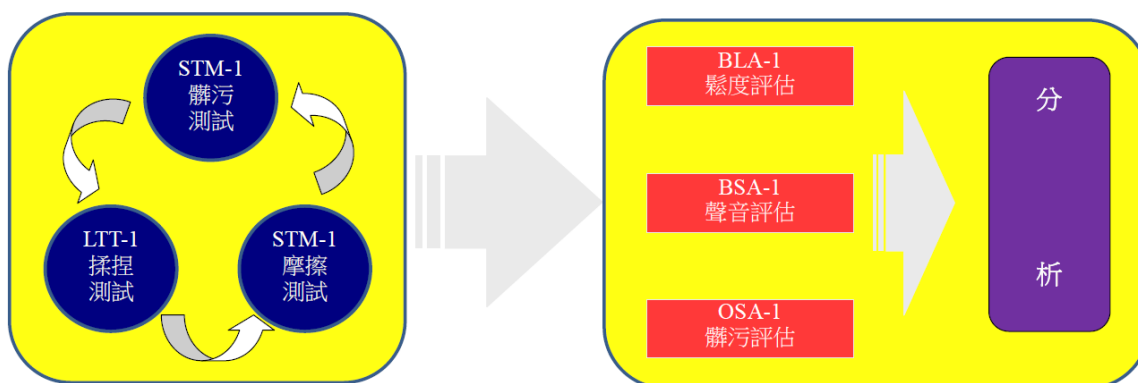


圖 20 G&D 公司模擬流通試驗流程圖

以下茲將 LTT 試驗與 BAM 評估介紹之。

1. LTT 試驗

LTT 試驗室由三項測試組合而成，分別為髒污測試(soiling test)、揉捏測試(crease test)、磨擦測試(abrasion/scratch test)；其中髒污和磨擦測試使用 STM-1 儀器，揉捏測試使用 LTT-1 儀器。以下茲將分述之：

¹⁵ 一種未塗佈鈔券，四種不同材質、方式之印後塗佈(vernished)鈔券。流通回收時間由 2007 年 5 月至 2009 年 1 月。

¹⁶ SICPA 公司亦有相同之試驗設備，因此部分試驗之心得亦來自於與 SICPA 公司相關人員之討論。

(1) 髒污 (污水)測試 (soiling test)-

G&D 模擬流通試驗中的髒污測試與耐流通髒污測試¹⁷不同。使用的儀器為 Prubau-Quartant 耐磨試驗機改裝設計而成，圖 21。該儀器測試方法為將「透明承載箱(water reservoir)」裝入 100 ml 合成污水¹⁸，接著放入鈔券，啟動儀器震盪往復 300 次。此測試主要屬於「濕式測試」，原理主要來自於鈔券老化主要來自於髒污與濕氣的概念，讓鈔券充分浸泡於合成污水中，測試鈔券抗髒污與抗潮濕之能力。

本報告認為合成污水配方比例是個關鍵，因為不同的配方可能導致不同的結果。不過基本上，合成污水的著色劑應佔較低的比例，如此進行循環測試才能逐次看出差異。



圖 21 髒污測試儀器 STM-1

(2) 揉捏測試(crease test)

從流程圖 19 可知揉捏測試接在髒污測試後進行。G&D 公司之揉捏測試是個有趣的設計。G&D 公司產品開發經理 Dr. Kisselova 表示 LTT-1 Crease tester 設計的概念來自於人們隨性使用鈔券的習慣，如鈔券直接放進口袋、隨著衣物丟進洗衣籃等現象。一般傳統測試方法是採用 IGT 打皺測試，除了鈔券需裁切成固定尺寸外，過大的單位面積壓力也與常態不同。

而 LTT-1 Crease tester(見圖 22)原理為將髒污測試後之濕試片放入有壓力閥控制之橡皮球，透過反覆加壓充氣與洩氣的過程，由於鈔券在橡皮球裡隨機移動(random movement)，因此測試結果可模擬自然情形下鈔券被揉捏的狀態。由於實驗室控管未能拍攝相關試片測試後情形，但測試後試片的確如自然情形下鈔券皺褶的情形，見示意圖 23。

¹⁷ G&D 之耐流通髒污測試即為「石英球髒污測試」。

¹⁸ 合成污水僅知為合成汗水、焦糖、乳酸、棕色著色劑等，比例未知。但 G&D 公司產品開發經理 Dr. Kisselova 表示成份與比例皆可依需求自行調製。



圖 22 揉捏測試儀器 LTT-1



圖 23 試片揉捏測試後示意圖

(3) 磨擦測試(abrasion/scratch test)

磨擦測試所使用的儀器與髒污測試的相同，都是由 Prubau-Quartant 耐磨試驗機改裝設計而成，見下圖 24。特別的是此設計主要以菜瓜布¹⁹ 作為摩擦面，架上的吸管定量給水(約 50ml)，使鈔券在潮濕情形下進行摩擦，如此往復 100 次。

實際觀察此測試 500 次後發現，經後塗佈加工(post varnished)之鈔券表面抗摩擦之能力明顯優於未經後塗佈加工之鈔券。G&D 公司開發之髒污測試與磨擦測試本廠有相同之儀器(Prubau-Quartant 耐磨試驗機)，若要增加此測試項目，可考慮加以改裝後方可行測試。

¹⁹ G&D 公司採用 3M 天然木漿棉菜瓜布。



圖 24 摩擦測試儀器 STM-1

2. BAM 試驗

在進行 LTT 循環試驗結束後，所得試片即可進行 BAM 評估，BAM 評估同樣有三項，分別為髒污評估(soiling measuring)、鬆度評估(Limpness measuring)、聲音評估(sound measuring)；其中髒污評估使用 OSA-1 儀器，鬆度評估使用 BLA-1 儀器，聲音評估使用 BSA-1 儀器。以下茲將分述之：

(1) 髒污評估

髒污評估使用的儀器為 OSA-1 (optical soiling analyzer)，見圖 25。一般髒污評估所用之儀器為光學色度儀，必須在試片上選定固定區域後²⁰，以光學色度儀定點量測。由於量測的區域，每次皆以目測選定，因此一定有人為判定之誤差。



圖 25 髒污評估儀器 OSA-1

²⁰ 一般選定之區域為無印紋或較淺，至少是無凹版印紋之區域。

而 OSA-1 為一台可進行量測功能之光學掃描器。量測時可將整張鈔券對齊原點承靠進行掃描。掃描後，量測軟體出現整張鈔券之圖樣(如圖 26)，可針對想進行量測之區域進行「標示/圈選 (mark)」，同時可將圈選區塊儲存成樣版 (tablet)，方便下次相同鈔券之量測。

量測之數據亦可選擇 L^* 值、 ΔE^* 、光譜值等參數，量測後數筆資料也可進行數據分析與比較。



圖 26 OSA-1 掃描後可進行試片量測區域之圈選

(2) 聲音評估

G&D 公司聲音評估儀 BSA-1 (Banknote sound analyzer，如圖 27)與 LandQart 公司 LCT 試驗之「鬆度分貝計」有異曲同工之處，都是利用鈔券發出「聲音(分貝)」評估其鈔券老化的程度。因為在新鈔時期，鈔券纖維結構緊密，因此聲音聽起來鏗鏘有力，而老化後因結構鬆散，聲音聽起來較低沉小聲。



圖 27 BSA-1 聲音評估儀器

不過根據 Dr. Kisselova 表示，由於目前鈔券紙基(substrate)的組成複雜，部分鈔券紙基老化情形與鈔券鬆度的「聲音(分貝)」並沒有很大的相關性²¹，因此使用聲音評估儀評估鈔券之老化，仍待進一步確認。

(3) 鬆度評估

G&D 公司鬆度評估儀 BLA-1 (Banknote limpness analyzer，如圖 28)，這也是利用鈔券老化後，纖維結構鬆散的特性²²來進行評估，見圖 29。不過不是利用聲音，而是「剛挺度」。



圖 28 BLA-1 鬆度評估儀器

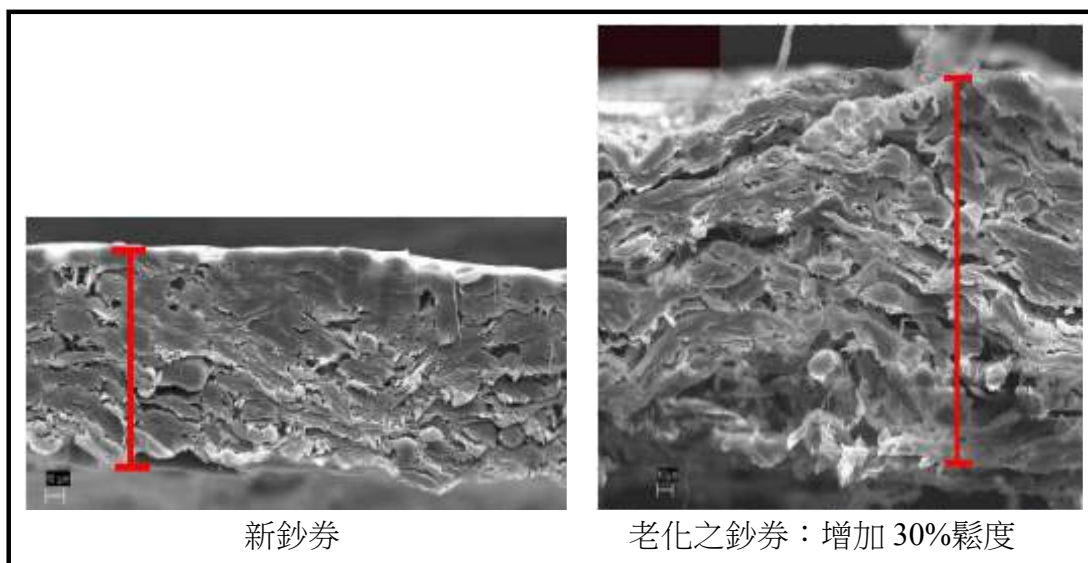


圖 29 新舊鈔券纖維鬆度之差異

此儀器的評估原理類似「Taber 剛挺度測試儀(150-E)」，利用鈔券新舊間纖

²¹ G&D 產品開發部經理 Dr. Kisselova 表示，一般棉鈔券老化與鬆度聲音有較大相關性；不過，塑膠鈔券或是合成鈔券相關性仍有待研究。

²² Balke, P. (2011). From Fit to Unfit: How Banknotes become Soiled. Retrieved from http://www.dnb.nl/en/binaries/From%20Fit%20to%20Unfit%20How%20Banknotes%20become%20Soiled_tcm47-254910.pdf

維緊密度產生的彈性(flexibility)差異來進行評估，無論是何種材質之紙基，都可顯示出差異。

可惜的是，目前這套模擬流通試驗並沒有太多公開的測試報告或數據做為參考，無法得知是否真能做為模擬鈔券流通之試驗。不過，整個試驗開發團隊對試驗發想與實踐的態度，是值得肯定與學習的。

貳、後塗佈加工技術之評估

前文所述之耐流通測試及模擬流通試驗相關技術，都是為了確認鈔券是否耐流通性及耐久性。但要讓鈔券能真正耐久/耐流通，則需要依賴印刷工序的改良或是耐久性安全紙張的使用。印刷工序的改良最常見的就是「後塗佈加工技術(post varnished)」，而耐久性安全紙張將在下一章節詳述。

一、後塗佈清漆 - SICPAPROTECT

本次實習地點 SICPA 公司則是提供世界各國後塗佈清漆之製造大廠，「SICPAPROTECT」是目前 SICPA 唯一提供之後塗佈清漆，是以 UV 乾燥技術進行鈔券的表層保護。

在 2009 年前 SICPAPROTECT 分成水性乾燥及 UV 乾燥兩種清漆，不過在進行實際流通試驗後發現：水性乾燥清漆易因潮濕，使原有的保護能力降低，同時鈔券變得更容易髒污，在回收廢券的數量與未塗佈鈔券幾乎無異，因此於決定於 2009 年後不再生產。而 UV 乾燥清漆則在該試驗中，則可增進約 25-50%之流通壽命。不過，UV 乾燥清漆在乾燥時易產生令人不適之氣味，SICPA 也在此部份改良部份配方，此次於 SICPA 實驗室進行測試時氣味尚可接受。

目前採用 UV 乾燥(uv curing)之 SICPAPROTECT 對鈔券的保護機制分為物理、化學兩方面。物理機制為使鈔券的孔隙變小、表面變平滑(見圖 30)，濕氣與髒污便較難進入纖維，使之氧化。而化學機制則是降低其表面附著能(surface adhesion energy)，有就是 SICPAPROTECT 塗佈之表面張力較低，髒污較難附著(見圖 31)。

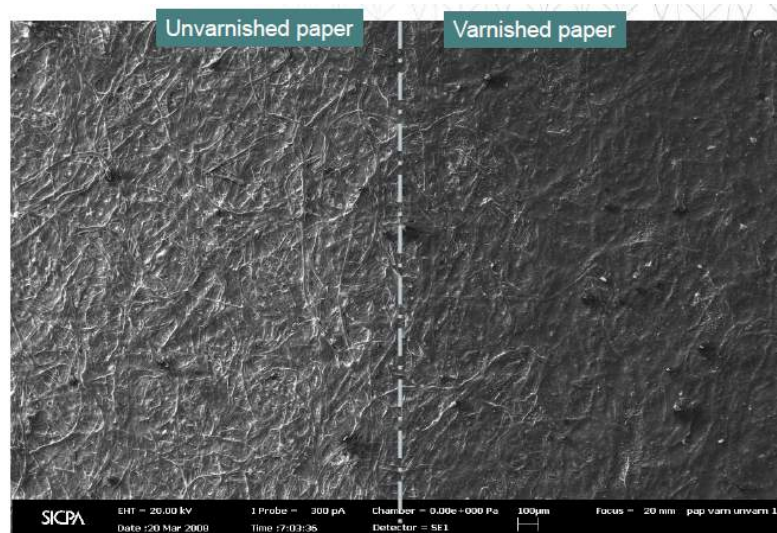


圖 30 非塗佈表面與 SICPAPROTECT 塗佈表面之顯微鏡下觀察

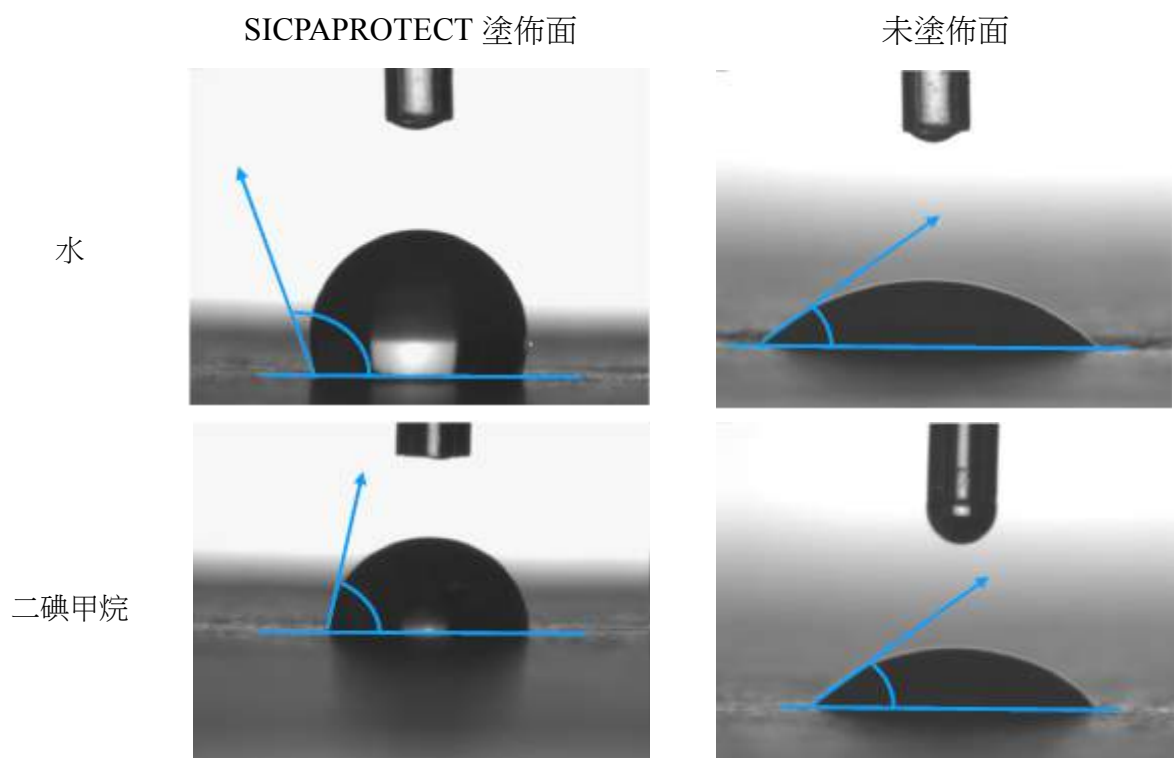


圖 31 SICPAPROTECT 塗佈與非塗佈表面之表面張力差異

SICPAPROTECT 依上述兩種機制提供鈔券保護能(protect energy)，但並非塗佈了 SICPAPROTECT 鈔券就能得到有效的保護。因為後塗佈加工技術不僅僅是清漆，其塗佈厚度、UV 乾燥能量及時間等都是關鍵。無效的後塗佈加工，雖然表面看起來提供了一層保護，但卻可能因為塗佈層缺乏彈性而發生脆裂(crack)，反而增加鈔券老化的機會，見圖 32。因此 SICPA 公司實驗室開發一套評估後塗佈是否有

效之方法，用以確認後塗佈之有效性。

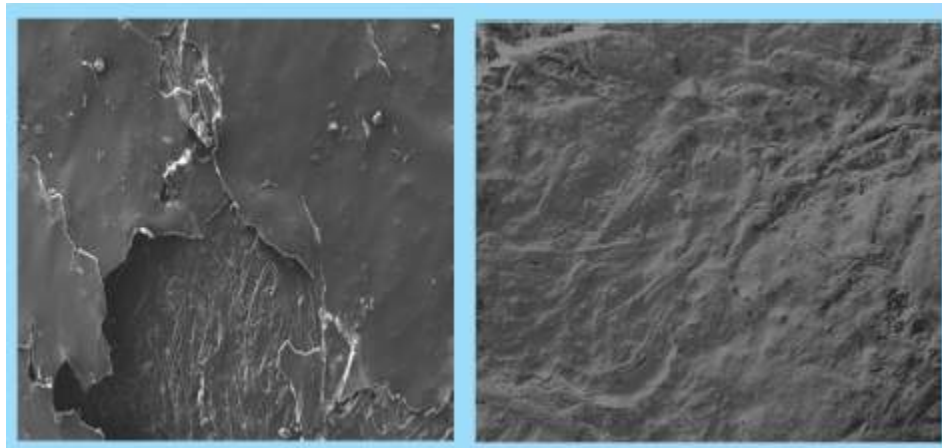


圖 32 打皺測試後不同塗佈效果表面之差異

二、評估方法

1. UV 固化有效性

由於 UV 乾燥系統一般可以進行 UV 能量及乾燥時間之設定。依據每個不同的塗佈厚度及條件，上述參數設定可依需調整。但，如何確定清漆已完全乾燥，而非僅表面乾燥呢？SICPA 公司採用「螢光筆顯示法」進行測試。

「螢光筆顯示法」方法非常簡易，將不同 UV 乾燥條件之試片靜置於測試環境下至少 5 分鐘。以棉花棒沾上丁酮(MEK)，在空白處以每輪 10 下，共 5 輪的方式塗抹，之後再隨意以螢光筆塗鴉(圖 33)，等待 3 秒後以布擦拭。

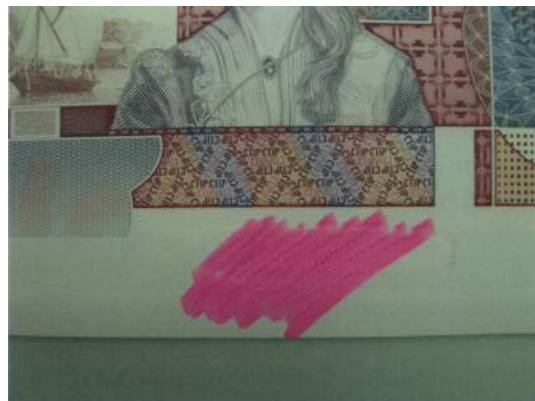


圖 33 螢光筆於 MEK 塗抹處塗鴉

評估：擦拭後依留下痕跡之深淺，來判斷 UV 乾燥是否完全。留下痕跡越淺或不留痕跡，代表 UV 乾燥越完全；因為 UV 乾燥後之清漆，不易被丁酮溶解，因此能保護表面保持乾淨。

2. 抗髒污能力(soiling resitance)

使用後塗佈加工就是為了使鈔券能有抗髒污之能力，因此了解其抗髒污能力是

否完整是很重要的，測試的方法為「藍墨水測試 (Pelikan test)」。

首先將塗佈鈔券乾燥完成之鈔券試片，使用 Teasa 57805 透明膠帶分別貼黏正背面一半的面積，如圖 34。其測試流程為：將試片浸入藍色墨水中 30 秒，之後將試片取出擦乾，如圖 35。

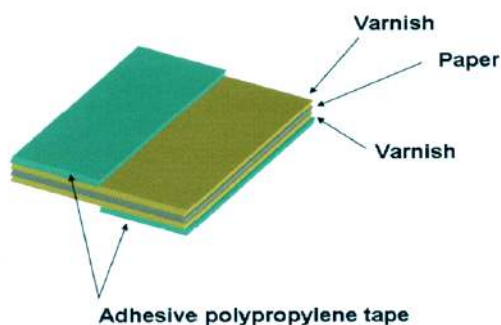


圖 34 藍色墨水測試之試片前處理示意圖

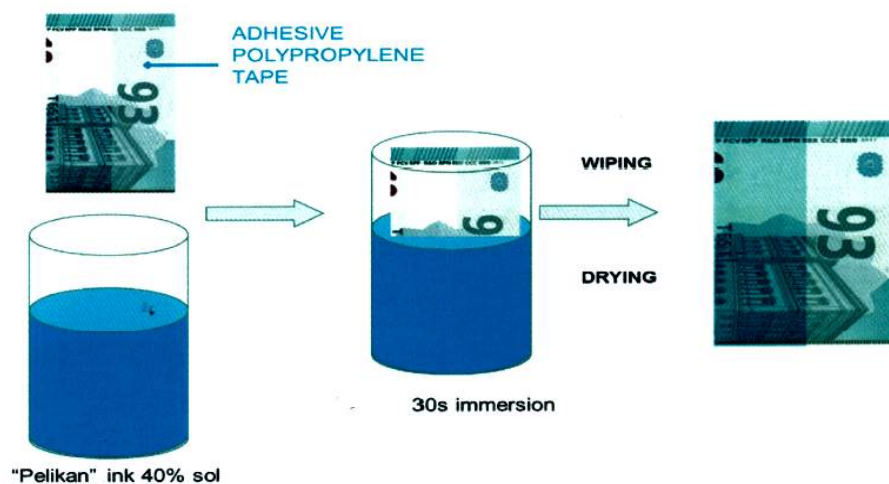
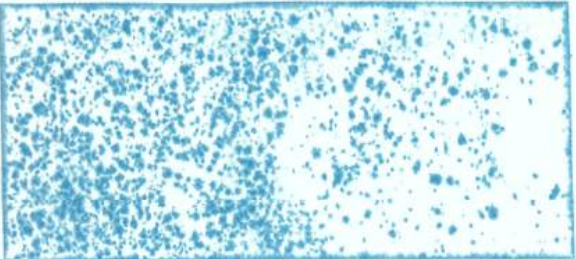

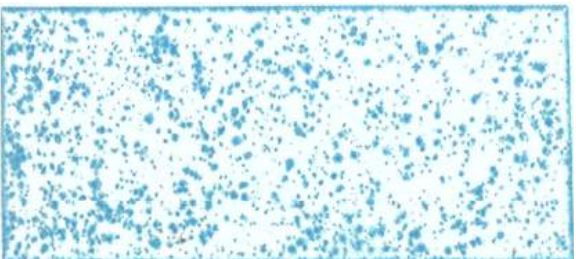

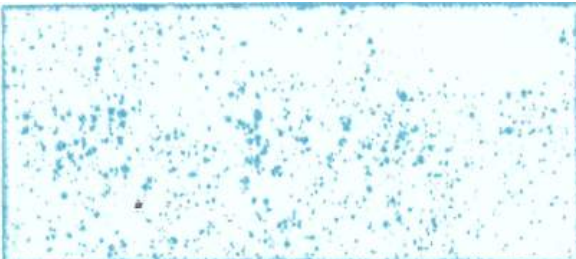





圖 35 藍色墨水測試流程

評估之方法對測試區域進行比較，評估時依據參考樣版(reference table)進行評級，下表 8。

表 8
藍色墨水測試評級樣板

級數	鈔券白紙片	印刷試片
1		

2		
3		
4		
5		

從表 8 發現，評級級數為 1-5，5 級代表有試片塗佈之表面有優越之抗髒能力，1 級代表抗髒能力不佳。除了藍色墨水痕跡顯示之多寡外，亦可觀察藍色墨水痕跡進入鈔券的方式，是點狀墨水痕跡抑或是從清漆裂縫處滲入²³，圖 36。



圖 36 清漆裂痕產生之痕跡

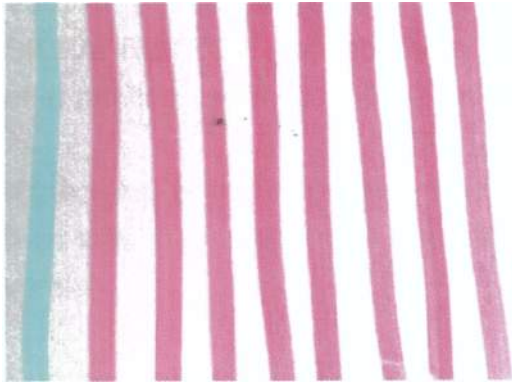
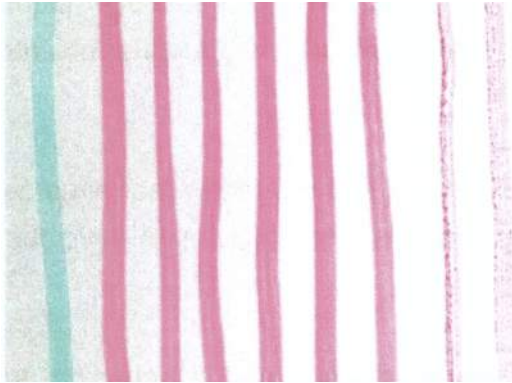
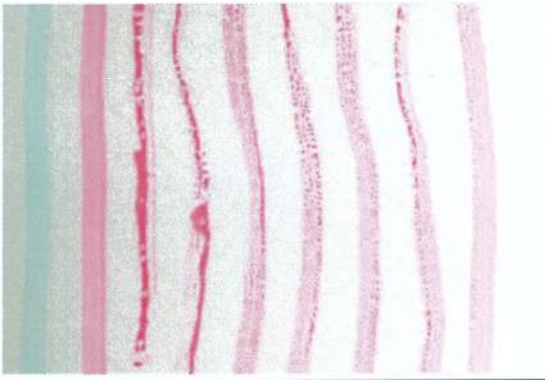
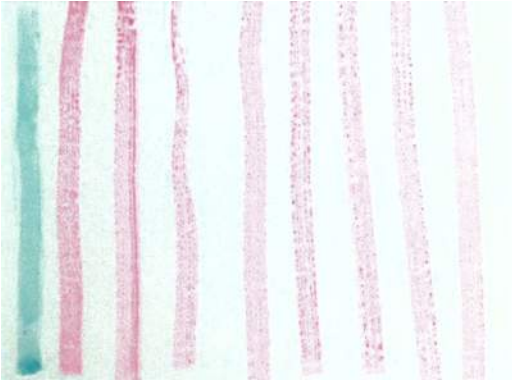
²³ 若從裂縫處滲入的痕跡太多，代表清漆表面不夠有彈性(flexible)，容易導致日後鈔券表面產生裂痕(crack)，鈔券更因此容易老化。

3. 表面張力 (surface tension)

UV 乾燥清漆能產生抗髒污之能力，主要來自於其表面張力低。但因為關係到油墨附著力，因此表面張力並非越低越好。合宜的表面張力，可以提供良好的印刷適性，同時提供最適之抗髒能力。根據 SICPA 公司研究表示 SICPAPROTECT 最佳之表面張力：在乾燥 24 小時後，應在 <30 (mN/m)。

測試之方法為使用達因筆(Dyne Test Pen)，依 DIN ISO 8296 規範，測定表面能量(表面張力)，是用已知不同表面能量的墨(如：達因筆)，在待測薄膜上刷約 100mm 墨痕，並觀察其 90% 以上的墨痕在 2 秒鐘內是否發生收縮並形成墨滴。如有，則換低一級表面能量的墨水再進行相同觀察，直至墨滴不收縮和出現完正墨痕，此即為對應之表面能量，判定之方法如下表 9。

表 9
表面張力測試評級

	
判定 表面張力 > 44 mN/m	表面張力 $> 40-42$ mN/m
	
判定 表面張力 $> 30-32$ mN/m	表面張力 $> 30-28$ mN/m

*註. 從左至右之張力為 28(藍色)、30、32、34、46、48、40、42、44。

4. 黃化反應 (yellowing)

UV 乾燥清漆最令人擔心的便是本身黃化而造成鈔券老化之問題。SICPA 公司建議可採用氙弧燈進行黃化評估，原因在於氙弧燈是人工加速老化方法中光源與日光類比性最好之試驗系統，氙弧燈的光譜範圍為波長大於 270nm 的紫外光、可見光和紅外輻射，經適當濾光後其光譜能量分佈與日光最相似。

測試之方法為將試片與標準藍色羊毛布²⁴同時放進氙弧燈測試器中進行測試，見圖 37。SICPA 公司建議之測試時間為 IWS 6²⁵，大約為 260 小時。

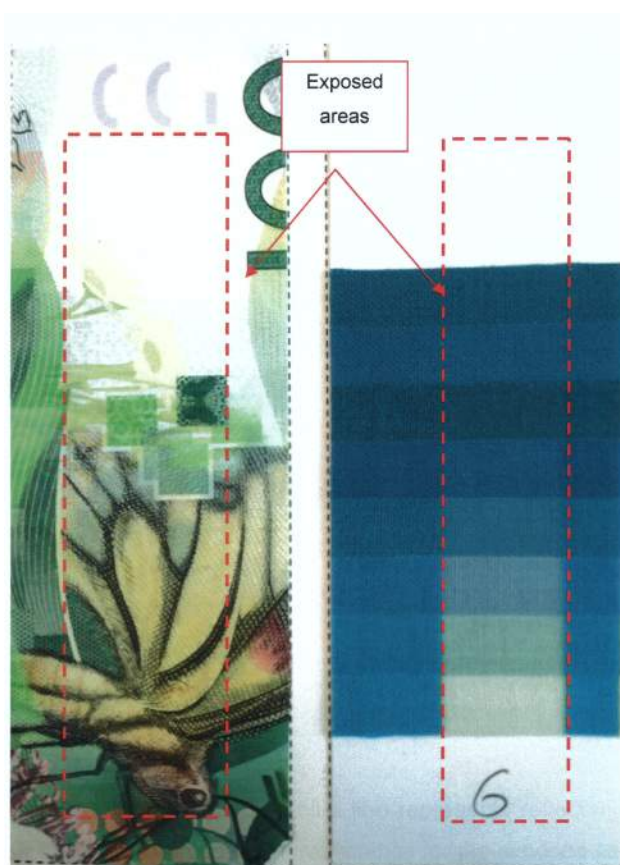


圖 37 試片與藍色羊毛布

SICPA 公司內部研究 SICPAPROTECT 試片之結果顯示，試片目視並沒有黃化之情形；同時經氙弧燈測試之試片以分光儀之波長反射率分析，反射率皆高於未經氙弧燈試驗之試片。意即經氙弧燈測試之試片，從數據顯示反而更亮，因此可證明 SICPAPROTECT 有良好之耐久性，不會因光線黃化、老化。

不過，SICPAPROTECT 雖然試 UV 乾燥固化之清漆，但其對濕度、溫度之敏

²⁴ 藍色羊毛布為為美國 AATCC 所發布之耐日光變褪色度之標準參比，級數為 1-8，級數越高代表越耐變褪色，8 號代表耐變褪色能力是 7 號之 2 倍，以此類推。

²⁵ IWS 6 代表藍色羊毛布 6 號變色 ΔE^* 之時間，IWS 6 為推算測試品為「優良」耐日光變褪色性之級數。

感性在 SICPA 公司內部未進行較全面性的研究，因此這部分可作為本廠日後研究探討之方向。

叁、耐久性安全紙張

1950 年起各國央行開始針對如何有效使用鈔券進行研究²⁶。研究發現，鈔券的耐久性與鈔券用安全紙張的選用間有一定程度的關聯²⁷；而增加鈔券耐久性的二大策略中，其中一個策略即是使用耐久型鈔券用安全紙張²⁸。一般而言，耐久型鈔券用安全紙張可分為四大類：塗佈(上膠)耐髒汙、合成纖維強化、複合紙基及纖維結構強化技術。

本次實習除研習耐久測試相關技術外，同時亦參觀了本次實習地點 LandQart 公司與 G&D 公司鈔券用安全紙張之製造與應用。這兩家公司在耐久性安全紙張的研發中都有相當特別的產品 – 「三明治複合紙 (three layers substrate)」，同時也生產塗佈耐髒汙紙，下面就分別介紹之。

一、三明治複合紙 Durasafe – LandQart 公司

Durasafe 首次公開發表在 2009 年華盛頓召開之國際鈔券會議上。Durasafe 是以 35 g/m² 之高分子聚合體-Polyamide12(俗稱尼龍 12)為核心，雙面分別覆以 35g/m² 之純綿紙張纖維，組合成 105 g/m² 之複合層安全紙張，圖 38。

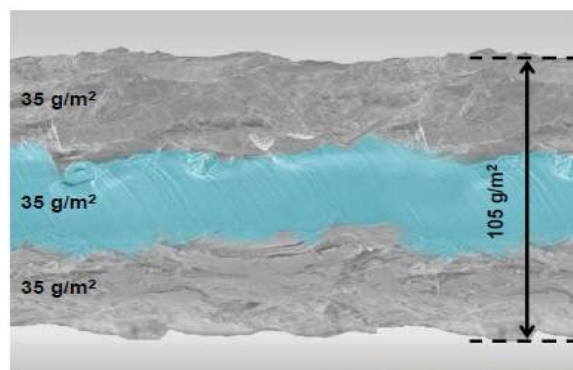


圖 38 Durasafe 結構圖

Durasafe 紙張外觀與一般紙張無異，具有紙張原有之觸感、油墨附著力強、印刷適性佳等優勢，而聚合物的核心則提高了紙張的耐用性，兼具紙張及塑膠特性。在實驗室進行耐折度測試，甚至有耐折次數達 80,000 次仍不斷的情形發生。另外，其鈔券兩面之

²⁶ Balke, P. (2009). New soiling test method: Anti-dirty fingers. *De Nederlandsche Bank*. Retrieved from http://www.dnb.nl/binaries/New%20Soiling%20Test%20Method%20%20Anti-Dirty%20Fingers_tcm46-228701.pdf

²⁷ De Heij, H. A. (2002). Durable banknotes: an overview. In *Presentation of the BPC Paper Committee to the BPC General Meeting, Prague, Czech Republic, May* (pp. 27-30).

紙張可設計各自獨立之防偽特徵，並可嵌入各自之水印圖案、安全線及纖維絲等。該複合技術是利用熱融技術而非使用膠層，使紙纖維與塑質層結合更緊密，圖 39。

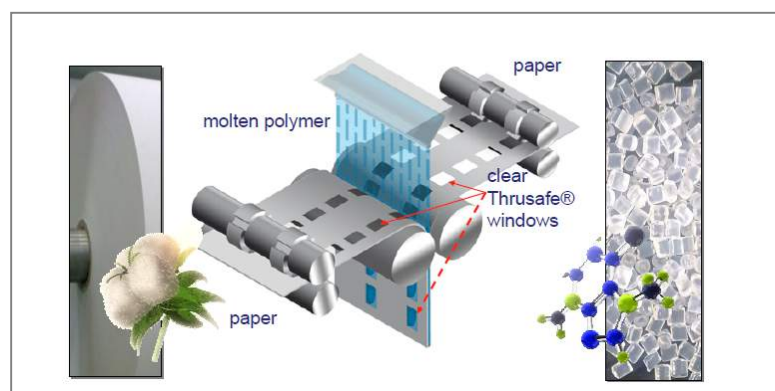


圖 39 Durasafe 之製程示意圖

目前第一個發行 Durasafe 鈔券的是摩洛哥的 25 Dirham 於 2012 年發行，圖 40。另一個即將發行的 Durasafe 鈔券是瑞士 50 CHF²⁹。職於 2011 年在「安全紙張加速劣化與耐髒污研究」及 2013 年「鈔券用安全紙張抗老化之研究」中發現，Durasafe 有優異的抗高溫高濕環境老化的能力，甚至紙張黃化後，經紫外光照射後會產生還原「光漂白」的現象；但抗髒污之能力卻不佳，因此研究建議使用於高面額或紀念鈔券的使用上。



圖 40 摩洛哥 2012 年發行之 25 Dirham

²⁹ 根據 SMI 產業新聞 2014.05.02 報導，Durasafe 已確定成為瑞士法郎新系列的鈔券用紙，而第一個推出的鈔券是高面額的 50 CHF。資料連結：
<http://www.securamonde.com/2014/05/02/durasafe-confirmed-for-new-swiss-franc-series/>

瑞士 50 CHF 屬於高面額鈔券，同時瑞士的流通環境較單純，相信 Durasafe 應有較佳耐久性表現；而摩洛哥 25 Dirham 屬於低面額鈔券，至 2013 年止並沒有發現任何問題，但也同時因流通回籠的鈔券不多，因此 Durasafe 應用於低面額鈔券是否耐久，相信是個值得長期觀察的議題。

二、三明治複合紙 Hybrid – G&D 公司

Hybrid 安全紙張其組成以 100% 純棉為紙基核心，雙面壓以 6 μ m 高分子聚合薄膜-聚酯纖維(polyester)為表層，基重範圍可為 95~125 gsm，如下圖 41。以棉為基材核心，因此傳統之安全防偽特徵如模造浮水印、安全線及機器閱讀機制等都可嵌入其中；高分子聚合薄膜為保護層則可適度耐髒污及耐機械式的破壞。G&D 公司之 Louisenthal 紙廠指出，鈔券用安全紙張 H 之優勢在於：觸感與紙張相同、印刷適性佳，尤其是在凹版印刷時能表現優異之凸觸效果，且兼具塑膠紙之耐流通特質，在 20 $^{\circ}$ C 和相對溼度 65% 環境下，其耐折度甚至達 14000 次以上，為目前傳統棉質安全紙 3 倍。

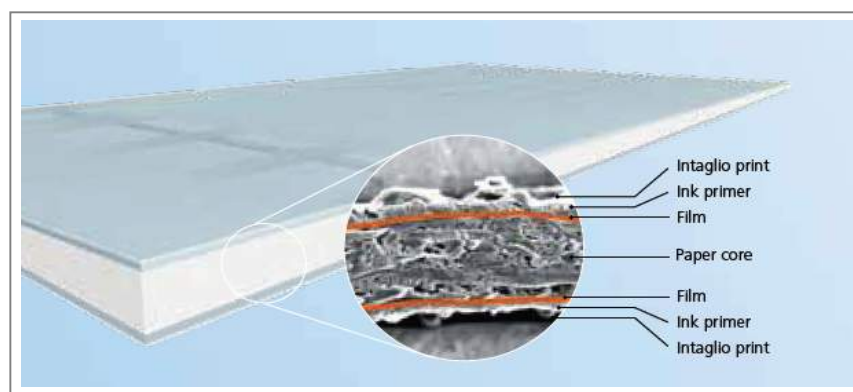


圖 41 Hybrid 安全紙張之結構示意圖

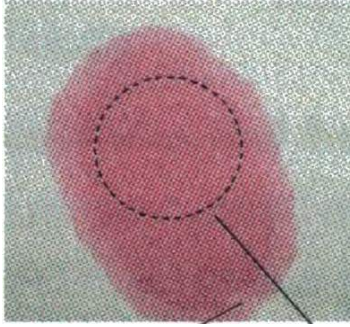
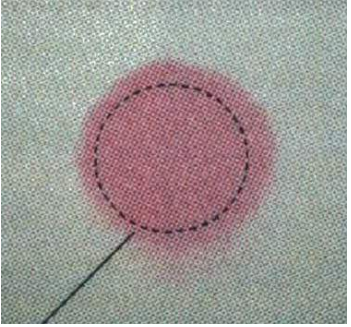
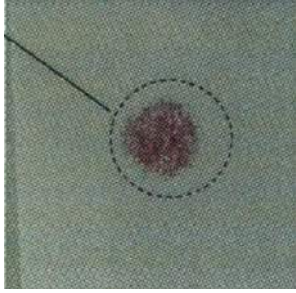

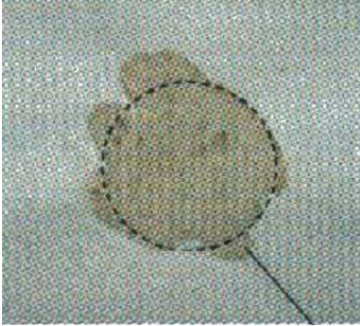
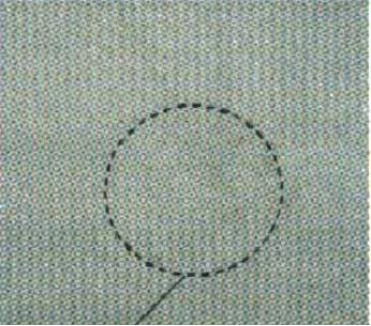
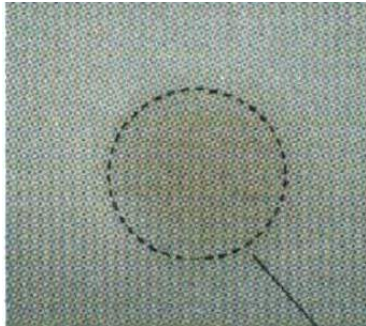
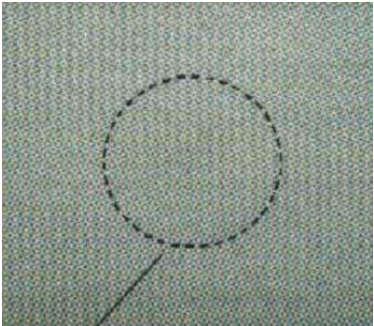


史瓦濟蘭為全球第一個發行鈔券用安全紙張 H 鈔券的國家，該國於 2009 年發行的 100 元及 200 元流通紀念鈔(Currency news, 2009)。

三、SRT(soiling resistance treatment) – LandQart 公司

SRT 為 LandQart 公司所生產之抗髒污安全紙張，一般以抗髒污為訴求之安全紙張主要提供於低面額之鈔券使用。SRT 是利用改良上膠(sizing)劑，使紙張表面有耐髒污功能。目前雖在進行最後測試階段，但部分測試報告已顯示出其耐髒污性能。從表 10 中可發現，SRT 紙幾項有關髒污測試之結果皆優於標準鈔券安全紙張。

表 10

SRT 與標準鈔券紙之比較

	標準鈔券安全紙張	SRT 安全紙張
油脂吸收 擴散測試		
油脂穿透 測試	 44 秒穿透	 206 秒穿透
咖啡擴散 測試		
污(dry)土 測試		
藍色墨水 測試	 $b^* = -29.18$	 $b^* = -13.7$

另外，值得一提的是在黃化測試 (yellowing test)³⁰中，SRT 紙的黃化情形遠小於標準鈔券用紙，如圖 42。一般上膠劑對高溫高濕之耐受性較低，因此測試後黃化情形較明顯，因此從結果顯示，SRT 除了耐髒污也有一定耐久之性能。不過，由於 SRT 之印刷適性及印刷後之相關測試，本次實習期間皆未能對此部分有所了解，因此仍有待後續研究資料公開，才能對其性能進行全面性之評估。

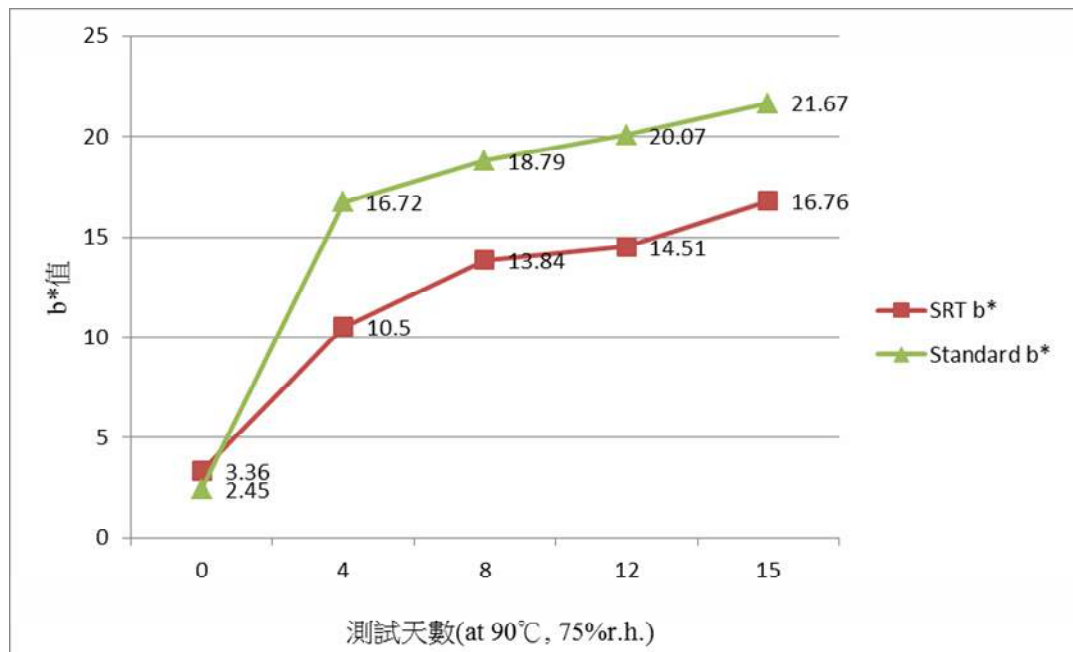


圖 42 SRT 與標準紙之黃化測試比較

肆、結論與建議

鈔券之耐久性已是目前鈔券相關產業十分重視的議題。無論是以耐久性安全紙張或是後塗佈加工技術來增加鈔券之耐久性，都需要進行在正式量產前進行一連串的測試與評估，以確保日後鈔券在流通上「安全無虞」。因此無論耐流通測試、模擬流通試驗、後塗佈加工技術評估或耐久型安全紙張性能評估，都扮演不可或缺之角色。

透過此次出國實習上述測試(試驗)與評估後，本報告有以下結論與建議：

一、耐流通測試加入濾紙評估方式，並增加洗衣機洗滌測試及耐髒污測試項目

本廠現有之鈔券耐流通測試項目，與目前國際上通用的測試項目大致一致。惟在評級時無同時評估壓乾濾紙之情形，因此導致部份項目級數判定高估，建議日後評級時可

³⁰ LandQart 公司所採用的黃化測試是在進行完彈力球髒污(皮脂)試驗後，將試片放入 90°C、75%r.h.的環境試驗氣中，觀察經過天數與試片黃化(b*值)之情形。

改善此部份。另外，由於現在洗衣機及洗滌劑之洗滌功能越來越好，鈔券的洗滌損傷亦是常見性之破壞，因此建議增加鈔券洗滌測試項目。

同時近年來，由於許多研究顯示回籠廢券中「鈔券髒污佔的比例最高」。因此，建議可依目前現有設備，參考「石英球髒污測試 / 彈力球髒污測試」擇其一，現有鈔券增加髒污測試項目，作為日後發展耐久性鈔券之參考。

二、開發最適化之鈔券模擬流通試驗

增加鈔券耐久性不但是國際趨勢，也是一種成本與環保的考量。因此，開發適合本國/廠鈔券之模擬流通試驗有其必要性。本報告建議可依照歐洲經驗，先進行本國「回籠鈔券之分級分析」，從中了解本國鈔券老化之情形，並且分析髒污來源及可能的因子，然後運用本廠現有設備進行鈔券模擬流通試驗。

以本廠目前現有設備，LandQart 公司所設計之 LCT 試驗為非常適合之試驗，只是在皮脂(髒污來源)配方選擇上，本廠仍需依回籠鈔券之分析中取得適合之配方。而 G&D 公司所採用之 LTT 試驗中，有關磨擦與髒污(污水)測試，本廠亦有相同儀器，可一併考量加入試驗。

三、評估適合本國/廠之鈔券耐久性方案

各國目前對於耐久鈔券的使用方案各異，有些採用耐久性安全紙張，有些採用後塗佈加工技術，有些則兩者兼具。本廠使用何種方案，除需考量面額外，亦需了解本國鈔券老化之情形與因子；同時在擇選方案前進行相關測試及分析，如模擬流通試驗、後塗佈加工技術評估及 LandQart SRT 分析等。結論為，透過這樣嚴謹的測試，應該能為本國耐久性鈔券找出最適合之方案，進而增進鈔券之耐久性。