

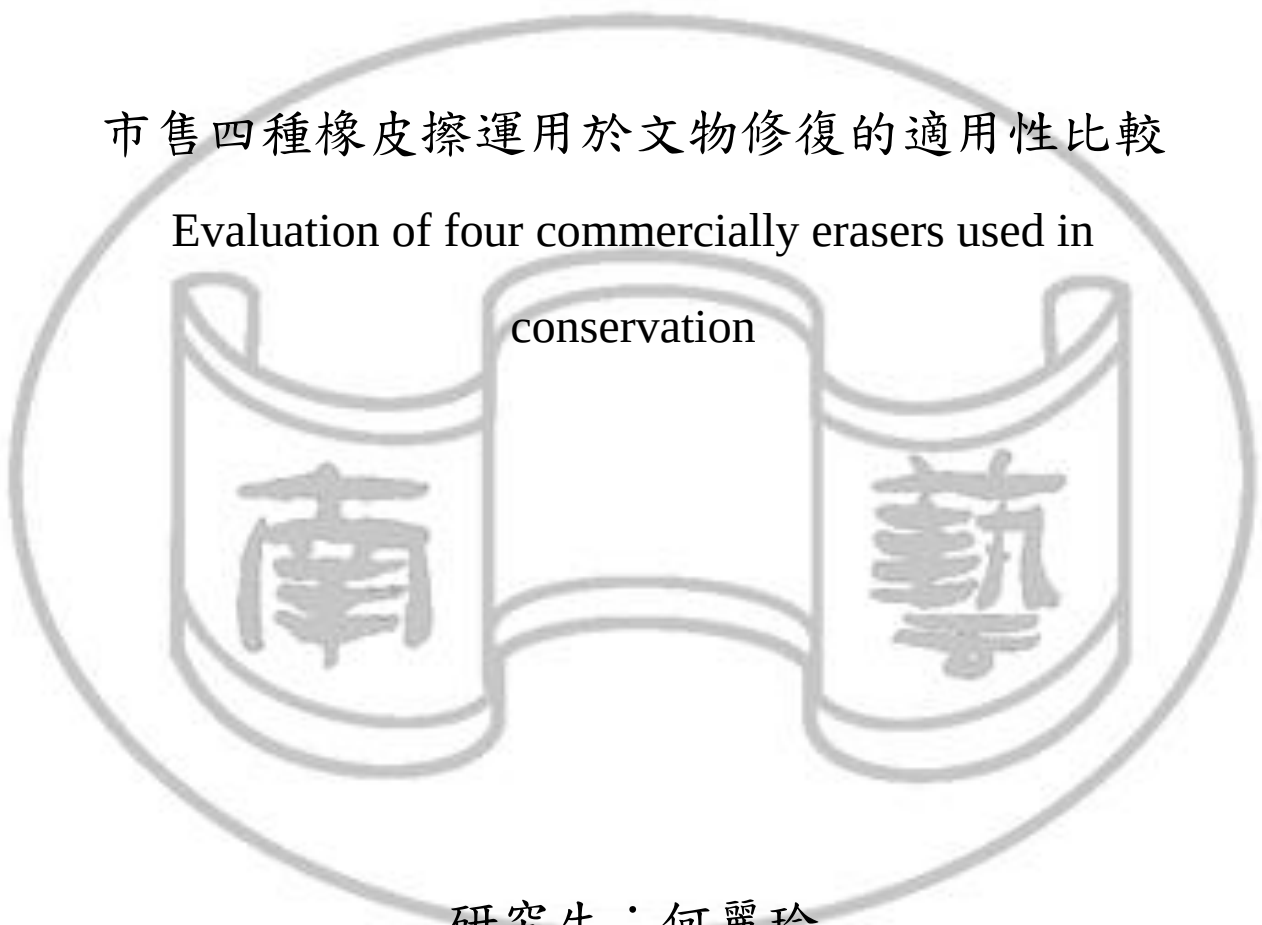
國立臺南藝術大學

博物館學與古物維護研究所

碩士論文

市售四種橡皮擦運用於文物修復的適用性比較

Evaluation of four commercially erasers used in
conservation



研究生：何麗玲

指導教授：蔡斐文

中華民國 108 年 3 月

國立臺南藝術大學碩士學位考試

考試委員審定書

博物館學與古物維護 研究所

研究生 何麗玲 所提之論文

市售四種橡皮擦運用於文物修復的適用性比較，

經本委員會審查，符合碩士學位標準。

學位考試委員會 召集人

※指導教授不得任委員會召集人

委員

委員

委員

委員

指導教授

中華民國 108 年 3 月 1 日

摘要

本文探討臺灣市售常見的四種橡皮擦，飛龍 Pentel、蜻蜓 MONO、富樂夢 FLOMO、施德樓 STAEDTLER(Mars Plastic)，每個牌子傳統和非傳統的型號各兩種，合計 8 類橡皮擦對紙張影響的研究。

此 8 類橡皮擦先使用傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR)、X 射線螢光分析 (XRF) 及硬度計檢驗橡皮擦成分及硬度，之後用這些橡皮擦產品擦拭過的紙張進行檢測，紙張樣本中分為三類，分別檢驗不同的項目。

1、Whatman®定性濾紙 Grade NO.1 不進行任何加工，利用摩擦試驗機使用不同橡皮擦擦拭後，再使用形狀分析雷射顯微鏡進行老化前後的表面粗糙度測量、使用色差儀測色差度、使用掃描式電子顯微鏡(SEM)檢測殘留度、使用 pH 測試機檢測 pH 的變化等。

2、Whatman®定性濾紙 Grade NO.1 塗上碳粉後橡皮擦用摩擦試驗機進行擦拭，再使用色差儀檢測色差度來測試不同橡皮擦對紙張清潔度。

3、黑色西卡紙樣本使用摩擦試驗機進行擦拭，檢測黑色西卡紙光澤度、粗糙度的差異，藉此比較不同橡皮擦的差異性。

比較橡皮擦和紙張樣本之間光澤度、色差、清潔度、粗糙度、殘留度，以討論清潔文物時，何種橡皮擦較為合適。

關鍵字：橡皮擦、紙張清潔、光澤度、色差、清潔度、粗糙度、殘留度

Abstract

This paper explores the four common brands of eraser, Pentel, MONO, FLOMO, and STAEDTLER (Mars Plastic), are sold in Taiwan. The effect of the four brands of eraser for the traditional and non-traditional total of eight types on paper is studied.

These eight types of eraser were first tested for components and hardness by using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Fluorescence Analysis (XRF), and a hardness tester.

Then, the papers wiped by these erasers and divided into three categories are tested for different items.

1. Whatman® Qualitative Filter Paper Grade NO.1 is not processed. It is wiped with the different erasers by using the friction tester and then subjected to measure surface roughness before and after aging by using the shape analysis laser microscopy. Using colorimeter, it's to test the color difference. Using the scanning electron microscope (SEM), it's to detect the residual degree. Using the pH tester, it's to detect the change of pH.
2. Whatman® Qualitative Filter Paper Grade NO.1 is wiped with the erasers by using the friction tester after applying toner. Then, using the colorimeter, it's to test the color difference and the cleanliness of paper with the different erasers.
3. The black sika paper wiped with the erasers by using the friction tester is to test the difference in the gloss and roughness with comparing the differences in different erasers.

Therefore, when cleaning the cultural relics, we could evaluate four types of commercial erasers used in conservation, which type of erasers is more suitable, through comparing with the gloss, chromatic aberration, cleanliness, roughness, residue between the eraser and the paper.

Keywords : Eraser 、 Paper cleaning 、 Gloss 、 Chromatic aberration 、 Cleanliness 、 Roughness 、 Residue

誌謝辭

感謝蔡老師這四年的辛苦指導，撥冗指導我的論文。感謝財團法人工業技術研究院，在他們的協助下可以使用橡皮擦摩擦試驗機，感謝成大建築所的江先生，有他的協助我才知道如何找到摩擦試驗機以及協助我進行硬度測試，並且非常感謝他提供我 CNS 橡皮類的各項標準。

感謝飛龍營業部陳經理提供我樣本以及解答我關於橡皮擦的困惑，感謝富樂夢的主任跟董事長，回答我田野調查關於橡皮擦的一些問題，感謝蜻蜓跟施德樓解答我關於橡皮擦的一些知識。

感謝國立臺灣歷史博物館提供 X 光螢光元素分析儀的使用，特別感謝該館的鄭勤思學姊使用儀器及幫我解析。感謝文化部文化資產局文化資產保存研究中心提供形狀分析雷射顯微鏡 KEYENCE VK-X250 的使用，特別感謝中心的張博士、王先生，沒有他們粗糙度測量無法完成。

非常感謝國立嘉義大學的夏滄琪老師及他的指導生陳盈君同學，多虧他們的幫忙 QUV 老化實驗才能順利完成。感謝行政院農業委員會林業試驗所的徐老師以及蔡亞軒學長一些測試項目的協助。感謝簡弘鈞學長協助 XRF 元素分析，感謝呂螢學姊、余念祖學姊、陳俞君學妹、林才寶學弟、陳濱濤學妹、助教、同學們。

特別感謝家人以及陪我吐槽的好夥伴們。

目次

摘要	-----	I
Abstract	-----	II
誌謝辭	-----	III
目次	-----	IV
圖目錄	-----	VII
表目錄	-----	IX
第一章緒論	-----	1
第一節 研究動機與目的	-----	1
第二節 研究範圍	-----	2
第三節 研究方法與架構	-----	4
第四節 重要名詞釋義	-----	8
第二章 文獻回顧	-----	11
第一節 橡皮擦的歷史、成分與製作方法	-----	11
第二節 橡皮擦在修復中的使用方式及劣化機制	-----	14
第三節 橡皮擦運用在修復中的相關文獻	-----	15
第三章 實驗方法與步驟	-----	18
第一節 實驗規劃	-----	18
第二節 樣本製作	-----	18
第三節 實驗分析與設備	-----	22
第四節 模擬劣化實驗	-----	24
一、乾熱老化試驗	-----	24
二、濕熱老化耐候試驗	-----	24

三、QUV 紫外線耐候試驗	25
第五節 分析方法	25
一、光學性質分析-色差、光澤度	25
二、物理性質分析-表面粗糙度、橡皮擦硬度測試	28
三、化學分析-傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR)、pH 值	29
四、元素分析-X 射線螢光分析 (XRF)	30
五、結構分析-掃描式電子顯微鏡(SEM)	30
第四章 實驗結果與討論	31
第一節 橡皮擦分析	31
一、元素分析-X射線螢光分析 (XRF)	31
二、化學分析-傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR)	32
三、物理性質分析-橡皮擦硬度測試	35
四、光學性質分析-色差	35
第二節 紙樣分析	38
一、光學性質分析-色差	38
二、光學性質分析-光澤度	43
三、物理性質分析-表面粗糙度	43
四、化學性質分析-pH值	50
五、結構分析-掃描式電子顯微鏡(SEM)	51
第五章 結論與建議	53
第一節 結論	53
第二節 後續研究	56

參考資料	-----	57
附錄I 樣本色差數據	-----	60
附錄II XRF 光譜	-----	69
附錄III SEM 微量元素分析	-----	85



圖目錄

圖 1	橡皮擦分析試驗	-----	6
圖 2	紙樣分析試驗	-----	7
圖 3	西卡紙樣本製作	-----	20
圖 4	定性濾紙樣本製作	-----	20
圖 5	使用空氣球清潔 10 次	-----	20
圖 6	橡皮擦 QUV 老化樣本	-----	20
圖 7	乾熱試驗機	-----	24
圖 8	可程式恆溫恆濕試驗機	-----	24
圖 9	QUV 老化試驗	-----	25
圖 10	CIE Lab 均勻色空間	-----	26
圖 11	X-RITE EXACT ADVANCED	-----	27
圖 12	KONICA MINOLTA 分光色差儀	-----	27
圖 13	BYK 光澤度計	-----	28
圖 14	形狀分析雷射顯微鏡	-----	28
圖 15	TECLOCK GS709N 硬度計	-----	29
圖 16	FTIR 儀器	-----	29
圖 17	X 射線螢光分析儀	-----	30
圖 18	SEM 檢測樣本	-----	30
圖 19	DEHP 的 FTIR 光譜	-----	34
圖 20	PVAc 的 FTIR 光譜	-----	35
圖 21	老化後的橡皮擦	-----	37
圖 22	橡皮擦 QUV 老化、乾熱老化、濕熱老化 7 天後的 ΔE^* 值	-----	38
圖 23	WE 系列樣本 QUV 加速老化後的色差 ΔE^* 值	-----	40

圖 24	WE 系列樣本 QUV 加速老化後的色差 Δb^* 值	-----	41
圖 25	WE 系列樣本濕熱加速老化後的色差 ΔE^* 值	-----	42
圖 26	WE 系列樣本濕熱加速老化後的色差 Δb^* 值	-----	43
圖 27	BE 系列樣本光澤度的差異度	-----	43
圖 28	WE 系列樣本 QUV 老化 10 天前、後 pH 值變化	-----	50
圖 29	WE 系列樣本濕熱老化 10 天前、後 pH 值變化	-----	51



表目錄

表 1	橡皮擦樣本及編號	-----	21
表 2	紙類樣本備製及編號	-----	21
表 3	實驗分析與設備	-----	22
表 4	NTST 色差單位與等級判斷表	-----	27
表 5	橡皮擦 XRF 成分表	-----	32
表 6	橡皮擦 FTIR 光譜	-----	33
表 7	橡皮擦硬度測試	-----	35
表 8	WCE 樣本 NTST 色差感知層級與硬度的關係	-----	39
表 9	BE 系列樣本未老化擦拭前、後的表面粗糙度變化	-----	44
表 10	WE 系列樣本 QUV 老化 10 天前、後的粗糙度變化	-----	46
表 11	WE 系列樣本濕熱老化 10 天前、後的粗糙度變化	-----	48
表 12	WE 系列樣本橡皮擦擦拭前、後的 SEM 照片	-----	52

第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

文物修復之前，常使用乾式清潔處理，用橡皮擦塊擦拭小塊髒污、黴斑污痕及膠漬；大部分將橡皮擦粉末放在紙質文物上面，使用羊毛刷或 Mylar 片覆蓋在橡皮擦粉末上輕輕的來回移動，藉由橡皮擦粉清除表面污垢，因此橡皮擦變成紙質文物修復乾式清潔重要的材料。

根據前人研究，施德樓 STAEDTLER(Mars Plastic) 52650®成分含量較單純¹²³，對文物最小干預的考量下，修護人員大多使用該產品。CCI 在 1981 年進行的分析測試表明，除了 PVC，Magic Rub®和 Mars Plastic 52652®都含有鄰苯二甲酸二乙酯塑化劑(Diethyl phthalate，以下簡稱 DEP)塑化劑、碳酸鈣(Calcium carbonate)和少量的二氧化鈦，Magic Rub®還含有微量的二氧化矽(Silicon dioxide)。在測試的六種類型的 PVC 橡皮擦中，Magic Rub®和 Mars Plastic®含有最少量的無機添加劑。Faber Castell 在 1982 年的 Pearlstein 等人的研究中證實了 Magic Rub®橡皮擦中約 35%鄰苯二甲酸二辛酯(Dioctyl Phthalate，以下簡稱 DOP)塑化劑的存在⁴。

臺灣在 2010 年修正關於橡皮擦的規定，並在 2014 年標準檢驗局依歐盟標準(2005/84/EC)檢測市售橡皮擦購樣之結果，故施德樓 STAEDTLER(Mars Plastic) 52650®成分應該有些許改變，CCI 進行的分析測試有提到施德樓 STAEDTLER(Mars Plastic) 52650®組成成分為 DEP、碳酸鈣和少量的二氧化鈦(Titanium)。但新規定中，8 類鄰苯二甲酸酯塑化劑及其混合物含量總和不得超過 0.1%(質量比)，鄰苯二甲酸酯類的塑化劑應當會減少，其他品牌鄰苯二甲酸酯類塑化劑減少的聚氯乙烯樹脂(Polyvinyl Chloride，以下簡稱 PVC)橡皮擦已很多見，此

¹ Pearlstein, E. J.; Cabelli, D.; King, A.; Indictor, N. JAIC, 1982, 22, 1–12

² Estabrook, E. JAIC, 1989, 28, 79–96

³ Sterlini, P. Paper Conservator News, 1995, 76, 3–7

⁴ Brenda M. Bernier, 1997, *Topics in Photographic Preservation*, Volume 7.10-18

外市面上還有非 PVC (合成橡膠 TPE、TPR)的橡皮擦，故可能有新的適合文物修復的橡皮擦正等待確認。

於本研究，筆者就臺灣常見四種市售橡皮擦中飛龍（Pentel）、蜻蜓（MONO）、富樂夢（FLOMO）及施德樓 STAEDTLER(Mars Plastic)，各廠牌之傳統與非傳統型號皆納入，合計 8 類橡皮擦進行對紙張色差度、清潔度、光澤度、表面粗糙度、殘留度、pH 值等影響的研究。

第二節 研究範圍

本篇的研究範圍大致分為 3 大項，實驗樣本限制、基底材限制、人工老化技術限制。

一、實驗樣本限制

臺灣於 2010 年修訂了橡皮擦的規定 CNS6856 標準，在此標準裡，8 類鄰苯二甲酸酯塑化劑⁵及其混合物含量總和不得超過 0.1 % 質量比；有害物質之重金屬含量應為銻、鉻、汞 60 mg/kg 以下，砷 25 mg/kg 以下，鋇 1,000mg/kg 以下，鎘 75 mg/kg 以下，鉛 90 mg/kg 以下及硒 500 mg/kg 以下⁶。

從這些符合臺灣 CNS6856 標準中的產品裡，再根據消委會 480 期《選擇》月刊、標準檢驗局 103 年依歐盟標準（2005/84/EC）檢測市售橡皮擦購樣之結果，以及在美國 Blick Art 商品和通用性等考量下選出了臺灣市售較常見的四種品牌，每個品牌傳統和非傳統的型號各兩個總計 8 類，大致分為 PVC 橡皮擦跟非 PVC 橡皮擦。

本實驗選擇硬式橡皮擦做互相比較，因為考量到磨成細粉後的無法統一規格大小，故不使用橡皮擦粉末，其他橡皮擦例如軟橡皮擦、粉紅橡皮擦等都不列在此研究範圍內。為了修

⁵ 此 8 類鄰苯二甲酸酯類塑化劑是鄰苯二甲酸雙-2-乙基己酯(DEHP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二異壬酯(DINP)、鄰苯二甲酸二異癸酯(DIDP)、鄰苯二甲酸二正辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)。

⁶ 筆擦 標準 97757_CNS6856-zh_TW

復使用，有顏色的橡皮擦不在研究範圍中，橡皮擦的成分及比例非本研究之重點故會概略分析提到。

二、基底材限制

本研究根據測試項目選擇不一樣的紙張，為了測試紙張老化前後色差度及粗糙度變化，避免紙張中的雜質影響實驗結果，因此選擇濾紙做實驗的紙材，本次實驗中，選擇的試驗用紙是 Whatman®定性濾紙 Grade NO.1，在前人的實驗中也是用 Whatman®定性濾紙 Grade NO.1 做實驗，定性濾紙是紙類中最純粹的紙材之一，不含螢光劑及木質素，避免實驗中產生多餘的變因。

Whatman®定性濾紙 Grade NO.1 塗上碳粉，利用摩擦試驗機使用橡皮擦擦拭後，再用色差儀檢測色差度來測試不同橡皮擦對紙張清潔度。為了測試光澤度及粗糙度變化，考量到紙張孔隙及光澤度，以黑色西卡紙當測試紙，此基底材因材料有雜質，故不進行人工老化試驗。

三、人工老化技術限制

關於橡皮擦的老化試驗，目前尚無標準程序，類似的材質老化試驗，臺灣只有「中華民國國家標準 CNS3556 硫化或熱塑性橡膠－加速老化與耐熱性試驗」為參考標準，本研究分別採用乾熱、濕熱及 QUV 人工加速老化試驗，雖然這三種老化方式無法完全模擬在自然環境下的劣化狀況，但可以控制試驗樣本在相同時間內的老化環境中，橡皮擦可能的劣化狀況。

橡皮擦擦拭後的紙張樣本老化試驗，目前還沒有標準程序，本研究分別採用 QUV 及濕熱人工加速老化試驗，希望藉由這兩種老化方式來探討橡皮擦對於基底材可能的劣化狀況。

第三節 研究方法與架構

本篇的研究研究方法與架構大致分為四大項，分別為文獻整理、實驗方法、試驗結果分析、結果分析與建議。

一、文獻整理

臺灣關於橡皮擦的文獻相關著作較少，因此以歐美國家文獻為主軸，回顧相關的背景知識，包含合成橡皮擦的製作成分、製作方法、劣化機制以及橡皮擦運用在修復中的相關研究，希望透過整合相關資訊達到研究的目的。

二、實驗方法

本次研究主要評估這四種橡皮擦對於紙張表面的影響，對於光澤度、色差、清潔度、粗糙度、殘留度之間做比較，以討論清潔文物時，何種橡皮擦較為合適。

試驗分為橡皮擦和紙樣兩部分，橡皮擦分析試驗為蒐集現有的樣本，並決定實驗中所使用的產品型號，利用非破壞性檢測儀器分析橡皮擦之成分，使用 X-射線螢光分析(以下簡稱 XRF)進行元素鑑定、傅立葉紅外線光譜 (以下簡稱 FTIR)辨別有機材料的特性，分別進行乾熱、濕熱、紫外光(以下簡稱 QUV)老化，最後再對老化後的樣本進行分析，實驗步驟與流程請參考下圖 1。

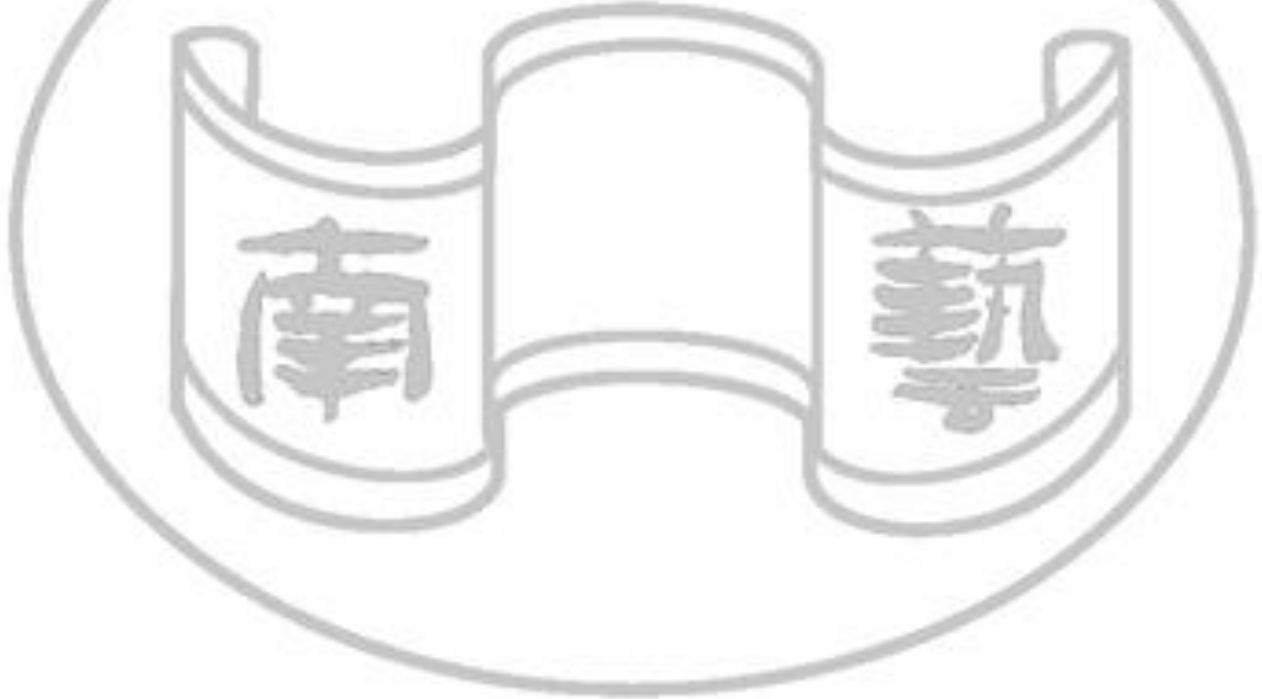
紙樣分析試驗，樣本分為三類分別檢驗不同的項目，在所選用的西卡紙、濾紙加碳粉、濾紙進行橡皮擦擦拭。濾紙組分為試驗組和對照組，利用 QUV 紫外線耐候試驗機和耐濕熱老化試驗機，在短時間內提供光照及環境的模擬橡皮擦在紙張上的劣化特性情形並加以分析。實驗步驟與流程請參考下圖 2。

三、試驗結果分析

本次試驗樣本檢測包含了光學、物理、化學及結構等性質之分析，歸納出試驗結果來進行後續討論。橡皮擦分析試驗分析老化後橡皮擦的顏色變化及 XRF 變化。本次研究使用空白 Whatman®定性濾紙 Grade NO.1、濾紙塗上碳粉、黑色西卡紙等三種紙樣，檢測紙張上橡皮擦的殘留、清潔度、光澤度及老化前後的表面粗糙度測量、色差度、pH 值的變化。

四、結果分析與建議

根據試驗結果的數據及分析，評估樣本產生的劣化反應及橡皮擦擦拭過紙張可能產生的變化，比較出最適合的橡皮擦提供給後人參考。



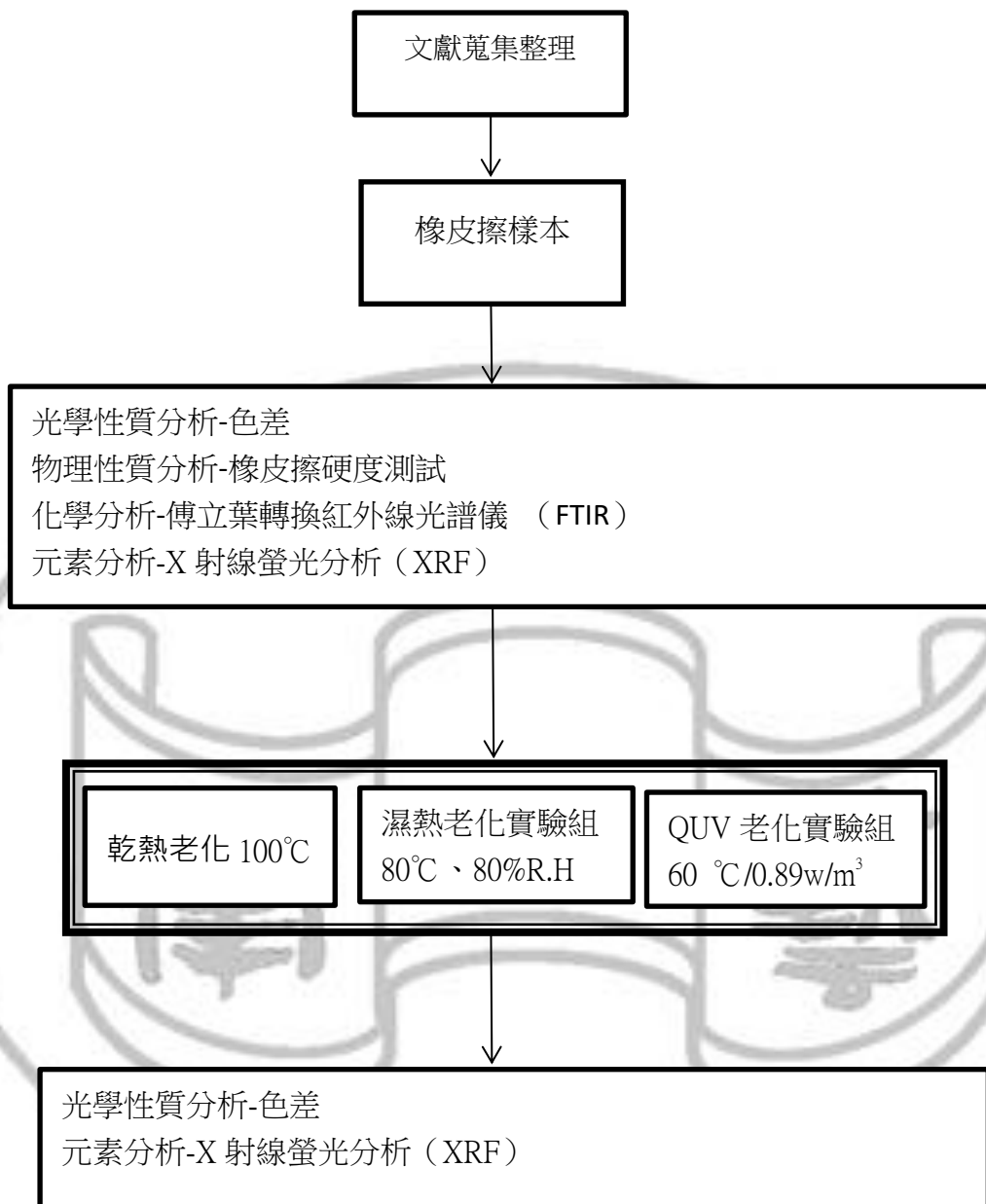


圖 1.橡皮擦分析試驗

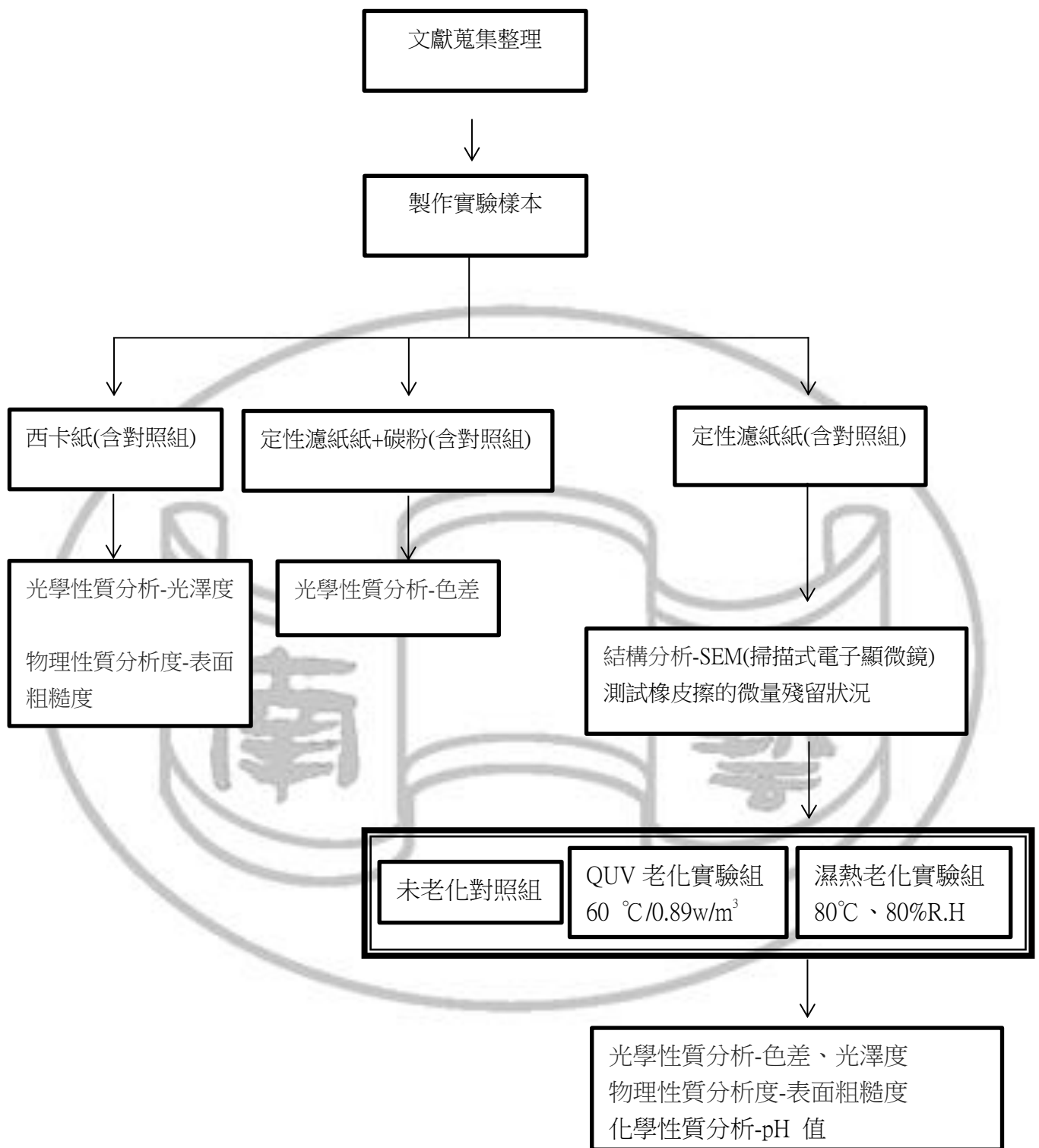


圖 2 .紙樣分析試驗

第四節 重要名詞釋義

一、聚氯乙烯樹脂 (Polyvinyl Chloride，以下簡稱 PVC) 是氯乙烯經加成聚合反應得到的的高分子材料，是聚乙烯和聚丙烯之後，第三種最廣泛生產的合成塑膠聚合物，純 PVC 是一種白色脆性固體，它不溶於醇但微溶於四氫呋喃⁷。

二、聚苯乙烯 (英語：Polystyrene，以下簡稱 PS) 是無色透明的熱塑性塑料，其中發泡 PS 俗稱保麗龍。聚苯乙烯有高品質的亮度及透明度，可使用於塑膠加工業之各種射出成型，336T 是普遍使用的控制添加劑，可提高 TPR 的硬度及抗磨損性能，聚苯乙烯樹脂適用於塑膠加工之各種射出成型，例如：食品容器、冰箱內襯、文具、玩具、時鐘及光碟外殼、以及塑膠橡膠的改質等。

三、苯乙烯-丙烯腈共聚物 (Styrene-acrylonitrile copolymer，以下簡稱 SAN)，是無色透明的熱塑性樹脂，具有耐高溫性、出色的光澤度和耐化學介質性，還有優良的硬度、剛性、尺寸穩定性和較高的承載能力。

四、塑化劑 (英語：Plasticizer)，或稱增塑劑、可塑劑，是一種增加材料的柔軟性或使材料液化的添加劑。其添加對象包含了塑膠、混凝土、乾壁材料、水泥、膠粘劑與石膏等等。使用最普遍的是鄰苯二甲酸酯類的化合物，臺灣橡皮擦標準中的塑化劑有 8 類，分別是鄰苯二甲酸雙-2-乙基己酯 (DEHP)、鄰苯二甲酸二丁酯 (DBP)、鄰苯二甲酸丁苯甲酯 (BBP)、鄰苯二甲酸二異壬酯 (DINP)、鄰苯二甲酸二異癸酯 (DIDP)、鄰苯二甲酸二正辛酯 (DNOP)、鄰苯二甲酸二甲酯 (DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯 (DEP)。

五、聚醋酸乙烯酯 (Polyvinyl acetate，也稱作聚乙酸乙烯酯，以下簡稱 PVAc) 是一種有彈性的合成聚合物。聚醋酸乙烯酯是通過醋酸乙烯酯 (VAM) 的聚合而製備的，一般被稱作白

⁷ 資料來源:< <http://www.fpc.com.tw/fpcw/index.php?op=proL&f=1&s=6>，臺灣塑膠工業股份有限公司>參閱日期：2018/10/12

膠⁸。

六、二噁英，即 1,4-戴奧辛（1,4-dioxin），即 1,4-二氧雜環己二烯，為一種單環有機化合物，是一種在工業上無實際用途的副產物。戴奧辛與其衍生化合物的毒性各有不同，另外此類化合物因具脂溶性（liposolubility）之故，會積聚在動物脂肪組織及植物的某些部位。

1,4-戴奧辛的化學結構與屬於多氯二苯並戴奧辛（polychlorinated dibenzodioxins，-PCDDs）類化合物的多氯二苯並呋喃（polychlorinated dibenzofuran，PCDF）相似，常寫成「PCDD／Fs」或俗稱為「戴奧辛」（dioxins），包含與多氯聯苯（polychlorinated biphenyl，PCBs）化學組成、毒性相近的碳、氯、苯有機物，屬多鹵代化合物（Polyhalogenated compounds，PHCs）⁹。

七、合成橡膠，大致分為熱塑性彈性體 TPE、熱塑性橡膠彈性體 TPR 系列。熱塑性彈性體（Thermoplastic Elastomer，TPEr），這是一種彈性體材料，質地較塑膠類粒子柔軟且具有彈性；TPE 是一個大範圍概念，依其不同化學成分及組合方式，TPE 又細分出聚烯烴類（TPO、TPV）、雙烯類（TPB、TPI）、氯乙烯類（TPVC、TCPE）、聚氨酯類（TPU）、聚醚酯類（TPEE）、醯胺類（TPAE）、有機氟類（TPF）、有機矽類和乙烯類等，幾乎涵蓋了現在合成橡膠與合成樹脂的所有領域。特性方面，熱塑性彈性體(TPE)具有橡膠性能，又有塑料加工的特性，是一種高回彈性、環保、無毒又安全的材料。加工過程無須硫化，有優異的著色性，耐候性等特色，熱塑性彈性體(TPE)/熱塑性橡膠(TPS/TPR)在高溫下會軟化或熔融，耐熱溫度不如橡膠。

熱塑性橡膠彈性體(Thermoplastic Rubber，簡稱 TPR)，是一種兼具橡膠與塑膠特性之材料，是苯乙烯類彈性體的共混物(SBS/SEBS/SIS/SEPS)，在國外大部分英文統稱為 TPS (or TPEs，Thermoplastic Elastomers)。

⁸ 資料來源:<<http://psdn.pidc.org.tw/ike/doclib/2003/2003doclib/2003ike13-0/2003ike13-0-307.asp>，塑膠 e 學苑 >參閱日期：2019/02/20

⁹ 資料來源:<<https://zh.wikipedia.org/wiki/二噁英>>參閱日期：2019/02/20

合成橡膠之特殊分子結構具熱可塑特性，在高溫下能熔融，免加硫、加工簡單、調整性高，可使用助劑來進行 TPS/TPR 材料的改性，加上配混技術運用，多使用在高級鞋底/鞋墊、黏著劑、建築道路柏油改性及生產加工塑膠改性等，可替代危害性高污染的加硫橡膠及 PVC 材料¹⁰。



¹⁰ 資料來源:<<https://www.lhc-tpe.com/zh-TW/applications.aspx>>，禾祥禎有限公司>參閱日期：2019/02/20

第二章 文獻回顧

第一節 橡皮擦的歷史、成分與製作方法

一、橡皮擦的歷史

人們使用鉛筆時，鉛筆顆粒被留在紙上留下痕跡，若要除掉筆跡，則要使用橡皮擦擦拭，最初是使用麵包，1770 年英國化學家 Joseph Priestley 發現橡膠可以擦掉筆跡¹¹，直到 1839 年發明家 Charles Goodyear 發現了硫化橡膠來生產橡皮擦¹²。後來科學家在石油中精煉出 PVC 為橡皮擦的材料，並添加塑化劑使橡皮擦變軟有足夠的彈性能進入紙纖維中，再加入碳酸鈣調整硬度¹³。

修復人員最常使用 PVC 橡皮擦為紙質文物表面除塵或乾式清潔，但 PVC 橡皮擦一直有環保方面的問題，PVC 橡皮擦材料不利於回收，且在較高溫（例如 200°C）下 PVC 很容易分解並產生酸性氯化氫氣體。此外，如果使用經濟有效的焚燒方式回收，會產生含有氯的有毒化合物，形成二噁英(Dioxin 縮寫為 PCDD/Fs)¹⁴污染。

PVC 橡皮擦中的塑化劑問題在 20 世紀 80 年代時，美國國家環境健康科學研究所用大量動物毒性試驗證明，DOP¹⁵產品可引起動物肝臟組織病變和癌症。目前雖然世界衛生組織（World Health Organization; WHO）宣布國際癌症研究所屬於非人類致癌物，但由於濫用 PVC 與二噁英污染有密切相關，因此國際環保主義者對 DOP 安全性問題持續關注。

為了減低公眾對特定塑化劑的暴露水平，歐洲化學品管理局（ECHA）自 2007 年起，著手限制 DEHP、DBP、BBP、DINP、DIDP 和 DNOP 等塑化劑的應用，及至 2015 年起歐盟透

¹¹ 橡皮生產方法及橡皮組合物 專利書 CN101564960B，須田凱

¹² Charlotte Foltz Jones. 《小錯誤大發明.40 個發明的小故事》，健行文化出版. 2001。ISBN 9575608518。

¹³ 富樂夢 專利書 CN1611374A

¹⁴ 二噁英，指戴奧辛類化合物，包括 75 種多氯二苯並戴奧辛（Polychlorinated dibenzo-p-dioxins，簡稱 PCDDs）、135 種多氯二聯苯呋喃（Polychlorinated dibenzofurans，簡稱 PCDFs）及 12 種共平面多氯聯苯（Partially Coplanar Polychlorinated Biphenyls）。

¹⁵ 第一章節 1 有提到過。

過 REACH 法例，規定產品生產商必須取得授權才可以使用 DEHP 和 DBP 等塑化劑。¹⁶

在此前提下，非 PVC 橡皮擦(環保橡皮擦)的生產需求增加，而非 PVC 橡皮擦的成份以合成橡膠為主不含有塑化劑¹⁷。

合成橡膠添加交聯劑軟化後容易混合添加物，然而在現有技術中，合成橡膠較軟模具收縮率較低，導致本身不易剝離和注塑。此外，一些添加的交聯劑含有硫，但也因為硫化橡膠變為難以回收的橡皮擦，非 PVC 橡皮擦一直改良中¹⁸。

二、橡皮擦組成成分與製作方法

PVC 橡皮擦大多由天然橡膠或軟質 PVC 材料製成。天然橡膠混合碳酸鈣和硫磺，熱壓後產生橡皮擦，但是以天然橡膠為基礎材料的橡皮擦質地硬且擦拭性差，橡皮擦清潔污垢後容易附著在上¹⁹，且天然橡膠難以回收成本較高。業界大多使用軟質 PVC 材料製造橡皮擦，將 PVC 粉末、鄰苯二甲酸酯類塑化劑、碳酸鈣、有機物、無機物和安定劑混合，在適當的條件下熱壓生產橡皮擦²⁰。

關於 PVC 橡皮擦的製造方法，以中華人民共和國專利公開 CN106117903A 中提到的例子為例，原料有 PVC 700g、羥基乙酸 80g、羧基乙酸 50g、硫酸鈉 20g、三聚磷酸鈉 8g、聚醚 10g、四氯乙烯 7g、碳酸氫鈉 10g 以及顏料 40g;其具體的製備方法為將上述原料按照預定的比例混合均勻，然後放入模具中，烘烤成型²¹。

非 PVC 橡皮擦成分組成複雜且繁多，以本研究橡皮擦之一的富樂夢公開專利書 CN161137

¹⁶ 資料來源:消委會 480 期《選擇》月刊

¹⁷ 姜文忠，2016，〈學生橡皮擦鄰苯二甲酸酯類風險研究〉，泰州市衛生監督所,江蘇，《中國衛生監督雜誌》，05 期 (2016 / 12 / 05)，P489 – 495

¹⁸ 富樂夢 專利書 CN1611374A

¹⁹ 橡皮生產方法及橡皮組合物 專利書 CN101564960B，須田凱

²⁰ 富樂夢 專利書 CN1611374A

²¹ 鉛筆字跡專用橡皮擦 專利書 CN106117903A

4A 中為例，橡皮擦組成物包括合成橡膠²²、聚烯烴系高分子、無機填充物以及有機添加物。

合成橡膠的填充比例介於 15 至 88 重量百分比之間，合成橡膠可分成熱塑性彈性體 TPE 類和熱塑性橡膠彈性體 TPR 類。

熱塑性彈性體 (Thermoplastic Elastomer，簡稱 TPE)，世界上工業化生產的 TPE 有聚烯烴類 (TPO、TPV)、雙烯類 (TPB、TPI)、氯乙烯類 (TPVC、TCPE)、聚氨酯類 (TPU)、聚醚酯類 (TPEE)、醯胺類 (TPAE)、有機氟類 (TPF)、有機矽類和乙烯類等，幾乎涵蓋了現在合成橡膠與合成樹脂的所有領域²³²⁴²⁵。

熱塑性橡膠彈性體(Thermoplastic Rubber，簡稱 TPR)，是苯乙烯類彈性體的共混物 (SBS/SEBS/SIS/SEPS)，在國外大部分英文統稱為 TPS (Thermoplastic Elastomers，TPS or TPEs)。

非 PVC 橡皮擦使用的合成橡膠，以現有的專利書來看，有 TPR 系的苯乙烯 - 異戊二烯 - 苯乙烯 (Styrene-Isoprene-Styrene; SIS)²⁶、苯乙烯 - 乙烯/丁烯 - 苯乙烯(Styrene-Ethylene / Butylene-Styrene ; SEBS)²⁷、苯乙烯 - 丁烯 - 苯乙烯 (Styrene-Butadiene-Styrene; SBS)²⁸以

²² 合成橡膠各種資料有衝突性及融合性，故只參考部分資料

²³ 資料來源:< <https://baike.baidu.com/item/熱塑性彈性體>>，但該資料有部分錯誤，苯乙烯類 (SBS、SIS、SEBS、SEPS) 應被歸類為 TPR

²⁴ 資料來源:<<https://www.hhc-tpe.com/zh-TW/applications.aspx>，禾祥禎有限公司>參閱日期：2019/02/20

²⁵ 資料來源:< https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic_elastomer>參閱日期：2019/02/20，作修正資料使用

²⁶ 美國專利公開 No.4350787

²⁷ 美國專利公開 No.6441091 B1

²⁸ 美國專利公開 No.4578420

及富樂夢公開專利書提及包含 TPE、TPR 系列的合成橡膠²⁹³⁰。

聚烯烴系高分子填充比例介於 1-8 重量百分比之間，選自聚乙烯醇(Polyvinyl alcohol)、聚丙烯、乙烯/丙烯共聚物、石蠟(paraffin)以及其任意混合物。³¹

無機填充物的填充比例介於 0.1-74 重量百分比之間，選自碳酸鈣、碳化鎢(Tungsten Carbide)、氧化鋁(Aluminium oxide)、二氧化矽、粘土以及其任意混合物³²。

有機添加物的填充比例介於 10 至 50 重量百分比之間，選自白蠟油、氫化石油樹脂、乙烯/醋酸共聚物、抗氧化劑、QUV 吸引劑³³，白碳黑 $\text{SiO}_2 \cdot x(\text{H}_2\text{O})$ 、硬脂酸 $\text{Zn}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$ 、硬脂酸鈣 $\text{Ca}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$ 、硬脂酸鋇 $\text{Ba}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$ 等金屬皂類³⁴作為安定劑³⁵，以上非 PVC 橡皮擦的組合物可以經過擠出或噴射成型處理³⁶。

如上列所述，PVC 橡皮擦是聚氯乙烯製成，大多含有少量鄰苯二甲酸酯類的塑化劑、填充料、金屬皂類安定劑。如果橡皮擦是非 PVC 的橡皮擦，可能是合成橡膠、填充料、金屬皂類安定劑、調白劑。

第二節 橡皮擦在修復中的使用方式及劣化機制

橡皮擦在紙質文物乾式清潔的使用方式，常使用橡皮擦塊擦拭小塊髒污、黴斑污痕及膠

²⁹ 苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(styrene - butadiene - styrene; SBS)、苯乙烯-異戊二烯-苯乙烯(styrene - isoprene - styrene; SIS)、苯乙烯-乙炔/丁烯-苯乙烯(Styrene-Ethylene / Butylene-Styrene; SEBS)、苯乙烯-丁二烯(Styrene-Butadiene; SB)、苯乙烯-乙炔/丙烯(Styrene-Ethylene / Propylene; SEP)、苯乙烯-乙炔/丁烯(Styrene-Ethylene / Butylene; SEB)、聚烯烴系熱塑性彈性體(Thermoplastic Polyolefin; TPO)、聚二烯烴系熱塑性彈性體 polydiene-based thermoplastic elastomer (RB)、氯化聚乙烯系熱塑性彈性體(Chlorinated Polyethylene; CM)、聚氯乙烯系熱塑性彈性體(Thermoplastic Polyvinyl Chloride; TPVC)、聚酯系熱塑性彈性體(Thermoplastic Ester Elastomer; TPEE)、聚醯胺系熱塑性彈性體(Thermoplastic Polyamide; TPA)、PU 系熱塑性彈性體(Thermoplastic Polyurethane; TPU)以及其任意混合物所組成的一聚合物。

³⁰ 非 PVC 橡皮擦應該都含有 TPR 或 TPE 系列，消委會 480 期《選擇》月刊中列出廠商宣稱原料有 TPR 和 TPE。

³¹ 富樂夢 專利書 CN1611374A

³² 富樂夢 專利書 CN1611374A

³³ 富樂夢 專利書 CN1611374A

³⁴ <http://psdn.pidc.org.tw/ike/doclib/2003/2003doclib/2003ike15-0/2003ike15-0-301.asp>

³⁵ 自製橡皮擦的粘土及其製備方法 專利書 CN106751143A

³⁶ 富樂夢 專利書 CN1611374A

漬，或利用乳酪刨絲器將橡皮擦磨成粉末後放在紙張表面，用羊毛刷或 Mylar 片覆蓋在橡皮擦粉末上輕輕的來回移動，藉由橡皮擦粉清除表面污垢後，再用空氣球、羊毛刷或吸塵器將橡皮擦碎屑從文物上移除乾淨。

修護人員經常選擇 PVC 橡皮擦，如 Faber Castell 的 MagicRub®和施德樓 STAEDTLER (MarsPlastic) 52650®，用於修護的橡皮擦組成研究已經進行多年，包括由 McCrone Associates 調查十七種清潔材料和 1981 年由加拿大保護研究所（CCI）的研究。有些研究說明，橡皮擦的磨擦狀況或者橡皮屑碎屑被捲入紙纖維間隙的危險很小，基於這些研究報告，PVC 的老化性能優於該研究中其他非 PVC 橡皮擦中發現的橡膠或硫化植物油。

橡皮擦的擦拭會造成紙張表面的光澤及肌理變化，橡皮擦內所含的鄰苯二甲酸酯類的塑化劑會與 PS 和 SAN 產生移行現象(MIGRATION)，導致這類材質的劣化，因為這種移行性，PVC 橡皮擦可用於軟化去除膠帶殘留物。除此之外，橡皮擦的劣化狀況大多為黃化，橡皮擦的劣化是塑化劑的降解，故橡皮擦殘留在紙上有可能會導致紙張的劣化，劣化與溫濕度或光照有關。

第三節 橡皮擦運用在修復中的相關文獻

在臺灣，修復人員使用施德樓 STAEDTLER(Mars Plastic) 52650® 此 PVC 橡皮擦進行文物表面清潔，這方式是常見紙質和書本保存中採用的表面除塵或乾式清潔做法，但隨著每個新產品的可用性，對其適用性的問題一直出現。自 20 世紀 60 年代以來的，研究人員試圖解決橡皮擦和其他乾式清潔材料殘留物問題，並探討在乾式清潔過程中損壞文物表面的可能性以及適用文物等議題。

在 1966 年的美國圖書館協會的技術計劃，委託 McCrone 協助研究 17 種書籍清潔材料及紙張樣乾式清潔加速老化後檢測，所有清潔材料被認為是安全的，且推測一些殘留在紙上

的乾式清潔產品是有益的，但這項研究缺乏實驗步驟及方法無法重複試驗，因此難以判斷結果的正確性。Paul 在一份 1969 年的紙張清潔文章中，呼籲修復人員從紙上清除乾淨乾式清潔的殘留物，因為橡皮屑可能會產生長期的破壞作用。

CCI 在 1981 年分析測試顯示，除了 PVC，Magic Rub®和 Mars Plastic 52652®都含有鄰苯二甲酸二乙酯塑化劑(Diethyl phthalate，簡稱 DEP)、碳酸鈣和少量的二氧化鈦。Magic Rub®還含有微量的二氧化矽。在測試的六種類型的 PVC 橡皮擦中，Magic Rub®和 Mars Plastic®含有最少量的無機添加劑，且 CCI 提出，橡皮擦含有足夠的碳酸鈣可能中和 PVC 劣化產生的氯化氫 (Hydrogen chloride)。在 1982 年 Pearlstein 等人的研究中 Faber Castell 的證實了 Magic Rub®橡皮擦中約 35% 鄰苯二甲酸二辛酯塑化劑 (dioctyl phthalate，簡稱 DOP)。

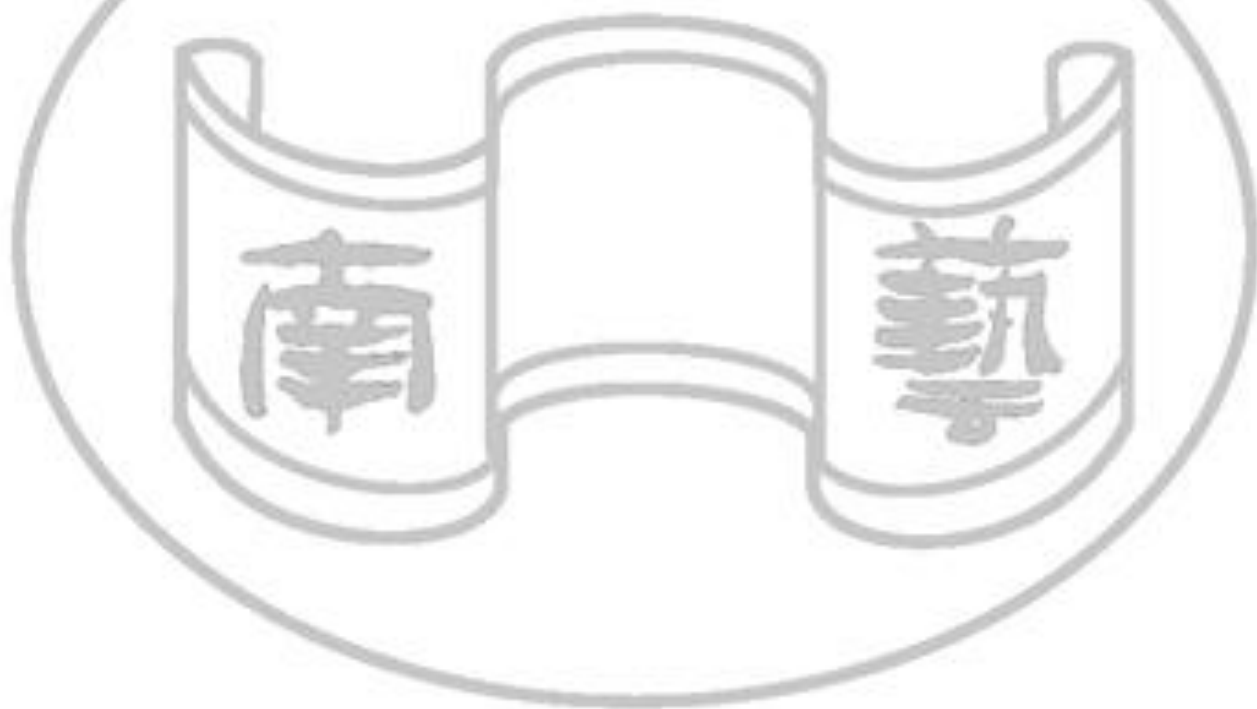
JAIC 在 1982 年分析四種乾式清潔產品 (Opaline Pad, Pink Pearl, Magic Rub, and Kneaded Rubber erasers) 處理的 Whatman®定性濾紙 Grade NO.1 老化後的耐折性、拉伸強度、pH 值、顏色、質地和潤濕性的變化，並與未處理對照的結果進行比較。結論是這些產品改變了紙張的表面特性，但不能改變紙張的機械性能。Pink Pearl 和 Kneaded Rubber erasers 改變了紙張表面最多，而 Magic Rub 影響最少，且 Magic Rub 橡皮擦與其他三種產品有顯著不同的有機成分，其他組成相似。

Kerry McInnis 研究了經過乾式清潔紙張的表面磨損情形。McInnis 對於老化和未老化紙張是否受到各種乾式清潔產品的磨蝕作用感興趣。除了確定確實具有這種保護功能的結論之外，將橡皮擦對紙表面的相對磨損以及在纖維之間沉積的殘留碎屑量也有相關研究。

此外，1997 年 Brenda M. Bernier 的 A Study of Poly(Vinyl Chloride) Erasers used in the Surface Cleaning of Photographs 中，透過 FTIR(傅立葉紅外線光譜)辨別和增塑劑百分重量的小研究，顯示 Mars Plastic®52650 已被確定含有大約 55% 的鄰苯二甲酸二異癸酯。該論文提到應謹慎考慮該橡皮擦增塑劑的重量百分比，但是因為這是一個試點研究，每種橡皮擦只有一個樣品進行了測試，所以該結論有些疑慮。此研究中沒有使用 SEM，因為 SEM 這是一種破壞性的技術，所以無法提供處理前後分析的完全相同的位置。SEM 對於磨損和橡皮殘留物的

檢測值得進一步研究。

Sara A. Moy ,Objects Specialty Group Postprints, Volume Eleven, 2004,29-42), 測試 Groomstick 樣品使用德國標準 (DIN 53508) 乾熱老化 70°C 24、48、72 小時、7 天、15 天和 28 天，以及根據英國標準協會 (BS 1006 : 1990) QUV 老化 24、48、72 小時 7、15 和 28 天，還有將樣本在自然光下在窗台上老化，並在室溫下在 23°C 的櫥櫃中老化 28 天等實驗，探討這個新產品的存放方式、紫外光和溫度對該產品的影響。實驗結果顯示該產品若放在高溫的環境後重複使用，產品裡吸附的污垢很有可能轉移到清潔過的表面上。此外，因該產品在光線下可能在快速降解，建議存放在不透光的環境中。



第三章 實驗方法與步驟

第一節 實驗規劃

本研究透過可程式恆溫恆濕機與 QUV 紫外線耐候試驗機，將橡皮擦樣本及擦拭過的濾紙樣本在適當的溫、濕度與光線條件下，短時間模擬可能的劣化狀況。加速老化後的濾紙樣本，再經由物理、化學與光學的分析，了解樣本老化前後的差異，並歸納實驗的結果。

本研究分成兩部分，第一部分，研究了四種橡皮擦產品，飛龍 Pentel、蜻蜓 MONO、富樂夢 FLOMO、施德樓 STAEDTLER(MarsPlastic)，以上這些橡皮擦的組成和老化狀況，來比較成分、硬度之間的關係。

第二部分研究了四種橡皮擦產品對西卡紙與定性濾紙的影響，樣本中分為三類，分別檢驗不同的項目。

- 1、西卡紙樣品檢測光澤度、粗糙度的差異，藉此比較不同橡皮擦的差異性。
- 2、Whatman®定性濾紙 Grade NO.1 加碳粉後再利用摩擦試驗機進行擦拭，檢測色差度，來判斷不同橡皮擦對紙張清潔度的差異。
- 3、Whatman®定性濾紙 Grade NO.1 不進行任何加工，利用摩擦試驗機使用不同橡皮擦擦拭後，進行 SEM 來檢測殘留度，之後再進行老化前及老化後的表面粗糙度、色差度、pH 值的變化。

本研究旨在四種橡皮擦運用於文物修復的適用性比較。

第二節 樣本製作

實驗樣本製備

一、橡皮擦種類及選擇方式

蒐集現有的樣本，並決定實驗中所使用的產品型號，根據田野調查，有一定可能性，同品牌橡皮擦的成分有可能會一樣，故在實驗之前，將選用的橡皮擦做 FTIR(傅立葉紅外線光

譜)及 XRF 辨別料的特性，檢驗後確認挑選的橡皮擦的成分略有不同，待用的組合成分都不太一樣，沒有一樣的組合，故不再更換樣品。

二、紙張樣本製作

1、Whatman®定性濾紙 Grade NO.1，樣本均為直徑 15cm 半圓形，從同一盒的紙張進行切割，直接用來測試各個橡皮擦的摩擦度，不添加任何東西，直接使用耐磨耗試驗機擦拭。

2、Whatman®定性濾紙 Grade NO.1，樣本均為直徑 15cm 半圓形，從同一盒的紙張進行切割，在紙上面先用海綿沾取碳粉 CHARCOAL 平均擦試後，之後再使用橡皮擦用耐磨耗試驗機擦拭。

3、黑色西卡紙，考量到孔隙及紙張光澤度，以含有光澤易磨損的紙張測試較明顯，樣本均為直徑 15x10 公分方形，厚度 1mm(約 650P)，所有橡皮擦處理都在紙張表面上進行，使用耐磨耗試驗機擦拭。

三、擦拭紙張方式

將橡皮擦切成方塊，因密度不一故接觸面積一致為 2x1 公分，重量為 0.4g，放入耐磨耗試驗機的接口後，將每張西卡紙放置在機器平台，為了不讓橡皮擦晃動，以砝碼 300g 放置在機械桿上，重量合計是 397.8g。

擦拭的次數跟速度，在正式實驗前做了 2 次、4 次、8、10、16 次的來回擦拭，以及使用手部擦拭最接近的速度，因為 10 次以下效果不明顯，最後決定來回擦拭 16 次，速度是 AXE45.6PRM。

紙張樣本放置好後用機器來回擦拭合計 16 次，速度是 AXE45.6RPM，紙張的處理是對前面提到的 Pearlstein、Cabelli、King、Indictor 和 Brenda M. Bernier 研究的一個改變，前人研究中有使用羊毛刷或吸塵器清潔殘留的橡皮擦屑，但本研究為了觀察橡皮擦殘留對紙張的影

響，故擦拭後的紙張使用空氣球清潔 10 次，在這狀況下觀察不一樣的橡皮擦殘留在紙上的影響。



圖 3..西卡紙樣本製作 4.定性濾紙樣本製作 5. 使用空氣球清潔 10 次

四、樣本老化方式

橡皮擦老化實驗時，將橡皮擦切約 0.3x2.45 的薄片，MaLay 片剪裁成有四個 1.5x2CM 的方形洞，並在洞的兩旁割兩道系窄的小縫，使橡皮擦塊可以夾在 Mylar 片上，之後進行 QUV 和濕熱老化，如圖 6。乾熱老化則是將橡皮擦 0.3x1 公分的橡皮擦放在耐熱蓋子上，以上皆將橡皮擦原始平面處放在實驗可處理到的正面，平滑的表面有助於色差的量測。紙張老化實驗時，將擦拭過的空白濾紙做老化試驗，進行 QUV 老化時放在鋁板上，濕熱老化則是用棉線綁在不鏽鋼架上懸空。



圖 6.橡皮擦 QUV 老化樣本

五、樣本備製及編號

將空白濾紙、空白濾紙加碳粉、西卡紙、橡皮擦等樣本製作好，並根據對照組與試驗組編號以利後續研究及結果討論使用，編號方式如以下的表 1、表 2。

表 1 橡皮擦樣本及編號						
編號		產品	成分	長寬高(cm) 體積(cm ³)	重量(g)	密度 1g/cm ³
1 號	傳統	A 廠牌-1	PVC	6.5 x 2.45 x 1.25cm=19.91 cm ³	27.6	1.39
2 號		A 廠牌-2	合成橡膠 TPR	6.5x1.7x0.45cm=4.97 cm ³	9.3	1.87
3 號	傳統	B 廠牌-1	PVC	5.5 x 2.4 x 1 cm =13.2 cm ³	19.8	1.5
4 號		B 廠牌-2	PVC	5.5 x 2.3 x 1.1cm=13.92 cm ³	16.8	1.21
5 號	傳統	C 廠牌-1	合成橡膠	6*2.2*1.15cm=15.18 cm ³	23.9	1.57
6 號		C 廠牌-2	合成橡膠	6*2.2*1.15cm=15.18 cm ³	24.6	1.62
7 號	傳統	D 廠牌-1	PVC	6.5*2.3*1.3cm =19.44 cm ³	23.7	1.22
8 號		D 廠牌-2	合成橡膠	4.3X1.9X1.3cm =10.62 cm ³	14.1	1.33

表 2 紙類樣本備製及編號	
編號	試驗樣本
WE0	空白濾紙(實驗對照組)
WE1~WE8	空白濾紙+橡皮擦擦拭，數字代表橡皮擦編號
WCE0	空白濾紙+碳粉(實驗對照組)
WCE1~WCE8	空白濾紙+碳粉+橡皮擦擦拭，數字代表橡皮擦編號
BE0	西卡紙(實驗對照組)
BE1-BE8	西卡紙+橡皮擦擦拭，數字代表橡皮擦編號

第三節 實驗分析與設備

本次實驗所使用到的製作樣本及分析設備如下表 3。

表3.實驗分析與設備		
測試項目	設備型號	儀器所在單位
耐磨耗試驗機	Abrasion Tester Model 229，全華精密有限公司	財團法人工業技術研究院光復院區
硬度量測	TECLOCK GS-709N	國立成功大學機械所儀器
色差量測	X-RITE EXACT ADVANCED	國立臺南藝術大學古物維護研究所儀器
色差量測	KONICA MINOLTA分光色差儀，CHROMAMETER CR-400，Hunter KONICA MINOLTA	國立嘉義大學儀器 備註:僅使用紙樣在QUV老化前後的測量
光澤度量測	BYK Addu=itives&Instruments 4568 miceo-gloss 75° 1260664	國立臺南藝術大學古物維護研究所儀器
SEM	Phenom Mini SEM Pro X	國立臺南藝術大學古物維護研究所儀器
表面粗糙度量測	形狀分析雷射顯微鏡KEYENCE VK-X250	文化部文化資產局文化資產保存研究中心
X射線螢光分析儀(XRF)	Bruker的TRACER 5i	國立臺灣歷史博物館儀器

傅立葉轉換紅外線 光譜儀（FTIR）	Varian 2000 FT-IR Scimitar Series	行政院農業委員會林 業試驗所
可程式恆溫恆濕試 驗機	Programmable Temp &Humi Chamber	國立臺南藝術大學古 物維護研究所儀器
QUV紫外耐候試驗 機	(QUV Accelerated Weathering Tester) UVB-313	國立嘉義大學儀器
乾熱老化機	MAXTHERMO MC-2838	國立嘉義大學儀器
pH測試機	DCW pH測試筆	國立臺南藝術大學古 物維護研究所儀器



第四節 模擬劣化實驗

一、乾熱老化試驗

以中華民國國家標準 CNS3556 硫化或熱塑性橡膠—加速老化與耐熱性試驗為參考標準，以及 JAIC 1982, Volume 22, Number 1, Article 1 (pp. 01 to 12)參考，以攝氏 100°C放置 7 天，探討橡皮擦的色差及質量等差異性，此試驗在國立嘉義大學進行，非常感謝該大學的協助。（乾熱試驗機如圖 7）



圖 7. 乾熱試驗機

二、濕熱老化耐候試驗

以 CNS12887-1「紙與紙板加速老化試驗法—80°C、65%R.H」為基準，並參考中央氣象局西元 1981 至 2010 年期間的統計資料³⁷，臺灣各地平均相對濕度在 74.1 至 89.7%之間，為切合臺灣實際環境條件且達到加速老化需求，試驗條件溫濕度設定為 80°C、80%R.H。將樣本上端穿孔，以白色細棉線綁縛懸掛於可程式恆溫恆濕試驗機（Programmable Temp & Humi Chamber）之不鏽鋼架上（如圖 8）。老化時間總共為 10 天，分別在第 0 天、1 天、3 天、5 天、7 天、10 天取出樣本，因為需要測試表面粗糙度，經過測試，如果自然陰乾，因為濕度波幅較大所以造成紙面起伏無法測量出有效的表面粗糙度，所以使用吸水紙加不織布上面壓克力片及 100g 沙袋，壓乾後再放入不透明的鋁箔袋密封，以便之後測試不受其餘光照和濕度影響。

³⁷ 資料來源: <https://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthlyMean/Taiwan_rh.htm 交通部中央氣象局> 參閱日期: 2018/10/12



圖 8.可程式恆溫恆濕試驗機

三、QUV 紫外線耐候試驗

使用的儀器為 QUV 紫外耐候試驗機(QUV Accelerated Weathering Tester) (如圖 9)，此試驗在國立嘉義大學進行，非常感謝該大學的協助。燈管型號為 UVB-313，考量橡皮擦是比較穩固的化合物，劣化不易，故使用此型號燈管來進行老化。樣本以及燈管的距離大約是 5cm，實驗的條件參考 ASTM G154 的試驗標準，輻射強度為 0.89W/m^2 ，溫度設定在 60°C ，因為不需要凝露模式所以關閉此功能。將濾紙及橡皮擦樣品放進機器內進行老化。老化時間總共為 10 天，分別在第 0 天、1 天、3 天、5 天、7 天、10 天取出樣本，放置自然陰乾後，再放入不透明的鋁箔袋密封，以便之後測試不受其餘光照和濕度影響。



圖 9.QUV 老化試驗

第五節 分析方法

試驗方法以及標準皆為美國紙漿與造紙工業技術協會 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI) 制定為主要依據，以下分別仔細敘述。

一、光學性質分析-色差、光澤度

(一) 色差

以國際照明委員會 (Commission Internationale de l'Eclairage，略稱 CIE) 於 1976 年所推薦之 $L^*a^*b^*$ 表色系，它最貼切、最適用、也最能表達顏色存在之方法，這種方法通稱 CIE

Lab 表色系。

$L^*a^*b^*$ 表色系，是將顏色之立體空間用三屬性，明度(Lightness)，色相(Hue)，彩度(Saturation)以具體數值表示，利用這些數值可以定色、比色與管色。所謂明度，就是深淺度，明度之值愈大越淺或越白，明度之值越小越深或越黑。所謂色相，是指紅色、橙色、黃色、綠色、藍色、靛色、紫色...等色質。所謂彩度，是指顏色之鮮豔度，彩度之值越大顏色越鮮艷。

若將抽象顏色觀念用 $L^*a^*b^*$ 表色系之具體數值與圖型或色立體（圖 10）說明， $L^*a^*b^*$ 表色系之 $L^*a^*b^*$ 值可經由色差計測出，其 L^* 代表明度， L^* 出現 100 時，表示白色或透明無色， L^* 為 75 時表示淺灰色， L^* 出現 0 時表示黑色。色相與彩度合稱色度，色度可用 $L^*a^*b^*$ 表色系之 a^*b^* 表示。 a^* 為橫座標， a^* 之右方以「+a」定為紅色「R」表示之。 a^* 之左方以「-a」，定為綠色「G」表示之。 b^* 為縱座標， b^* 之上方以「+b」定為黃色「Y」表示之。 b^* 之下方以「-b」定為藍色「B」表示之。 a^* 與 b^* 無論是「+」或「-」值，其數值越大表示所含之色量越多，數值越小表示所含之色量越少，灰色標與色度圖合稱為 $L^*a^*b^*$ 色度

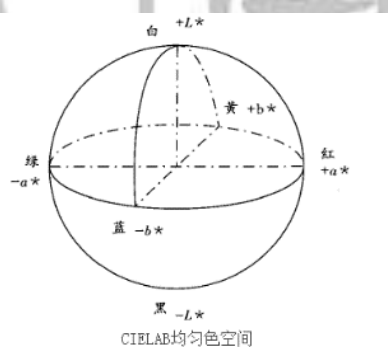


圖 10. CIE Lab 均勻色空間

色差等級評語如表 4 所示，依國際照明委員會（CIE）認定 UCS 所延伸。該色差等級評語可提供比對色差參考之依據該色差等級評語之色差（ ΔE ）可用 $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ 之公式求得，其值越大表示色差越大，反之越小。³⁸

為了避免紙張不透明度造成的影響，在量測時會在樣本下方墊著一疊白紙，而同時也記錄此

³⁸ 資料來源：〈<https://www.rco123.com/about.asp?in=252>〉參閱日期：2018/10/12

疊白紙的色彩值作為對照。每一組樣本選取 5 張，每一張樣本選取三個測試點並每點測量一次，最後取其平均值，儀器如圖 11、圖 12。



圖 11. X-RITE EXACT ADVANCED



圖 12.KONICA MINOLTA 分光色差儀

表 4. NTST 色差單位與等級判斷表³⁹

等級	色差	評語	
第一級色差	0 ~ 0.5	TRACE	極微色差
第二級色差	0.5 ~ 1.5	SLIGHT	微小色差
第三級色差	1.5 ~ 3.0	NOTICEABLE	可感色差
第四級色差	3.0 ~ 6.0	APPRECIABLE	明顯色差
第五級色差	6.0 ~ 12.0	MUCH	頗大色差
第六級色差	12.0 ~ 以上	VERY MUCH	極大色差

(二)光澤度

光澤(Gloss)是用以評估物體表面是否光滑的光學特性，呈現物件表面對光的反射能力，從物體表面反射的光越多，光澤的表現越明顯。光澤度原理是在一組幾何規定條件下對材料表面反射光的能力進行評價的物理量，它表述的是具有方向選擇的反射性質。⁴⁰

本次研究使用 BYK 光澤度計如圖 13，本機型符合 TAPPI 標準方法 T480 並且是紙、乙烯製品專用的型號，入射光為 75°，使用該機器進行西卡紙樣擦拭前後的光澤度測量。由於

³⁹ 資料來源：<<https://www.nbchao.com/k/180/>> 參閱日期：2018/10/12

⁴⁰ 資料來源：<<http://www.chuanhua.com.tw/gloss.htm>> 參閱日期：2018/10/12

設備測量的確切面積無法確定，無法重新定位後處理測量，因此使用具有矩形開口的模板，在每個矩形開口內取得 5 個讀數，並將其平均在一起，以得到每個區域的一個光澤度測量結果。⁴¹



圖 13.BYK 光澤度計

二、物理性質分析-表面粗糙度、橡皮擦硬度測試

(一)表面粗糙度測試

此次使用形狀分析雷射顯微鏡 KEYENCEVK-X250、VK-X260 進行紙樣表面粗糙度的量測，該儀器是 16 位元形狀分析雷射顯微鏡，控制器部 VK-X250，量測部 VK-X260、紫光雷射波長 408 nm、顯示解析度 0.5 nm⁴²。機器內建 XY 掃描器，使用雷射光源依 X 方向及 Y 方向掃描目標物體表面後，可取得表面的凹凸資料，不傷樣本表面、和接觸式相比可量測微小凹凸，機器如圖 14，此檢測在文化部文化資產局文化資產保存研究中心進行，非常感謝該中心的協助。每一組樣本選取 5 張，每一張樣本選取三個測試點並每點測量一次，最後取其平均值。



圖 14.形狀分析雷射顯微鏡

(二)橡皮擦硬度測試

使用 TECLOCK GS709N⁴³如圖 15，雖然不是最合適的 701N 機型，不過用來檢測橡皮擦

⁴¹ 資料來源：<<http://www.kohsieh.com.tw/ver2/newfile173.html>> 參閱日期：2018/10/12

⁴² 資料來源：<<https://www.keyence.com.tw/ss/products/microscope/vkx/spec/>> 參閱日期：2018/10/12

⁴³ 資料來源：<http://www.jyecheng.com.tw/new/gs_709n.htm> 參閱日期：2018/10/12

的硬度是可行的。以雙手確實固定住硬度計的加壓面(壓針面)，從正上方以一定的速度，垂直的壓放在受測物的平面上，當硬度計的加壓面與受測物緊密接觸後，立即讀取指示的最大值，此最大值即為硬度，依照 GS709N 規定檢測。



圖 15. TECLOCK GS709N 硬度計

三、化學分析-傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR)、pH 值

(一)傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR)

本研究使用 FTIR 來分析橡皮擦樣本，此試驗在行政院農業委員會林業試驗所進行，非常感謝該所的協助。試驗時首先裁切約 1 mm x 1 mm 之樣本，以衰减全反射(attenuated total reflection, ATR)模式進行測量，此模式所需的樣本準備流程較傳統透射式的紅外線光譜簡單許多，樣本不需經過預處理就可以直接量測⁴⁴。在量測時，直接將樣本放置在鑽石 ATR 晶體表面，並以一不鏽鋼壓頭加壓使樣本與晶體緊密接觸如圖 16。



圖.16 FTIR 儀器

(二)pH 值(冷水萃取法)

橡皮擦劣化後有可能呈現酸性，所殘留的橡皮屑可能會影響紙張的 pH 值，故透過量測的方式觀察紙張老化前後 pH 值的變化。本研究 pH 值測定使用 TAPPI 標準方法「T509 om-02 Hydrogen ion concentration (pH) of paper extracts (cold extraction method)」。在萃取之前，秤量 1.0 ± 0.01 g 的樣本，並將之裁剪成 5 到 10 mm 寬的方形，而後將樣本放入 25 ± 5 ml 冷

⁴⁴ (Skoog et al., 1998, pp. 420-421)

水的玻璃瓶中，先使用 5ml 的純水浸潤樣本，再加入純水 70ml 完全覆蓋，將瓶蓋旋上並輕微搖晃使樣本與水混合，靜至 1 小時後使用精確至 0.1 pH 之酸鹼度計的玻璃電極量測 pH 值，同時也製作未老化之樣本作為對照組。

四、元素分析-X 射線螢光分析 (XRF)

本研究使用 X 射線螢光分析儀⁴⁵來分析橡皮擦的成分，此檢測在國立臺灣歷史博物館進行，非常感謝該館的協助。在檢測之前，先將橡皮擦放置在載台上如圖 17，並以黑色防輻射蓋子蓋上。



圖 17. X 射線螢光分析儀

五、結構分析-掃描式電子顯微鏡(SEM)

SEM 掃描式電子顯微鏡是一種觀察固體材料表面的三維結構型態，成像是二次成相，通過掃描樣品並使用特殊檢測器收集被發射的二次電子，創建了顯示表面的形貌的圖像。⁴⁶本研究使用 Phenom Mini SEM Pro X 進行擦拭過橡皮擦的紙樣表面檢測，將樣品裁切成 0.2x0.5cm 貼在銅膠帶上如圖 18，鍍金後進行 310X 的檢測，查看紙張表面肌理的變化及是否有橡皮擦屑殘留，為了避免碳粉對檢測結果造成干預，選取空白濾紙的 WE 系列樣本做破壞性檢測。



圖 18. SEM 檢測樣本

⁴⁵ 本研究使用的機器為 Bruker 公司製造之 TRACER 5i；銻 Rh 靶材 X-Ray 光管、可測範圍：氟(F9)~鈾(U92)，檢測時以電腦無線控制機器的觸發。

⁴⁶ 資料來源:<<https://zh.wikipedia.org/wiki/掃描式電子顯微鏡>> 參閱日期：2018/12/01

第四章 實驗結果與討論

第一節 橡皮擦分析

一、元素分析-X 射線螢光分析 (XRF)

XRF 無法分析太微小的元素且因為能階判斷等不確定因素，故此 XRF 表為參考用，日後宜再使用別的儀器做更進一步的分析。從表 5 橡皮擦 XRF 成分表顯示有 Al 鋁、Si 矽、S 硫、Cl 氯、Ca 鈣、Ti 鈦、Fe 鐵、Zn 鋅、Sn 錫，依據前人文獻及橡皮擦專利書推測，鋁是氧化鋁、矽是二氧化矽、硫可能是硫酸鹽類、氯是 PVC、鈣是碳酸鈣、鈦是二氧化鈦。

PVC 確實不需要硫化，但原物料 PVC 在製造時，需要熱穩定劑這類助劑，助劑中有可能含硫⁴⁷。此外，聚合反應時，有一種乳液聚合方式，反應起始劑也有硫酸鹽類這物質⁴⁸。全部橡皮擦都有添加二氧化鈦但 3 號橡皮擦含量最少，依據文獻二氧化鈦⁴⁹常作為調白劑被加入橡皮擦中，此外橡皮擦也都有添加碳酸鈣，通常使用碳酸鈣當填充物跟調整硬度，且標示 PVC 的橡皮擦都有 PVC。二氧化鈦和碳酸鈣會影響橡皮擦白度，在成分相似都含有硫的 3、4 跟 7 號橡皮擦中 3 號老化狀況最明顯，此次實驗沒有測試含量為具體數字，推測添加含量會影響老化後顏色變化，除了塑化劑劣化因素之外，或許安定劑、二氧化鈦跟碳酸鈣的多寡也是影響橡皮擦是否容易變色的原因之一。

非 PVC 橡皮擦的主要材料 TPR 偏灰色，如果製作的橡皮擦需要偏白色，則需要添加很多二氧化鈦調白劑及碳酸鈣，此外塑化劑對 QUV 敏感，這可能是 QUV 老化較嚴重的原因，由實驗結果來看，不管是否為 PVC 橡皮擦，變色問題調白劑跟安定劑都是需要考量的部分。

從 7 天人工老化(QUV 老化:60°C 溼熱老化：80°C，80%RH；乾熱老化：100°C)後與老

⁴⁷資料來源:< <https://wiki.mbalib.com/zh-tw/熱穩定劑> > 參閱日期：2019/03/01

⁴⁸ 資料來源:< <http://psdn.pidc.org.tw/ike/doclib/2003/2003doclib/2003ike25-0/2003ike25-0-307.asp>，塑膠 e 學苑 > 參閱日期：2019/03/01

⁴⁹ 美國專利公開 No.6441091 B1

化前的 XRF 光譜比較，雖然老化後的橡皮擦看起來已經變色，然而 XRF 分析卻顯示其仍然保有其成分。⁵⁰

表 5.橡皮擦 XRF 成分表											
編號	產品	類型	Al 鋁	Si 矽	S 硫	Cl 氯	Ca 鈣	Ti 鈦	Fe 鐵	Zn 鋅	Sn 錫
1 號	A 廠牌-1	PVC	●	●		*	●	●	◎		●
2 號	A 廠牌-2	合成橡膠 TPR		●			●	●	◎		●
3 號	B 廠牌-1	PVC				*	●	◎	◎		●
4 號	B 廠牌-2	PVC			*	*	●	●	◎	◎	●
5 號	C 廠牌-1	合成橡膠	●	●			●	●	◎		●
6 號	C 廠牌-2	合成橡膠	●	●			●	●	◎		●
7 號	D 廠牌-1	PVC			*	*	●	●	◎		●
8 號	D 廠牌-2	合成橡膠	●	●			●	●	◎		
◎非常微量											
*有害物質 Rh XRF 靶材											

二、化學分析-傅立葉轉換紅外線光譜儀（FTIR）

表 6 顯示，PVC 橡皮擦中 3 號和 7 號有相近的 FTIR 光譜，3 號橡皮擦和 7 號橡皮擦波峰相近，兩者同為 PVC 橡皮擦，在表 5 橡皮擦 XRF 成分表中兩者可能有硫化物，因為 7 號

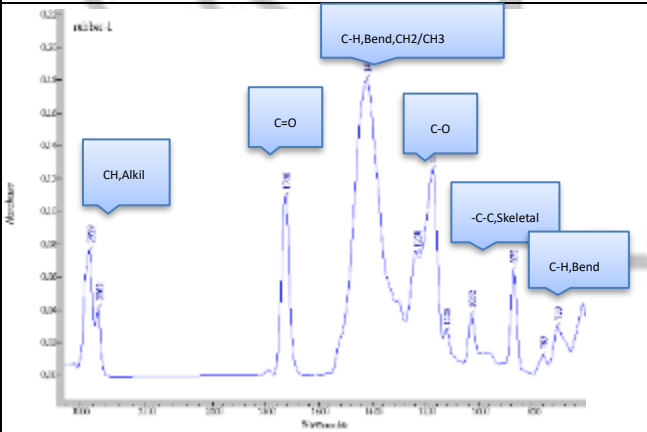
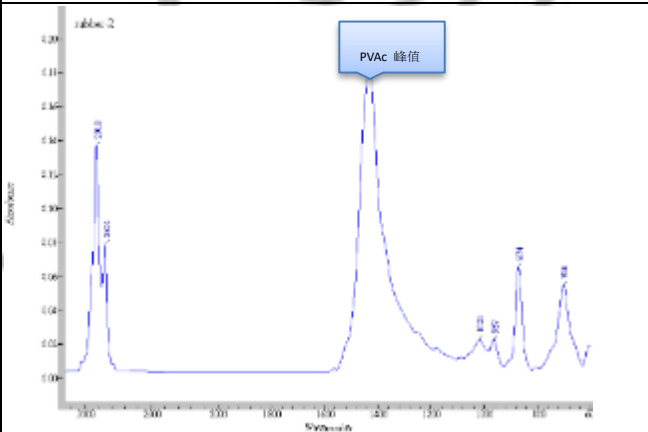
⁵⁰ 橡皮擦在老化前與老化後 7 天的 XRF 光譜(QUV 老化:60°C 溼熱老化：80°C，80%RH；乾熱老化：100°C)詳請見附錄 II。

橡皮擦在經濟部檢測時沒有塑化劑⁵¹，所以 7 號的光譜出現的 2800-3000 cm^{-1} 區域非常類似於塑化劑脂肪族 CH 的部分比較讓人感到困惑。

其中非 PVC 橡皮擦 2 號、5 號、6 號、8 號有相近的 FTIR 光譜，尤其是 5 號、8 號是一樣的波峰，可以確認的是，廠商並沒有在非 PVC 橡皮擦中添加塑化劑。

從「食品中未知添加物之分析」文章其中七種鄰苯二甲酸酯類塑化劑之拉曼光譜圖中，以其中的 DEHP 的光譜如圖 19 比對表 6 中的光譜後⁵²，基本上符合 DEHP 的光譜，因為挑選的橡皮擦都符合臺灣標準及歐盟（2005/84/EC）的塑化劑標準，故不另行檢測其含量。⁵³⁵⁴

此外，如圖 20 聚醋酸乙烯酯（Polyvinyl acetate，也稱作聚乙酸乙烯酯，簡稱 PVAc）的 FTIR 光譜，PVAc 吸光度在 1728 cm^{-1} 處表現出強乙酸酯羰基帶（棕色陰影峰），其他峰值為：1433 cm^{-1} 、1370 cm^{-1} 、1224 cm^{-1} 和 1016 cm^{-1} 。⁵⁵ 在表 6 中這些測試橡皮擦的 FTIR 中，有峰值為 1433 cm^{-1} 、1370 cm^{-1} 、1224 cm^{-1} 和 1016 cm^{-1} ，所以合理懷疑，橡皮擦中有添加 PVAc 當作黏著劑。

表 6. 橡皮擦 FTIR 光譜	
1 號 A 廠牌-1(PVC 橡皮擦)	2 號 A 廠牌-2
	
3 號 B 廠牌-1(PVC 橡皮擦)	3 號 B 廠牌-2(PVC 橡皮擦)

⁵¹ 消委會 480 期《選擇》月刊

⁵² 食品藥物研究年報. 3 : 8-14 2012 Ann. Rept. Food Drug Res. 3 : 8-14 2012

⁵³ 李正義，張金龍，殷樂，等。氣相色譜-質譜法測定橡皮擦中五種鄰苯二甲酸酯增塑劑含量[J]。分析科學學報，2017，33(1):52—56。

⁵⁴ 陳建軍，刁春霞，孫玉萍，等。學生用橡皮擦鄰苯二甲酸脂類塑化劑含量調查[J]。中國學校衛生

⁵⁵ Ronald P. D'Amelia, Samantha Gentile, William F. Nirode, Ling Huang 世界化學教育雜誌。2016,4 (2), 25-31 doi : 10.12691 / wjce-4-2-1

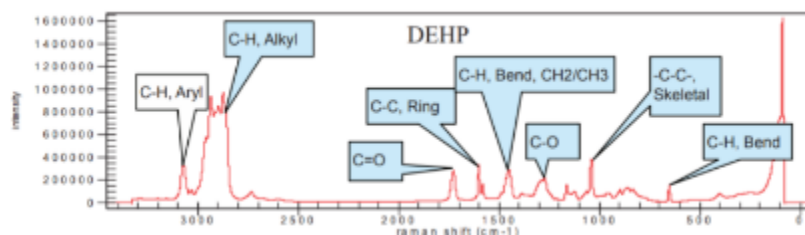
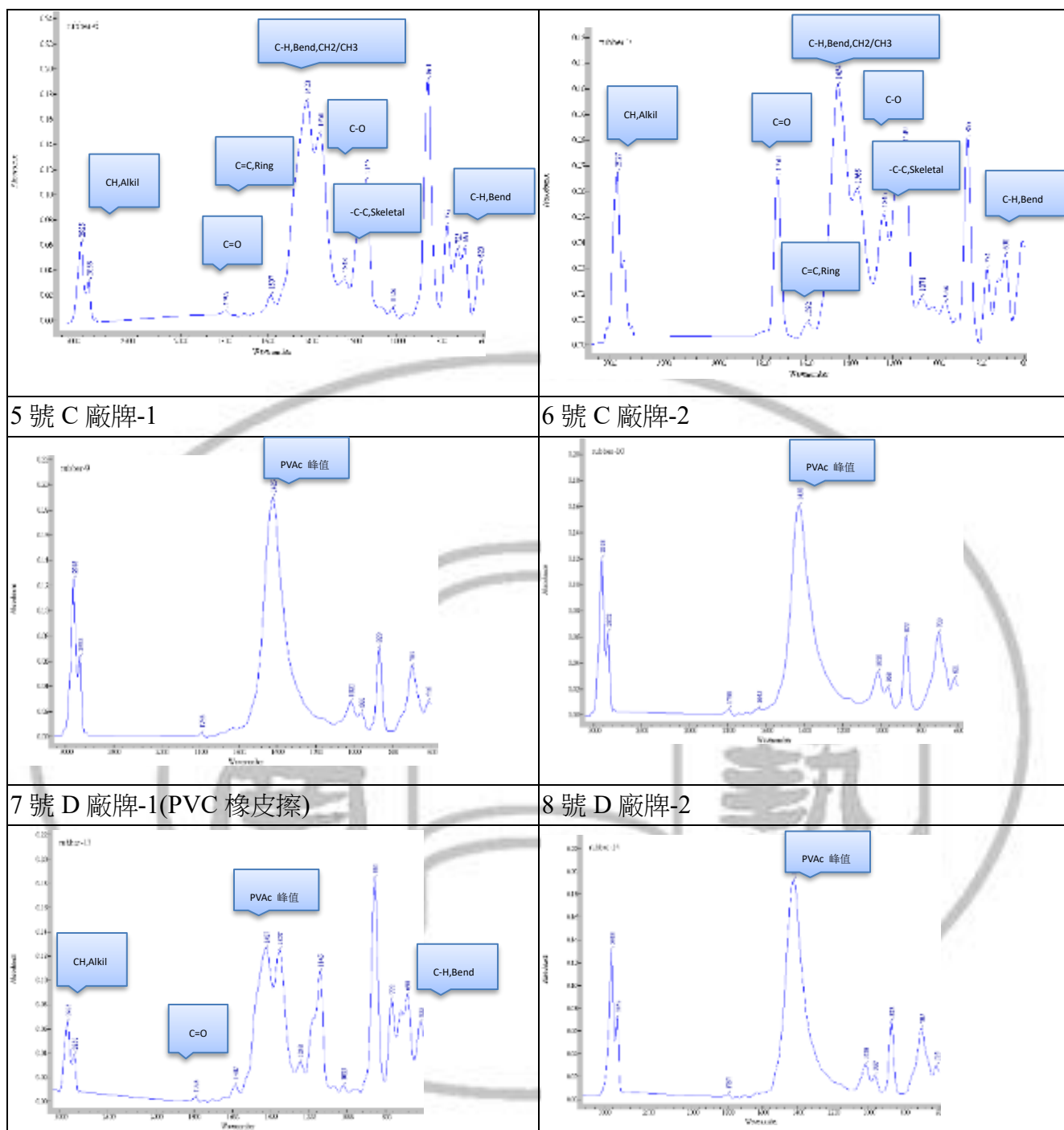


圖 19.DEHP 的 FTIR 光譜⁵⁶

⁵⁶ 食品藥物研究年報. 3 : 8-14 2012 Ann. Rept. Food Drug Res. 3 : 8-14 2012

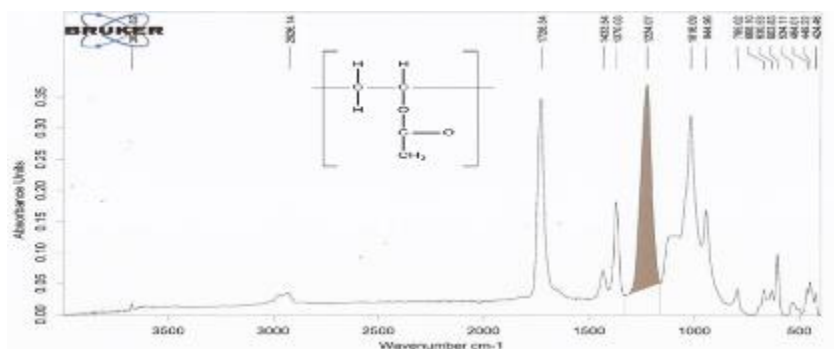


圖 20. PVAc 的 FTIR 光譜⁵⁷

三、物理性質分析-橡皮擦硬度測試

表 7 為每個橡皮擦各測量 5 次硬度後平均的數據，這些數據將會和色差值、光澤度、粗糙度、SEM 相比，當做一些比較的參考數據，推測橡皮擦硬度越硬或越軟的一種極端狀態下，應該會造成紙張的光澤度變化越大。

表 7. 橡皮擦硬度測試

編號		產品	蕭式硬度(HS)
1	傳統	A 廠牌-1	HS 48
2		A 廠牌-2	HS 63
3	傳統	B 廠牌-1	HS 45
4		B 廠牌-2	HS 50
5	傳統	C 廠牌-1	HS 46
6		C 廠牌-2	HS 45
7	傳統	D 廠牌-1	HS 53
8		D 廠牌-2	HS 46

四、光學性質分析-色差

橡皮擦的三種老化色差值測量一併使用 KONICA MINOLTA 分光色差儀，CHROM AMETER CR-400，Hunter KONICA MINOLTA 來測量色差值，從圖 21 來分析橡皮擦樣本，橡皮擦在老化後產生明顯的變色現象，在 QUV 老化的狀況下變色明顯偏黃偏灰，3 號橡皮擦在乾熱老化時明顯偏咖啡偏灰。

⁵⁷ Ronald P. D'Amelia, Samantha Gentile, William F. Nirode, Ling Huang 世界化學教育雜誌。2016,4 (2), 25-31 doi: 10.12691 / wjce-4-2-1

圖 22 顯示，1 號橡皮擦在三種老化狀況下的 ΔE^* 值，QUV 老化是 1.01、乾熱老化 0.41、濕熱老化 1.25，三種老化狀況都不明顯，材質較穩定。2 號橡皮擦在 QUV 老化時 ΔE^* 值變化很大達到 23.13，但在溼熱老化及乾熱老化時卻劣化不明顯才 2.01 及 0.87，推測其材料中應含有對紫外光敏感的物质，2 號橡皮擦硬度堅硬，且成分含有 TPR⁵⁸但顏色潔白，推測聚醋酸乙烯酯和調白劑的含量應該比其他橡皮擦含量較多，或許是聚醋酸乙烯酯的劣化導致黃化。

3 號橡皮擦不含鋅(Zn)，且未老化前的橡皮擦表面偏灰色，推測可能碳酸鈣跟二氧化矽含量較少，且可能含有硫故導致黃化最嚴重，此橡皮擦 QUV 老化的 ΔE^* 值變化最大達到 25.81、乾熱老化是 15.64、濕熱老化是 8.00，三種老化現象 ΔE^* 值最高，是所有測試物中最不穩定的。

4 號橡皮擦 ΔE^* 值 QUV 老化 4.88、乾熱老化 1.05、濕熱老化 2.51，老化狀況不明顯，該橡皮擦雖然成分和 3 號相似，可能含有硫但碳酸鈣跟二氧化矽也可能較多，較不易黃化。老化後的 3 號和 4 號 PVC 橡皮擦都有刺鼻的氣味，是橡皮擦降解產生的氣味。

5 號和 6 號橡皮擦老化狀況相似，5 號 ΔE^* 值 QUV 老化 14.27、乾熱老化 4.19、濕熱老化 2.30，6 號 ΔE^* 值 QUV 老化 14.89、乾熱老化 1.84、濕熱老化 2.45，兩者 QUV 老化都較明顯，推測其材料中應含有對紫外光敏感的物质。

7 號橡皮擦在三種老化狀況下的 ΔE^* 值，QUV 老化是 9.61、乾熱老化 0.93、濕熱老化 1.22，QUV 老化較明顯，推測其材料中應含有對紫外光敏感的物质。8 號橡皮擦的 ΔE^* 值 QUV 老化是 12.86、乾熱老化 1.70、濕熱老化 0.86，QUV 老化較明顯，推測其材料中應含有對紫外光敏感的物质。

⁵⁸ 由電話訪問得知。

橡皮擦三種老化狀況下的差異中在 QUV 老化狀況下劣化最明顯，除此之外，三種老化現象最明顯是 PVC 製造的 3 號橡皮擦，但 4 號橡皮擦成分相似但老化狀況卻不明顯，觀察老化前的橡皮擦顏色，4 號橡皮擦比 3 號橡皮擦白，在同是含硫 PVC 橡皮擦的狀況下，推測 4 號調白劑跟碳酸鈣添加較多，故老化較不明顯。非 PVC 橡皮擦在 QUV 老化狀況下劣化最明顯，推測含有對紫外光敏感的物质，此外，除了 2 號非常明顯偏黃色，5、6、8 號橡皮擦只有微微變色，或許 2 號橡皮擦中含有較多對紫外光敏感的物质。

橡皮擦以 ΔE^* 值大到小比較，QUV 老化 3 號>2 號>6 號>5 號>8 號>7 號>4 號>1 號，乾熱老化 3 號>5 號>2 號>6 號>8 號>4 號>7 號>1 號，濕熱老化 3 號>4 號>6 號>5 號>1 號>7 號>2 號>8 號。

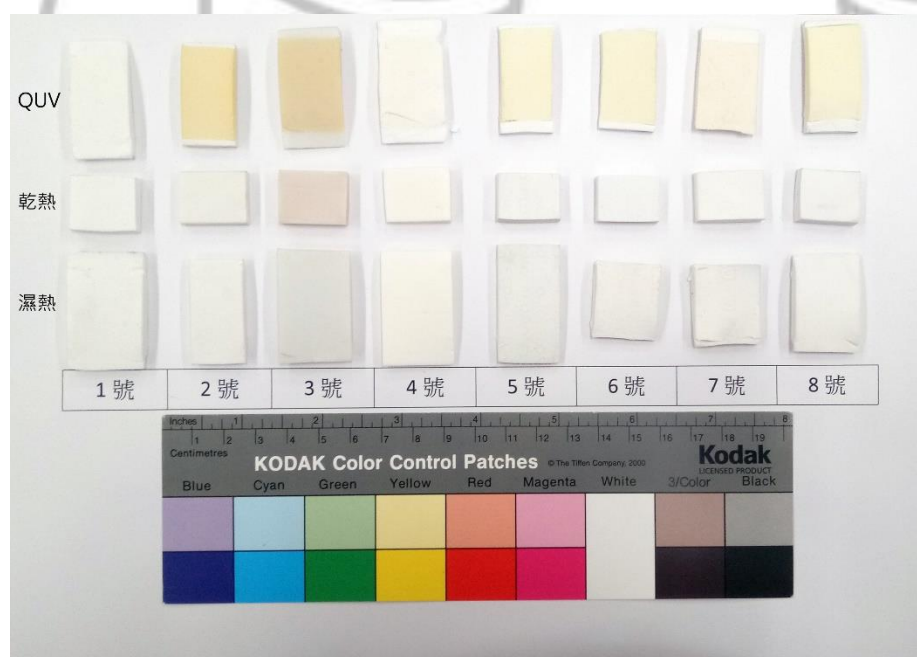


圖 21. 老化後的橡皮擦

由上往下 (第一列)QUV 老化(60°C)7 天之後，(第二列)乾熱老化(100°C)7 天之後，(第三列)溼熱老化(80°C，80%RH)7 天之後

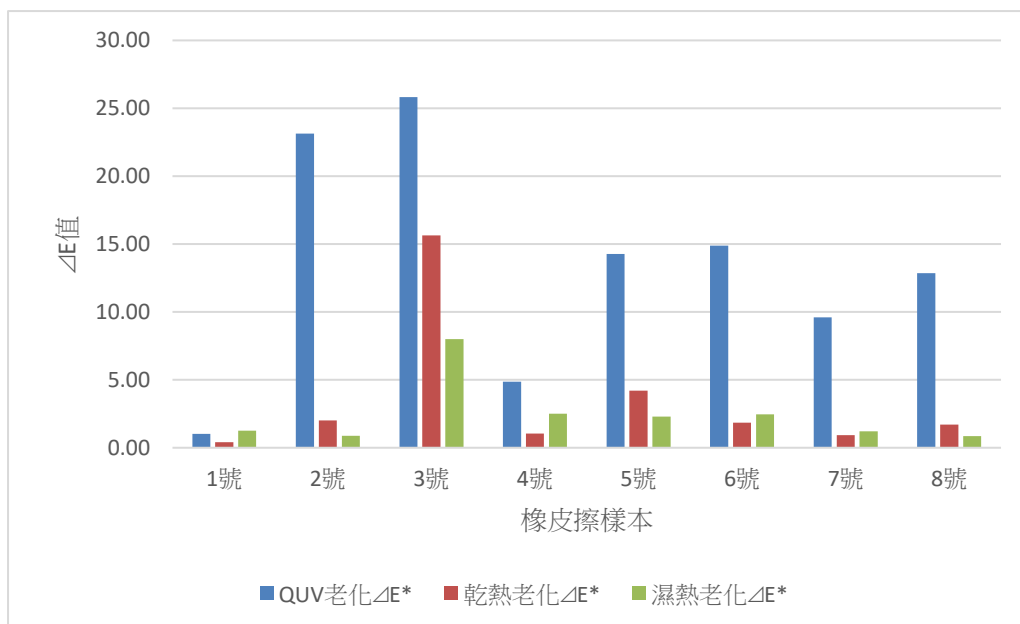


圖 22. 橡皮擦 QUV 老化、乾熱老化、濕熱老化 7 天後的 ΔE^* 值

第二節 紙樣分析

一、光學性質分析-色差

(一) 碳粉濾紙測試-清潔度

WCE 的色差值測量清潔度一併使用 X-RITE EXACT ADVANCED 色差儀來測量色差值，表 8 顯示，WCE1、WCE2、WCE5 和 WCE6 的 ΔE^* 值分別是 12.066、12.406、16.952、17.709 都在極大色差層級中，硬度分別是 48、63、46、45，除了 WCE2 是硬度 63 最硬的橡皮擦擦拭外，其他的皆是由較柔軟的橡皮擦擦拭，尤其是 WCE6 的 ΔE^* 值 17.709 變化最大但卻是由硬度 45 最軟的橡皮擦擦拭的。

WCE3、WCE4、WCE7 和 WCE8 的 ΔE^* 值分別是 11.329、8.055、8.540、11.547 都在頗大色差層級中，硬度分別是 45、50、53、46，除了 WCE7 是硬度 53 的橡皮擦擦拭外，其他的皆是由較柔軟的橡皮擦擦拭。

WCE2 的 ΔE^* 12.406 是硬度 63 最硬的橡皮擦擦拭，但變化不是最明顯的，WCE4 的 ΔE^* 8.055 變化最小卻是由硬度 50 的橡皮擦擦拭，CE6 的 ΔE^* 值 17.709 變化最大但是是由

硬度 45 最軟的橡皮擦擦拭，或許柔軟跟堅硬的兩種極端效果對於清潔而言都是有益的，也可能硬度跟清潔度沒有太直接的關係。

此外，樣本 WCE1~8 的 NTST 色差感知層級結果都是頗大色差到極大色差，藉此實驗判斷全部橡皮擦的清潔能力都很接近而且都很良好。

表 8. WCE 樣本 NTST 色差感知層級與硬度的關係				
編號	ΔE^*	NTST 色差等級	感知層級	蕭式硬度(HS)
WCE1	12.066	第六級色差	極大色差	HS 48
WCE2	12.406	第六級色差	極大色差	HS 63
WCE3	11.329	第五級色差	頗大色差	HS 45
WCE4	8.055	第五級色差	頗大色差	HS 50
WCE5	16.952	第六級色差	極大色差	HS 46
WCE6	17.709	第六級色差	極大色差	HS 45
WCE7	8.540	第五級色差	頗大色差	HS 53
WCE8	11.547	第五級色差	頗大色差	HS 46

(二)空白定性濾紙 QUV 老化前後測試

WE 的 QUV 老化前後色差值測量一併使用 KONICA MINOLTA 分光色差儀，CHROMAMETER CR-400，Hunter KONICA MINOLTA 來測量色差值，由圖 23 顯示，樣本 WE0 對照組的 ΔE^* 值平緩上升，在第 5 天開始直到第 10 天都比較沒有顯著變化。WE1~WE8 樣本的 ΔE^* 值從第 1 天開始快速上升，在第 3 天時有顯著變化，每種樣本 ΔE^* 值來到 0.43~0.54 後，再從第 3 天開始緩慢上升，WE2 及 WE3 在第 1 天 ΔE^* 值是 0.32 和 0.26，和其他樣本在 0.1~0.17 相比，色差有比較大的差異。WE4、WE5、WE6 從第 3 天起的上升幅度較少，WE4 在第 7 天到第 10 天有劇烈上升，原因不明但可能是橡皮擦殘留度較多的影響。

經過 10 天 QUV 加速老化後，對照組的 ΔE^* 值是 0.27，樣本 WE2 及 WE3 和 WE8 變化是全部樣品中最大的， ΔE^* 值是 0.64 左右，實驗組樣本雖然都有些微的差異，推測橡皮擦屑會讓紙張變色，但只有 0 ~ 0.5 極微色差，差距極小。

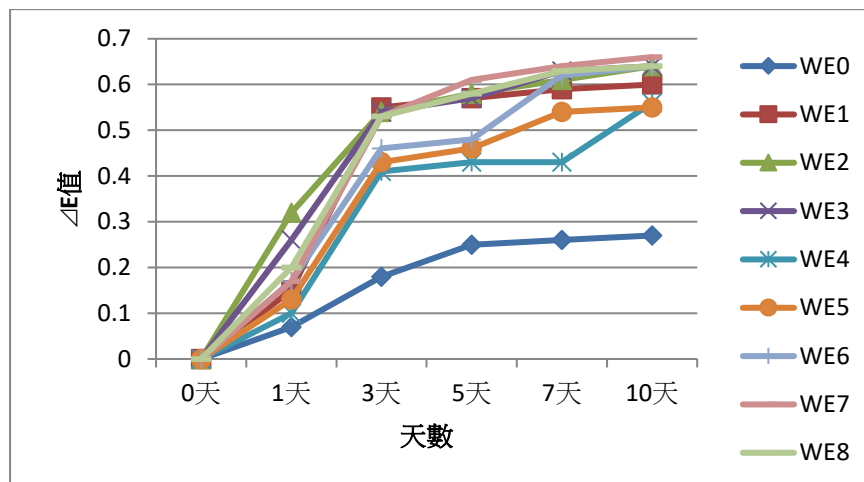


圖 23. WE 系列樣本 QUV 加速老化後的色差 ΔE^* 值

從圖 24 顯示，空白濾紙樣本 WE0 對照組的 Δb^* 值平緩上升，在第 3 天開始直到第 10 天都比較沒有明顯變化。WE1~WE8 樣本的 Δb^* 值從第 1 天開始快速上升，在第 3 天 Δb^* 值來到 0.41~0.54 後，色差值接近平緩，沒有顯著變化。樣本 WE2 及 WE3 在第 1 天 b^* 值是 0.29 和 0.24，和其他樣本在 0.09~0.19 相比，色差有比較大的差異。WE4 從第 3 天起直到第 10 天的上升幅度較少接近沒有變化，原因不明但或許是橡皮擦殘留度的影響。

經過 10 天 QUV 老化後，空白濾紙擦拭過橡皮擦樣本經過 10 天加速劣化後，色差 Δb^* 值有些微的上升，推測橡皮擦屑會讓紙張偏黃。WE2 是變化比較明顯從 0 變為 0.63，可能是因為橡皮擦的殘留度影響了紙張，所以 Δb^* 值微微的增加，有點偏向肉眼看不出來的黃化，整體來說，差異性極小，近乎沒有。

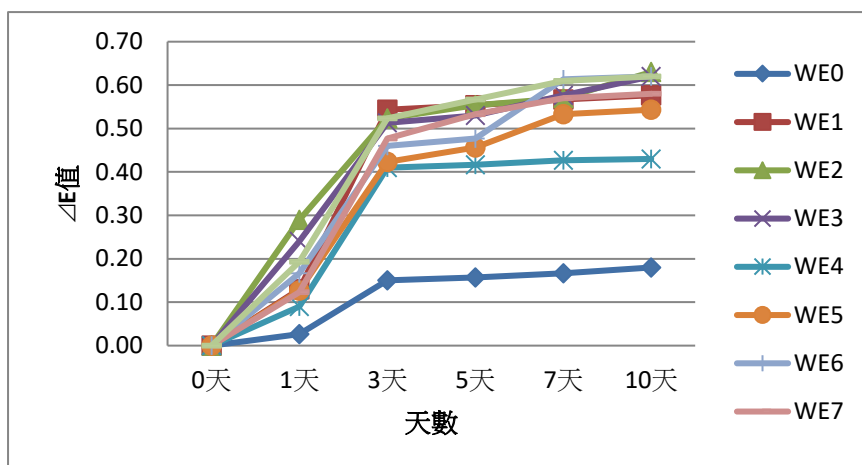


圖 24. WE 系列樣本 QUV 加速老化後的色差 Δb^* 值

(三)空白定性濾紙濕熱加速老化前後測試

WE 的濕熱加速老化前後色差值測量一併使用 X-RITE EXACT ADVANCED 色差儀來測量色差值，由圖 25 顯示，空白濾紙樣本 WE0 對照組的 ΔE^* 值在第 1 天就快速上升到 0.5，在第 3 天開始直到第 10 天都比較沒有顯著變化，平緩的上升到 1.07。

WE2 的 ΔE^* 值在第 1 天就快速上升到 0.73，並在第 7 天到第 10 天時急促從 1.22 增加到 1.43，原因不明但可能是橡皮擦殘留度較多的影響。WE3 的 ΔE^* 值在第 1 天就快速上升到 0.93，在第 3 天時繼續上升 1.30，之後才呈現較平緩到第 10 天的 1.32。

WE4、WE5 樣本的 ΔE^* 值從第 1 天開始快速上升到 0.40 和 0.46，在第 1 天到第 10 天的 0.95 和 1.08 呈現緩慢上升，但整體上升幅度和對照組相比較少。WE6、WE7 樣本的 ΔE^* 值在第 3 天的 0.79 和 0.94 開始直到第 10 天的 1.05 半都比較沒有顯著變化，WE8 樣本的 ΔE^* 值從第 1 天開始就有顯著變化，但之後都是平緩的沒有特別的變化。

10 天濕熱加速老化後，WE4、WE5、WE6 跟對照組相比，在老化過程中 ΔE^* 值變異速度減緩且較低，原本猜測或許是橡皮擦屑中的碳酸鈣起作用，但因為誤差在標準差內，故應該不是碳酸鈣的原因。老化狀況最明顯的 2 號和 3 號橡皮擦，其紙樣的 ΔE^* 值差距也是最大

到 1.43、1.32，但對照組 WE0 的 ΔE 值 1.07 也偏高，故整體來說，只有 0~0.5 極微色差，色差差距極小。

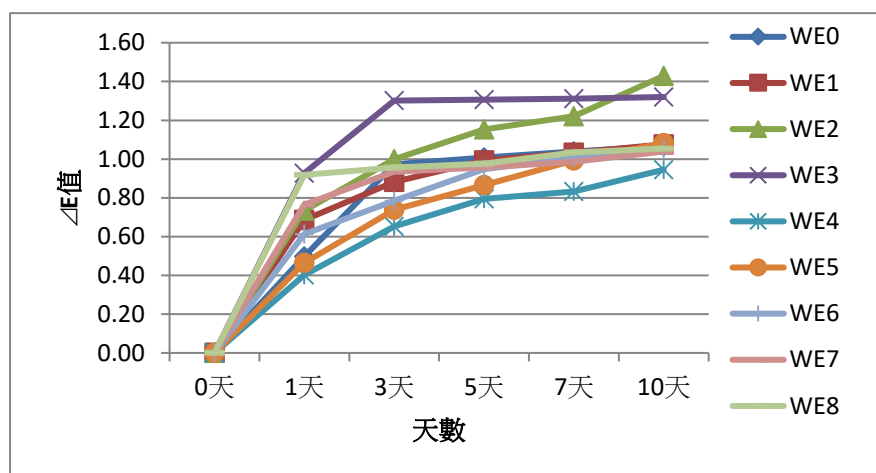


圖 25. WE 系列樣本濕熱加速老化後的色差 ΔE^* 值

從圖 26 顯示，空白濾紙樣本 WE0 對照組的 Δb^* 值在第 1 天就快速上升到第 3 天的 0.97，第 3 天開始直到第 10 天都比較沒有顯著變化，平緩的上升到 0.99。

WE2 的 Δb^* 值在第 1 天還沒有明顯變化，第 3 天就快速上升到 0.67，並在第 3 天到第 10 天時緩慢增加到 0.86。WE3 的 Δb^* 值在第 1 天就快速上升到 0.58，在第 3 天時繼續上升 1.18，之後才呈現較平緩到第 10 天的 1.24。WE2、WE4、WE5、WE6、WE7 樣本的 ΔE^* 值從第 1 天到第 3 天快速上升，在第 3 天到第 10 天平緩增加，整體上升幅度和對照組相比較低。

10 天濕熱加速老化後，WE2、WE4、WE5、WE6、WE7 跟對照組相比，在老化過程中 Δb^* 值變化較低，原本猜測或許是橡皮擦屑中的碳酸鈣起作用，但因為誤差在標準差內，故應該就只是誤差。WE3 變化比較明顯從 0 變為 1.24，可能是因為橡皮擦的殘留度影響了紙張，所以 Δb^* 值微微的增加，有點偏向肉眼看不出來的黃化，WE0 的 ΔE 值也偏高，整體來說，只有 0~0.5 極微色差，差異性極小，近乎沒有。

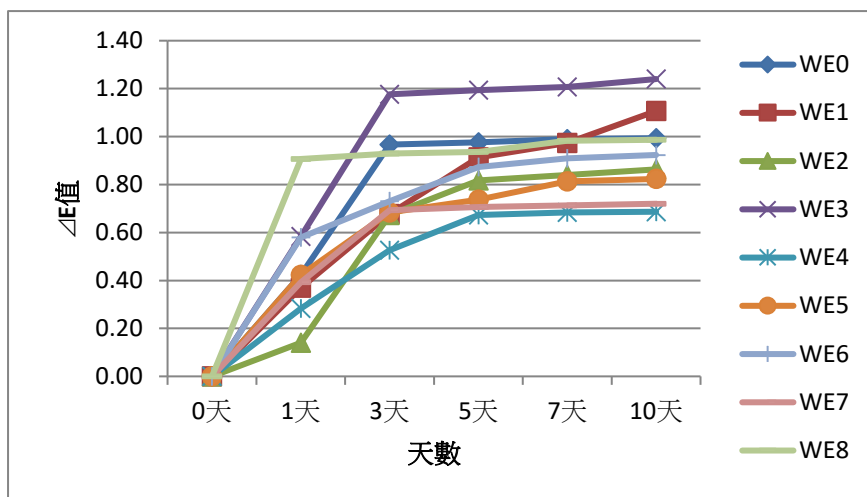


圖 26. WE 系列樣本濕熱加速老化後的色差 Δb^* 值

二、光學性質分析-光澤度

如圖 27 顯示，樣本 BE1 的 12.34 GU > BE3 的 9.16 GU > BE2 的 8.2 GU > BE4 的 6.54 GU > BE7 的 6.44 GU > BE6 的 5.06 GU > BE5 的 4.54 GU > BE8 的 3.88 GU。

樣本 BE8 平均數字最小是 3.88，代表該橡皮擦改變紙張表面光澤的變化最小，BE1 樣本平均數字最大是 12.34 GU，橡皮擦改變紙張表面光澤的變化最大，此試驗以改變光澤越少越好，反之亦然。

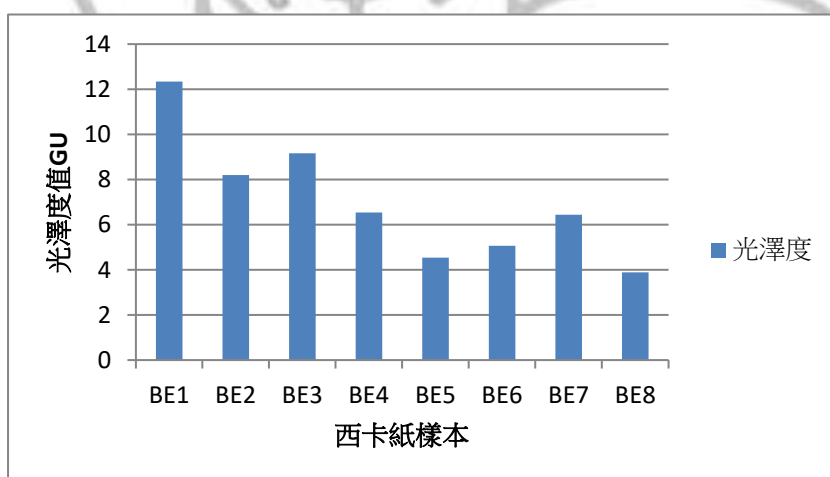


圖 27. BE 系列樣本光澤度的差異度

三、物理性質分析-表面粗糙度 (形狀分析雷射顯微鏡)

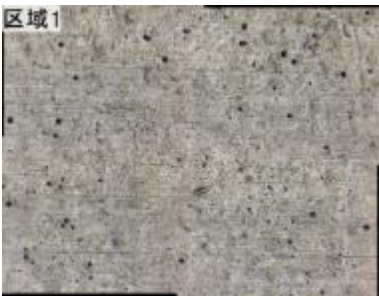
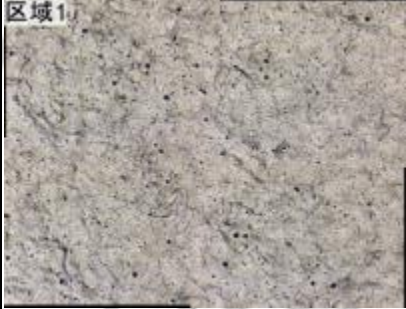
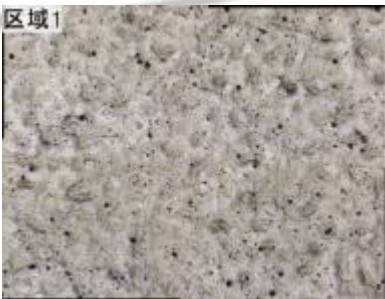
從表 9 的西卡紙樣本粗糙度分析，擦拭前後差異變化 BE1 的差異是 0.1、BE2 是 1.308、

BE3 是 0.93、BE4 是 0.756、BE5 是 0.049、BE6 是 0.364、BE7 是 0.604、BE8 是 1.255，其中 BE2 和 BE8 的差距較明顯，其他的較不明顯。橡皮擦擦拭後的圖片顯示，2 號、5 號、7 號、8 號刮痕特別明顯，確定橡皮擦會造成表面的刮痕。

之前在進行點測試後發現其變化不明顯，應該粗糙的地方測出來反而比較光滑，跟文資中心的張舜孔博士討論後，考量到可能檢測到沒有刮痕的平面處，故擴大範圍，使用該機器擴大範圍四點至 6130597 μm^2 後，再使用自動連接功能檢測測量表面粗糙度，其測量單位是 μm (微米)，測量倍率是 200 倍，分別測出 Sa(平均高度)、Sz(最大高度)、Str(特性高寬比)、Spc(峰頂的平均律)、Sdr(介面展開面積比)，為了量測統一標準，以 Sa 數值為此次實驗測量的參考數據。

因為橡皮擦的硬度及黏性等關係，紙張擦拭後，表面纖維有可能變得更粗糙也有可能變得更光滑，故與對照組相減後，數值可能是正值(變粗糙)也可能是負值(變光滑)，數值越大代表改變表面粗糙度越大。

表 9. BE 系列樣本未老化擦拭前、後的表面粗糙度變化					
	擦拭前		擦拭後		
編號	圖示	Sa(μm)	圖示	Sa(μm)	差異(μm)
BE1		2.783		2.683	0.1

BE2	区域1 	3.880	区域1 	2.572	1.308
BE3	区域1 	3.493	区域1 	2.563	0.93
BE4	区域1 	2.692	区域1 	1.936	0.756
BE5	区域1 	2.199	区域1 	2.150	0.049
BE6	区域1 	3.027	区域1 	2.663	0.364

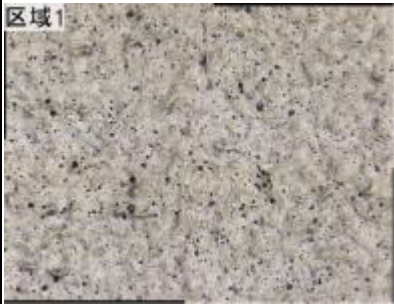
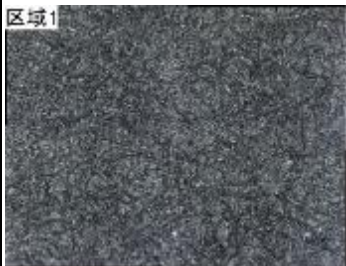
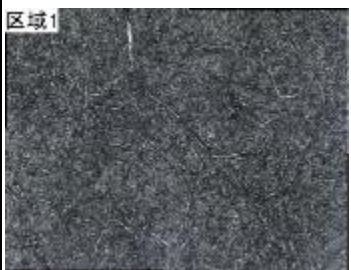
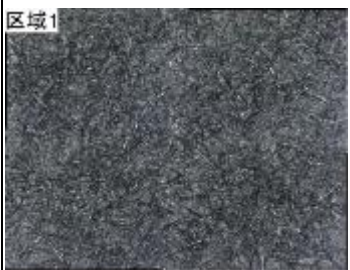
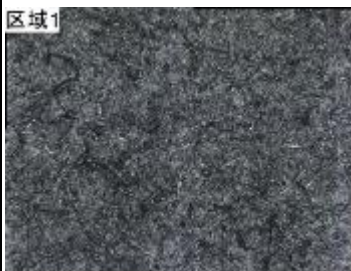
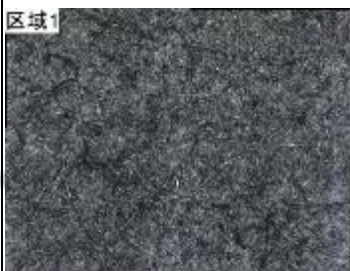
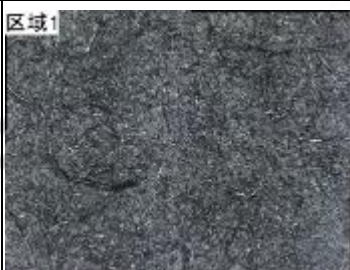
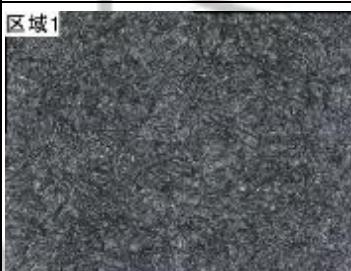
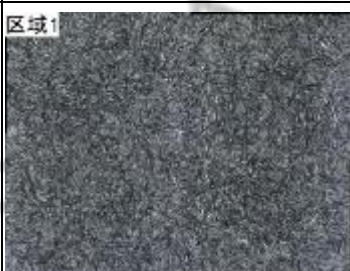
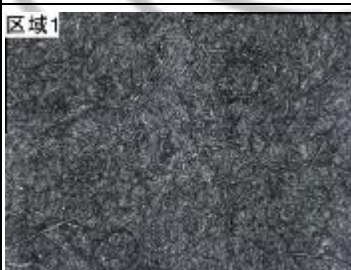
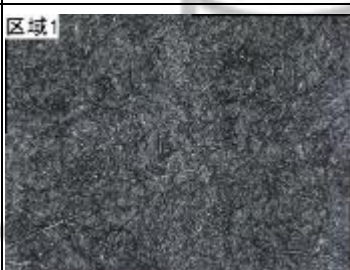
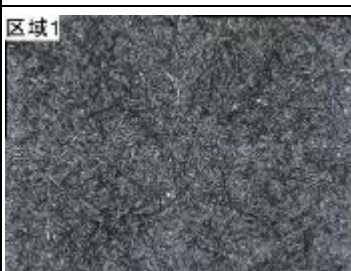
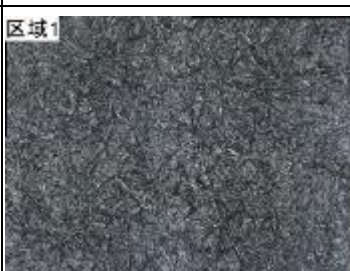
BE7		3.550		2.946	0.604
BE8		4.777		3.522	1.255

表 10 顯示 WE 組 QUV 老化 10 天前後粗糙度的變化，樣本 WE0 的差異是-0.059、WE1 是-0.892、WE2 是-1.46、WE3 是-0.453、WE4 是-0.387、WE5 是-0.121、WE6 是-0.575、WE7 是-0.493、WE8 是-0.197，其中 WE2 是-1.46 差距較明顯。從差異數值來看，有些呈現負值，應是熱度等因素導致紙張些微膨脹，雖然橡皮擦屑因為濾紙表面肌理比較粗糙確實有殘留，但差異性不大，其橡皮擦屑並沒有改變紙張表面粗糙度的狀況。

表 10. WE 系列樣本 QUV 老化 10 天前、後的粗糙度變化					
	QUV 老化前		QUV 老化 10 天後		
編號	圖示	Sa(μm)	圖示	Sa(μm)	差異(μm)
WE0		11.150		11.209	-0.059

WE1	区域1 	11.362	区域1 	12.254	-0.892
WE2	区域1 	10.404	区域1 	11.864	-1.46
WE3	区域1 	11.526	区域1 	11.979	-0.453
WE4	区域1 	11.138	区域1 	11.525	-0.387
WE5	区域1 	12.517	区域1 	12.638	-0.121
WE6	区域1 	11.860	区域1 	12.435	-0.575

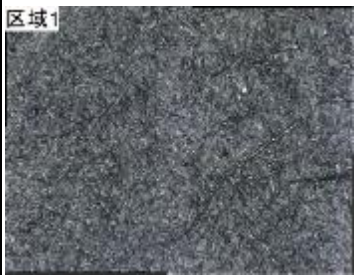
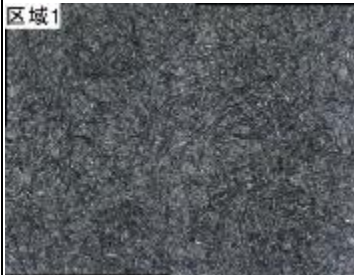
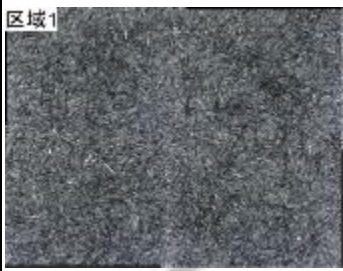
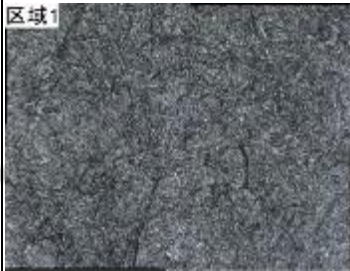
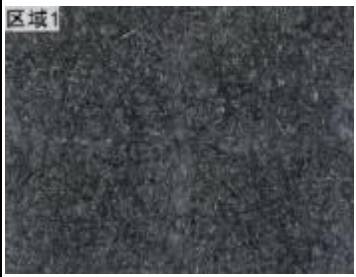
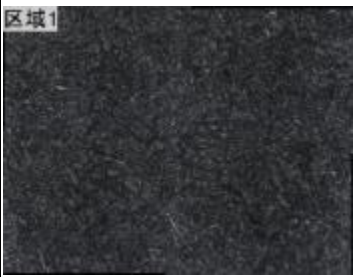
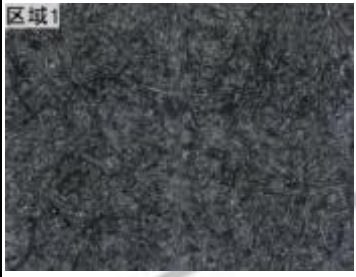
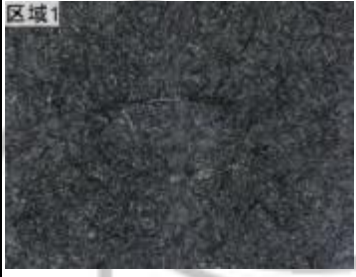
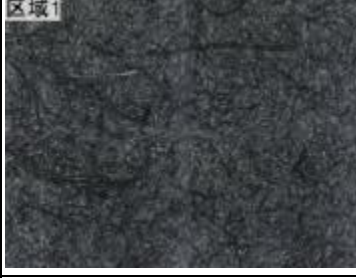
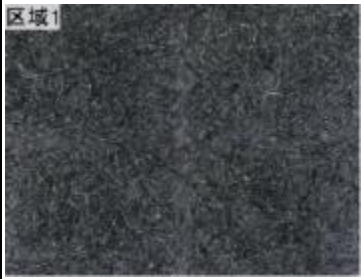
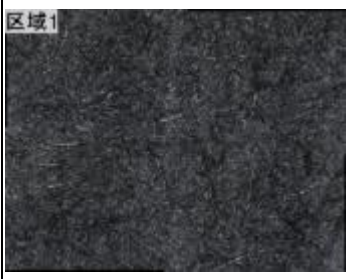
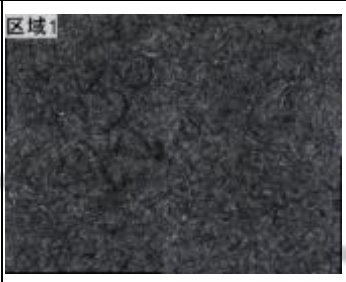
WE7		11.822		12.315	-0.493
WE8		11.525		11.662	-0.137

表 11 顯示 WE 組濕熱老化 10 天前後粗糙度的變化，，老化前後差異變化 BE0 的差異是 -0.705、WE1 是 0.135、WE2 是 0.174、WE3 是 -0.032、WE4 是 -0.11、WE5 是 -0.036、WE6 是 -0.877、WE7 是 -0.815、WE8 是 0.148，其中 WE2 的差距較明顯。有些老化前後差異還呈現負值，應該是濕度的變化導致紙張些微膨脹，雖然橡皮擦屑因為濾紙表面肌理比較粗糙確實有殘留，但橡皮擦屑並沒有改變紙張表面粗糙度的狀況。

表 11. WE 系列樣本濕熱老化 10 天前、後的粗糙度變化					
	濕熱老化前		濕熱老化 10 天後		
編號	圖示	Sa(μm)	圖示	Sa(μm)	差異(μm)
WE0		9.851		10.556	-0.705

WE1		10.454		10.319	0.135
WE2		12.158		11.984	0.174
WE3		11.749		11.781	-0.032
WE4		10.986		10.997	-0.11
WE5		12.059		12.095	-0.036
WE6		9.243		10.120	-0.877

WE7		9.900		10.715	-0.815
WE8		12.251		12.103	0.148

四、化學性質分析-pH 值

圖 28 顯示，WE0 的 pH 值經過 10 天 QUV 老化呈現是 7.84、WE1 是 7.7、WE2 是 7.68、WE3 是 7.67、WE4 是 7.72、WE5 是 7.77、WE6 是 7.85、WE7 是 7.72、WE8 是 7.77，其中，WE2 pH 值由 7.73 變為 7.68，樣本 WE3 pH 值由 7.71 變 7.67，變化較多，推測殘留橡皮擦屑較多以及橡皮擦本身在 QUV 老化下黃化較明顯的樣本，在 pH 值測試也有微量的降低，但這個數值差距非常的微小，近乎沒有變化。

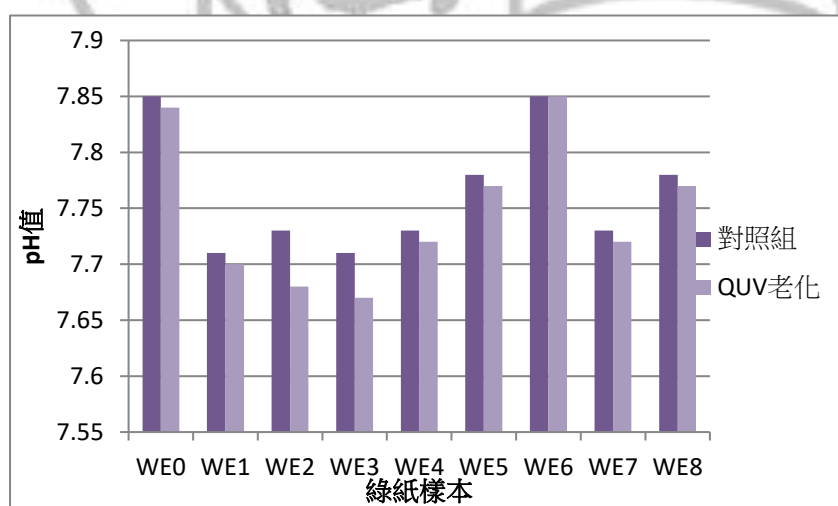


圖 28. WE 系列樣本 QUV 老化 10 天前、後 pH 值變化

圖 29 顯示，經過 10 天濕熱老化後，樣本 WE 組的 pH 值在 8 和 8.1 間變化，這個數值

差距非常的微小，近乎沒有變化。

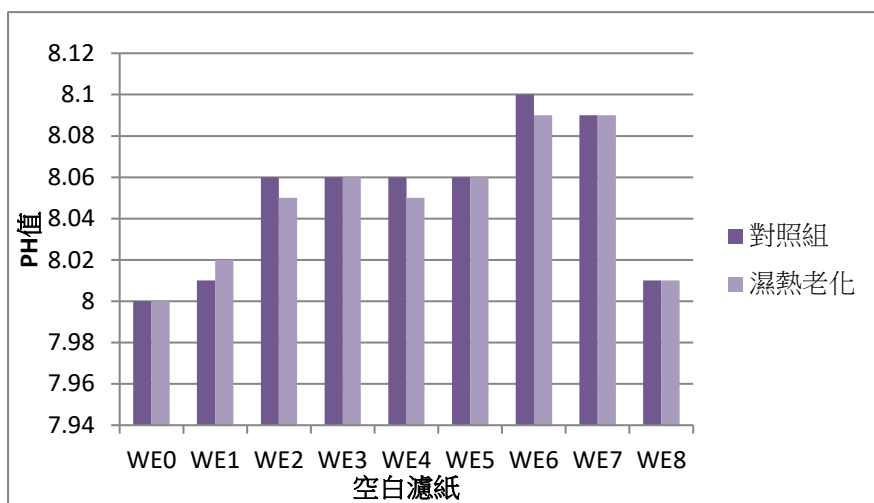


圖 29. WE 系列樣本濕熱老化 10 天前、後 pH 值變化

五、結構分析-掃描式電子顯微鏡(SEM)

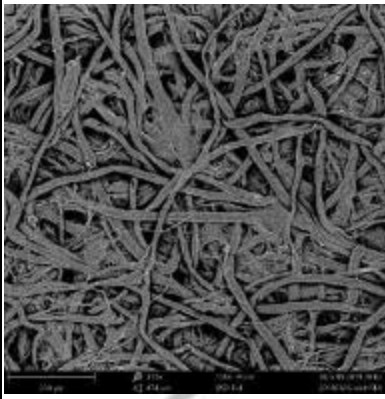
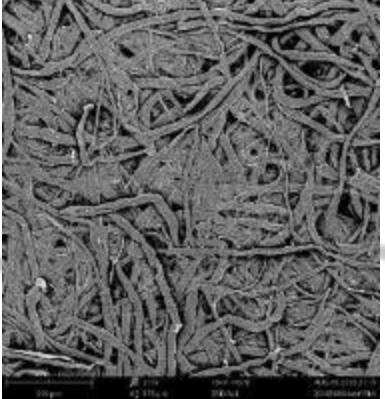
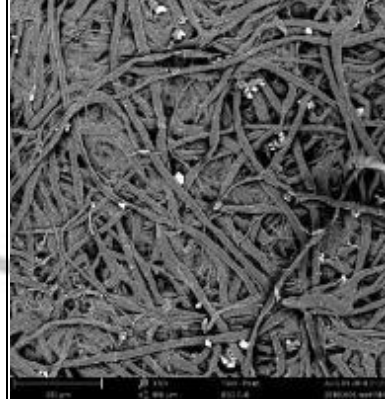
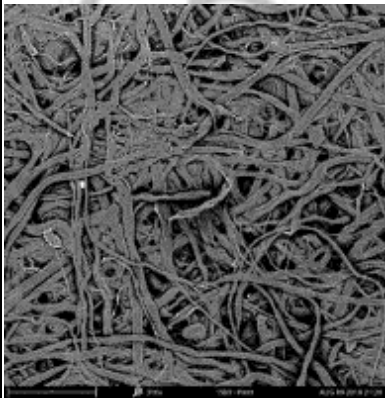
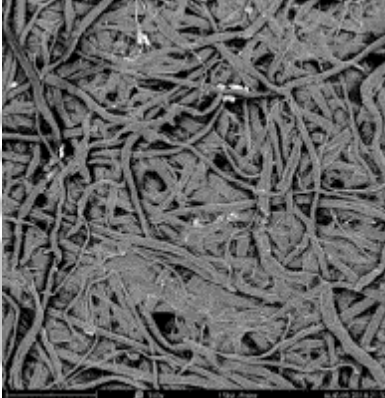
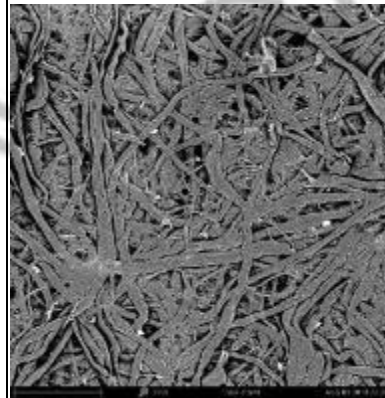
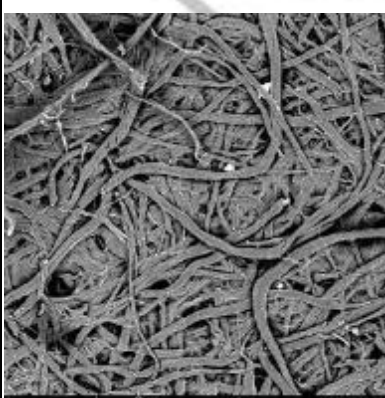
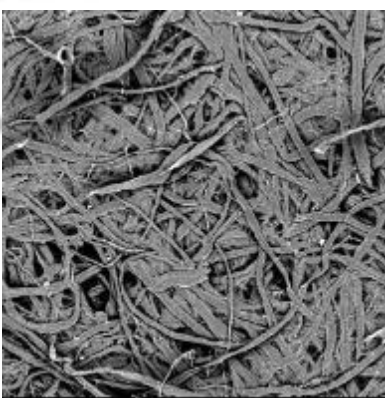
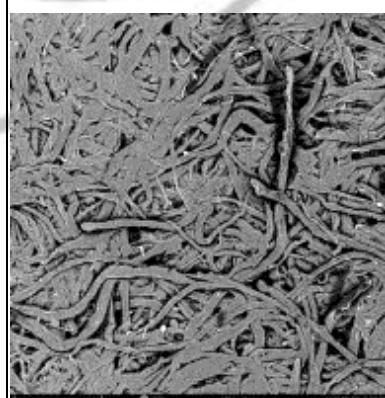
SEM 檢測橡皮擦的殘留度多寡和樣本老化後色差的相關性，以及跟橡皮擦老化狀況的關係，討論這三者間對紙張老化造成的影響。在之前的老化試驗，10 天 QUV 加速老化後，樣本 WE2、WE3 和 WE8 是全部樣品中變化最大的，與對照組相減後 ΔE^* 值是 0.37 左右。濕熱加速老化後與對照組相減，老化狀況最明顯的 WE2 ΔE^* 值是 0.36，WE3 ΔE^* 值是 0.25。橡皮擦老化狀況以 ΔE^* 值大到小比較，QUV 老化 3 號>2 號>6 號>5 號>8 號>7 號>4 號>1 號，濕熱老化 3 號>4 號>6 號>5 號>1 號>7 號>2 號>8 號。

表 12 顯示，空白濾紙橡皮擦擦拭前後的 SEM 照片，WE2 的白色顆粒最多，推測 2 號橡皮擦殘留度最多，WE4、WE5、WE6 的白色顆粒次之，其他殘留量都還好。QUV 老化時 WE2 跟 WE3 變色明顯，橡皮擦變色一樣最多，在 SEM 殘留度 SEM 殘留度 WE2>WE4>WE5>WE6>WE3。濕熱老化時 WE2 變色明顯 WE3 次之，橡皮擦 3 號變色明顯 4、5、6 號次之，在 SEM 殘留度 WE2>WE4>WE5>WE6。

橡皮擦在 QUV 及濕熱老化的劣化程度確實影響紙張顏色，殘留度多寡也有一些影響，但此次 SEM 檢測，因每個樣本殘留非均勻分布，且同樣本之間的殘留也不一致，故殘留度需

要再更深入的研究。

表 12. WE 系列樣本橡皮擦擦拭前、後的 SEM 照片

		
WE0	WE1	WE2
		
WE3	WE4	WE5
		
WE6	WE7	WE8

第五章 結論與建議

第一節 結論

研究結果顯示，根據此次 XRF 測試發現全部橡皮擦都有添加二氧化鈦作為調白劑，在成分相似的 3、4、7 號橡皮擦中 3 號老化狀況最明顯，推測除了塑化劑劣化因素外，安定劑、二氧化鈦跟碳酸鈣的多寡也是影響橡皮擦是否容易變色的原因之一，此次實驗沒有測試含量具體數字，所以只是推測添加含量應該會影響老化後顏色變化。

PVC 橡皮擦中 3、7 號橡皮擦 FTIR 光譜波峰相近，但因為 7 號橡皮擦在先前經濟部⁵⁹檢測時沒有塑化劑，所以 7 號的光譜出現的 2800-3000 cm^{-1} 區域非常類似於塑化劑脂肪族 CH 的部分比較讓人感到困惑。此外，非 PVC 橡皮擦的 2、5、6、8 號有相近的 FTIR 光譜，尤其是 5、8 號是一樣的波峰，可以確認的是，廠商並沒有在非 PVC 橡皮擦中添加塑化劑。

橡皮擦的老化狀況在 QUV 老化下劣化最明顯，3 劣化程度最明顯，成分相似的 4 號老化前顏色比 3 號白，在同是含硫 PVC 橡皮擦的狀況下，推測 4 號二氧化鈦跟碳酸鈣添加較多，故老化較不明顯。非 PVC 橡皮擦在 QUV 老化狀況下劣化最明顯，推測都含有對紫外光敏感的物質，除了 2 號非常明顯偏黃色，5、6、8 號只有微微變色，或許 2 號二氧化鈦添加太少，從老化狀況評估，3 號橡皮擦不適合用於清潔維護處理，因為老化狀況不穩定。

因為材料組成和特性對於文物保存維護也是一大重點，以橡皮擦這部份的來看，如果是 PVC 橡皮擦，1 號橡皮擦抗老化狀況良好，清潔力較好，缺點是光澤度改變比較多一點。

紙樣的研究結果顯示，光澤度以改變光澤越少越好，反之亦然，NTST 色差感知層級與硬度、清潔度、光澤度和西卡紙樣本粗糙度一起分析，橡皮擦的硬度、清潔度與粗糙度這三者的關連性，最堅硬及最柔軟的橡皮擦，清潔度是最好的但粗糙度差距也是最多的，但光澤

⁵⁹ 消委會 480 期《選擇》月刊

度的改變跟橡皮擦硬度沒有關係。

濾紙經過 10 天 QUV 加速老化後， ΔE^* 值樣本 WE2 及 WE3 和 WE8 變化是最多的， Δb^* 值都有些微的上升，橡皮擦屑會讓紙張偏黃。在濕熱加速老化 10 天這部分，老化狀況最明顯的 2 號和 3 號橡皮擦，其紙樣的 ΔE^* 值差距也是最大， Δb^* 值 WE3 變化比較明顯從 0 變為 1.24，整體來說，實驗組樣本雖然都有些微的差異，推測橡皮擦屑會讓紙張偏黃色，但只有 0~0.5 極微色差，橡皮擦處理確實會改變紙張表面顏色造成細微影響。

濾紙表面粗糙度 QUV 及濕熱兩種老化狀況，其中 WE2 差距較明顯，從差異數值來看有些呈現負值，應是熱度和濕度等因素導致紙張些微膨脹，雖然橡皮擦因為濾紙表面肌理比較粗糙確實有殘留，但差異性不大，除了色差之外，橡皮擦處理不會對紙張表面的肌理造成後續的影響。

pH 檢測結果顯示，樣本經過 QUV 和濕熱老化後，殘留度較多的樣本 pH 值比較有小幅度的下降，但因為其含量不多，故酸化也不明顯，至於前人研究文獻中提到，PVC 橡皮擦中添加的碳酸鈣可以中和 PVC 劣化產生的酸，因含量甚微難以發揮中和效果，就實驗結果無法明確知道是否有此狀況。

SEM 檢測橡皮擦殘留度多寡和樣本老化前後色差以及跟橡皮擦老化狀況的關係，殘留度多寡確實影響紙張顏色的變化，其中橡皮擦是否容易在 QUV 及濕熱老化下變色也有影響，但此次 SEM 檢測，因每個樣本殘留非均勻分布，且同樣本之間的殘留也非一致，故此殘留度需要再更深入的研究。

綜合以上，本論文針對橡皮擦的加速老化模擬試驗，由上述結果可以得知，在 PVC 橡皮擦的部分，1 號橡皮擦抗老化狀況都很良好，XRF 檢測結果可能未含硫化物，或許是不錯的選擇，但在使用時要考慮其磨擦度較大改變光澤度較多的狀況，7 號橡皮擦抗老化狀況還不

錯，磨擦度和光澤度中等，但在 XRF 檢測結果可能含有硫化物，QUV 下劣化較明顯，建議存放時放在櫃子裡避免 QUV 影響。從殘留度和粗糙度來看，2 號橡皮擦不太合適，因為硬度太堅硬除了可能傷害脆弱文物外，殘留度比較多，如果從老化狀況評估，3 號橡皮擦不適合使用於清潔維護處理，因為三種老化狀況下都不穩定。

在非 PVC 橡皮擦部分，8 號橡皮擦的 XRF 光譜顯示含有最少成分，含有氧化鋁、二氧化矽、碳酸鈣、二氧化鈦以及少量的鐵(Fe)，磨損度少，以修復最少干預為原則，此為能適用於乾式清潔的產品，但非 PVC 橡皮擦是新產品，廠商還再在研發當中成分應會再改變。

此外，鄰苯二甲酸酯類塑化劑會與 PS 和 SAN 產生移行現象，可能會導致這類材質的劣化，為避免移行性及環保等考量下，非 PVC 橡皮擦適合用在 PS 和 SAN 製作的文物。



第二節 後續研究

橡皮擦等乾式清潔材料在保存科學領域種還有許多值得深入探討的部份，本論文受限於時間及人力等因素，還有其他許多值得研究的議題，以下為經過這次實驗中歸納出幾種後續可以繼續探討的議題。

- 1、本次實驗的樣本為黑色西卡紙和定性濾紙，其他種類的紙材或是相片紙等樣本可做比較和分析。
- 2、非 PVC 橡皮擦雖然 FTIR 波峰比 PVC 橡皮擦單純，但在商品標示不明狀況下，很難做一些使用，非 PVC 橡皮擦的成分，及殘留物的危害還有及老化性質等，都可以再深入研究跟探討。
- 3、關於各橡皮擦的有機和無機添加物，除了 XRF、FTIR 之外，可再增加橡皮擦粉屑且使用不同儀器再進行詳細檢測。
- 4、可以探討橡皮擦不同型態對文物的影響，例如不同橡皮擦的粉末運用於文物修復的適用性比較。
- 5、橡皮擦使用不同的處理物質，例如不同橡皮擦清除灰塵的比較，以及清潔膠漬的比較等等。
- 6、橡皮擦會隨著廠商的研發而改變配方，故需要定期進行橡皮擦對紙張影響的研究，以利文物用橡皮擦乾式清潔時的安全性。

參考資料

中文專書

1. 《小錯誤大發明.40個發明的小故事》，健行文化出版. 2001。ISBN9575608518

中文期刊論文

1. 筆擦 標準 97757_CNS6856-zh_TW
2. 橡皮生產方法及橡皮組合物 CN101564960B，須田凱
3. 富樂夢 專利書 <https://patents.google.com/patent/CN1611374A/zh> CN1611374 A
4. 消委會 480 期《選擇》月刊
5. 姜文忠，2016，〈學生橡皮擦鄰苯二甲酸酯類風險研究〉，泰州市衛生監督所，江蘇，《中國衛生監督雜誌》，05 期 (2016 / 12 / 05)，P489 – 495
6. 李正義，張金龍，殷樂，等。氣相色譜-質譜法測定橡皮擦中五種鄰苯二甲酸酯增塑劑含量[J]。分析科學學報，2017，33(1):52—56。
7. 陳建軍，刁春霞，孫玉萍，等。學生用橡皮擦鄰苯二甲酸脂類塑化劑含量調查[J]。中國學校衛生
8. 鉛筆字跡專用橡皮擦 CN106117903A <https://patents.google.com/patent/CN106117903A/zh>
9. 一種具有抗菌功能的環保橡皮擦及其製備方法
<https://patents.google.com/patent/CN105801938B/zh>
10. 自製橡皮擦的粘土及其製備方法 專利書 CN106751143A
11. 食品藥物研究年報. 3 : 8-14 2012 Ann. Rept. Food Drug Res. 3 : 8-14 2012

西文期刊論文

1. WalterC.McCrone Associates, “The Report on Testing Book Cleaning Materials,” Report to theLibrary Technology Project No. 50, July, 1966, unpublished mss.
http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/pcc/14_surface-cleaning.pdf
2. McInnis, Kerry, “Two Studies in Paper Conservation Practice,” *I.C.C.M. Bulletin*, 6, June, 1980.

3. Moffat, E. Ottawa, Canada, 1981, CCI Report ARS 1738.
4. Paciorek, K. L. *J. Appl. Polym. Sci.* 1974, 18, 3723-2729.
5. McCrone, W. C., unpublished, cited in Pearlstein, 1982.
6. Pearlstein, E. J.; Cabelli, D.; King, A.; Indictor, N. *JAIC*, 1982, 22, 1-12.
7. Estabrook, E. *JAIC*, 1989, 28, 79-96.
8. Messier, P.; Vitale, T. *JAIC*, 1994, 33, 257-278.
9. ANSI. 1994. *Photographic Activity Test*, ANSI IT9.16-1993. New York : American National Standards Institute.
10. Sterlini, P. *Paper Conservator News*, 1995, 76, 3-7.
11. Burge, D., Image Permanence Institute, *personal communication*, 1996.
12. Brenda M. Bernier, 1997, *Topics in Photographic Preservation, Volume 7*, 10-18
13. Skoog et al., 1998, pp. 420-421
14. Sara A. Moy, *Objects Specialty Group Postprints, Volume Eleven*, 2004, 29-42
15. Ronald P. D'Amelia, Samantha Gentile, William F. Nirode, Ling Huang 世界化學教育雜誌 2016, 4 (2), 25-31 doi : 10.12691 / wjce-4-2-1

網路資料

1. 資料來源:< <http://www.fpc.com.tw/fpcw/index.php?op=proL&f=1&s=6> , 臺灣塑膠工業股份有限公司>參閱日期：2018/10/12
2. 資料來源:< <https://www.enchuan.com.tw/polystyrene.html> , 英全化學工業股份有限公司>參閱日期：2018/10/12
3. 資料來源:< <https://baike.baidu.com/item/苯乙烯-丙烯腈共聚物>>參閱日期：2019/02/20
4. 資料來源:< <https://www.superlab.com.tw/s104/> , 台美檢驗科技有限公司>參閱日期：2019/02/20
5. 資料來源:< <http://psdn.pidc.org.tw/ike/doclib/2003/2003doclib/2003ike13-0/2003ike13-0-307.asp> , 塑膠e學苑 >參閱日期：2019/02/20

6. 資料來源:<<https://zh.wikipedia.org/wiki/二噁英>>參閱日期：2019/02/20
7. 資料來源:<<https://www.hhc-tpe.com/zh-TW/applications.aspx>>，禾祥禎有限公司>參閱日期：2019/02/20
8. 資料來源:< <https://baike.baidu.com/item/SBS/798553>>參閱日期：2018/10/12
9. 資料來源:< <https://baike.baidu.com/item/TPR材料>>參閱日期：2018/10/12
10. 資料來源:<<http://dampal.pixnet.net/blog/post/29486842>-小橡皮擦裡的大學問之一---談橡皮擦的誕生及其製造過程>參閱日期：2018/10/12
11. 資料來源:<https://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthlyMean/Taiwan_rh.htm交通部中央氣象局>參閱日期：2018/10/12
12. 資料來源：<<https://www.rco123.com/about.asp?in=252>>參閱日期：2018/10/12
13. 資料來源：<<https://www.nbchao.com/k/180/>>參閱日期：2018/10/12
14. 資料來源：<<http://www.chuanhua.com.tw/gloss.htm>>參閱日期：2018/10/12
15. 資料來源：<<http://www.kohsieh.com.tw/ver2/newfile173.html>>參閱日期：2018/10/12
16. 資料來源：<<https://www.keyence.com.tw/ss/products/microscope/vkx/spec/>>參閱日期：2018/10/12
17. 資料來源：<http://www.jyecheng.com.tw/new/gs_709n.htm>參閱日期：2018/10/12
18. 資料來源:<<https://zh.wikipedia.org/wiki/掃描式電子顯微鏡>>參閱日期：2018/12/01
19. 資料來源:< <https://wiki.mbalib.com/zh-tw/熱穩定劑>> 參閱日期：2019/03/01
20. 資料來源:< <http://psdn.pidc.org.tw/ike/doclib/2003/2003doclib/2003ike25-0/2003ike25-0-307.asp>，塑膠e學苑> 參閱日期：2019/03/01
21. 資料來源:<<https://nanoray.com.tw/product/36> 奈瑞科學有限公司> 參閱日期：2019/03/01

附錄 I 樣本色差數據

橡皮擦 QUV 老化實驗組 60 °C/0.89w/m

編號	老化天數	L*	a*	b*	ΔL	Δa*	Δb*	ΔE*
WE1	DAY 0	93.35	-0.13	2.66	-	-	-	-
	DAY 7	93.41	-0.41	3.63	0.05(0.04)	-0.27(0.06)	0.97(0.05)	1.01
WE2	DAY 0	90.71	-0.22	4.15	-	-	-	-
	DAY 7	87.82	-2.52	26.98	-2.89(0.08)	-2.30(0.01)	22.83(0.11)	23.13
WE3	DAY 0	85.55	-0.91	-3.08	-	-	-	-
	DAY 7	80.76	-0.44	22.29	-4.78(0.21)	0.47(0.12)	25.36(0.12)	25.81
WE4	DAY 0	94.28	-0.87	4.42	-	-	-	-
	DAY 7	91.33	-0.48	8.28	-2.96(0.29)	0.40(0.04)	3.86(0.10)	4.88
WE5	DAY 0	92.16	-0.56	2.72	-	-	-	-
	DAY 7	89.80	-2.65	16.64	-2.36(0.11)	-2.08(0.05)	13.92(0.04)	14.27
WE6	DAY 0	92.31	-0.51	2.70	-	-	-	-
	DAY 7	90.80	-2.68	17.35	-1.51(0.03)	-2.17(0.02)	14.65(0.05)	14.89
WE7	DAY 0	93.84	-0.21	3.40	-	-	-	-
	DAY 7	89.40	0.02	11.92	-4.44(0.04)	0.23(0.01)	8.52(0.10)	9.61
WE8	DAY 0	92.46	-0.67	3.22	-	-	-	-
	DAY 7	90.85	-2.62	15.83	-1.61(0.59)	-1.95(0.07)	12.61(0.36)	12.86

橡皮擦乾熱老化 100°C實驗組

編號	老化天數	L*	a*	b*	ΔL	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
WE1	DAY 0	93.35	-0.13	2.66	-	-	-	-
	DAY 7	93.39	-0.36	3.01	0.03(0.05)	-0.22(0.06)	0.35(0.03)	0.41(0.02)
WE2	DAY 0	90.71	-0.22	4.15	-	-	-	-
	DAY 7	89.87	-0.36	5.97	-0.84(0.09)	-0.14(0.02)	1.82(0.01)	2.01(0.04)
WE3	DAY 0	85.55	-0.91	-3.08	-	-	-	-
	DAY 7	80.06	2.98	11.04	-5.49(0.08)	3.89(0.02)	14.12(0.06)	15.64(0.07)
WE4	DAY 0	94.28	-0.87	4.42	-	-	-	-
	DAY 7	93.60	-0.50	5.12	-0.69(0.15)	0.38(0.02)	0.70(0.03)	1.05(0.11)
WE5	DAY 0	92.16	-0.56	2.72	-	-	-	-
	DAY 7	88.72	-0.50	5.12	-3.44(1.85)	0.07(0.07)	2.40(0.01)	4.19(1.55)
WE6	DAY 0	92.31	-0.51	2.70	-	-	-	-
	DAY 7	90.61	-0.53	3.39	-1.70(0.06)	-0.03(0.01)	0.69(0.01)	1.84(0.05)
WE7	DAY 0	93.84	-0.21	3.40	-	-	-	-
	DAY 7	93.73	-0.20	4.33	-0.11(0.14)	0.00(0.01)	0.93(0.10)	0.93(0.12)
WE8	DAY 0	92.46	-0.67	3.22	-	-	-	-
	DAY 7	91.20	-0.34	4.30	-1.26(0.62)	0.33(0.01)	1.08(0.02)	1.70(0.42)

橡皮擦濕熱老化實驗組 80°C、80%R.H

編號	老化天數	L*	a*	b*	ΔL	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
WE1	DAY 0	93.35	-0.13	2.66	-	-	-	-
	DAY 7	92.87	-0.13	3.81	-0.48(0.07)	0.00(0.06)	1.15(0.13)	1.25(0.14)
WE2	DAY 0	90.71	-0.22	4.15	-	-	-	-
	DAY 7	91.44	-0.51	4.53	0.73(0.11)	-0.28(0.34)	0.38(0.06)	0.87(0.15)
WE3	DAY 0	85.55	-0.91	-3.08	-	-	-	-
	DAY 7	85.08	-1.09	4.91	-0.47(0.13)	-0.18(0.04)	7.98(0.06)	8.00(0.06)
WE4	DAY 0	94.28	-0.87	4.42	-	-	-	-
	DAY 7	93.18	-0.89	6.68	-1.10(0.18)	-0.02(0.02)	2.26(0.05)	2.51(0.04)
WE5	DAY 0	92.16	-0.56	2.72	-	-	-	-
	DAY 7	90.33	-0.70	4.11	-1.83(0.17)	-0.13(0.06)	1.39(0.03)	2.30(0.14)
WE6	DAY 0	92.31	-0.51	2.70	-	-	-	-
	DAY 7	91.67	-0.44	5.06	-0.64(0.13)	0.07(0.03)	2.36(0.15)	2.45(0.17)
WE7	DAY 0	93.84	-0.21	3.40	-	-	-	-
	DAY 7	93.30	-0.22	4.49	-0.54(0.09)	-0.02(0.01)	1.09(0.08)	1.22(0.05)
WE8	DAY 0	92.46	-0.67	3.22	-	-	-	-
	DAY 7	92.67	-0.45	4.03	0.21(0.47)	0.22(0.02)	0.81(0.17)	0.86(0.29)

紙張 QUV 老化實驗組 60 °C/0.89w/m

編號	老化天數	L*	a*	b*	ΔL	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
WE0	DAY 0	93.90	0.47	0.09	-	-	-	-
	DAY 1	93.85	0.43	0.11	0.05(0.05)	0.03(0.04)	0.03(0.02)	0.07(0.06)
	DAY 3	93.85	0.39	0.24	0.05(0.05)	0.08(0.06)	0.15(0.06)	0.18(0.04)
	DAY 5	93.78	0.31	0.24	-0.11(0.1)	0.16(0.02)	0.16(0.06)	0.25(0.10)
	DAY 7	93.77	0.31	0.25	-0.12(0.1)	0.16(0.02)	0.17(0.06)	0.26(0.15)
	DAY 10	93.77	0.31	0.27	0.13(0.11)	0.16(0.02)	0.18(0.06)	0.27(0.16)
WE1	DAY 0	94.23	0.38	0.07	-	-	-	-
	DAY 1	94.17	0.36	0.20	0.06(0.09)	0.02(0.07)	0.13(0.12)	0.15(0.08)
	DAY 3	94.16	0.34	0.61	0.08(0.09)	0.04(0.06)	0.54(0.07)	0.55(0.15)
	DAY 5	94.15	0.30	0.62	0.01(0.08)	0.08(0.06)	0.55(0.07)	0.57(0.32)
	DAY 7	94.11	0.30	0.64	0.12(0.08)	0.08(0.05)	0.57(0.08)	0.59(0.31)
	DAY 10	94.09	0.30	0.65	0.14(0.08)	0.08(0.06)	0.58(0.08)	0.60(0.32)
WE2	DAY 0	94.24	0.37	0.17	-	-	-	-
	DAY 1	94.11	0.36	0.46	0.12(0.13)	0.13(0.23)	0.29(0.10)	0.32(0.06)
	DAY 3	94.09	0.36	0.69	0.14(0.10)	0.19(0.36)	0.52(0.09)	0.54(0.19)
	DAY 5	94.06	0.33	0.72	0.17(0.13)	0.19(0.40)	0.55(0.10)	0.58(0.34)
	DAY 7	94.02	0.32	0.74	0.22(0.15)	0.20(0.41)	0.57(0.10)	0.61(0.37)
	DAY 10	93.98	0.32	0.75	0.26(0.14)	0.20(0.42)	0.58(0.10)	0.64(0.39)
WE3	DAY 0	94.10	0.44	0.07	-	-	-	-
	DAY 1	94.02	0.38	0.31	0.08(0.06)	0.03(0.16)	0.24(0.03)	0.26(0.02)
	DAY 3	93.95	0.38	0.58	0.15(0.04)	0.13(0.32)	0.51(0.02)	0.54(0.12)
	DAY 5	93.91	0.36	0.60	0.19(0.10)	0.11(0.35)	0.53(0.03)	0.57(0.26)
	DAY 7	93.87	0.35	0.65	0.23(0.15)	0.11(0.35)	0.58(0.06)	0.63(0.25)

	DAY 10	93.86	0.35	0.66	0.24(0.17)	0.11(0.37)	0.59(0.05)	0.64(0.31)
WE4	DAY 0	94.20	0.41	0.14	-	-	-	-
	DAY 1	94.19	0.37	0.23	0.01(0.01)	0.01(0/08)	0.09(0.05)	0.10(0.03)
	DAY 3	94.18	0.37	0.55	0.01(0.01)	0.09(0.21)	0.41(0.02)	0.41(0.08)
	DAY 5	94.18	0.29	0.56	0.02(0.02)	0.09(0.30)	0.4(0.03)2	0.43(0.25)
	DAY 7	94.16	0.35	0.57	0.04(0.01)	0.10(0.31)	0.43(0.03)	0.43(0.24)
	DAY 10	94.15	0.36	0.57	0.05(0.02)	0.10(0.31)	0.43(0.03)	0.56(0.25)
WE5	DAY 0	94.27	0.37	0.11	-	-	-	-
	DAY 1	94.27	0.34	0.24	0.00(0)	0.01(0.09)	0.13(0.02)	0.13(0.02)
	DAY 3	94.25	0.33	0.53	0.02(0.01)	0.12(0.27)	0.42(0.02)	0.43(0.07)
	DAY 5	94.22	0.33	0.57	0.04(0.01)	0.13(0.30)	0.46(0.04)	0.46(0.23)
	DAY 7	94.20	0.33	0.64	0.06(0.01)	0.14(0.32)	0.53(0.06)	0.54(0.31)
	DAY 10	94.19	0.33	0.65	0.08(0.01)	0.14(0.32)	0.54(0.07)	0.55(0.33)
WE6	DAY 0	94.27	0.39	0.07	-	-	-	-
	DAY 1	94.26	0.35	0.23	0.01(0.01)	0.01(0.10)	0.17(0.04)	0.17(0.04)
	DAY 3	94.25	0.34	0.53	0.02(0.01)	0.09(0.26)	0.46(0.06)	0.46(0.10)
	DAY 5	94.23	0.33	0.54	0.04(0.02)	0.09(0.27)	0.48(0.06)	0.48(0.25)
	DAY 7	94.21	0.30	0.68	0.06(0.03)	0.10(0.35)	0.61(0.09)	0.62(0.28)
	DAY 10	94.20	0.30	0.69	0.07(0/04)	0.11(0.36)	0.63(0.10)	0.64(0.35)
WE7	DAY 0	94.13	0.43	0.03	-	-	-	-
	DAY 1	94.13	0.37	0.19	0.00(0.01)	0.00(0.13)	0.12(0.08)	0.17(0.02)
	DAY 3	94.06	0.32	0.54	0.08(0.11)	0.06(0.32)	0.48(0.08)	0.53(0.05)
	DAY 5	94.04	0.25	0.60	0.09(0.10)	0.07(0.43)	0.53(0.02)	0.61(0.30)
	DAY 7	94.02	0.25	0.64	0.11(0.11)	0.09(0.47)	0.57(0.03)	0.64(0.34)
	DAY 10	94.00	0.25	0.65	0.13(0.14)	0.10(0.47)	0.58(0.03)	0.66(0.34)

WE8	DAY 0	94.24	0.38	0.03	-	-	-	-
	DAY 1	94.23	0.34	0.22	-0.01(0)	0.02(0.12)	0.19(0.05)	0.20(0.06)
	DAY 3	94.21	0.34	0.55	0.03(0.01)	0.12(0.28)	0.52(0.07)	0.53(0.11)
	DAY 5	94.18	0.28	0.59	0.06(0.02)	0.06(0.36)	0.57(0.08)	0.58(0.27)
	DAY 7	94.17	0.23	0.64	0.07(0.02)	0.09(0.41)	0.61(0.04)	0.63(0.33)
	DAY 10	94.17	0.23	0.65	0.07(0.03)	0.10(0.42)	0.62(0.03)	0.64(0.36)



紙張濕熱老化實驗組 80°C、80%R.H

編號	老化天數	L*	a*	b*	ΔL	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
WE0	DAY 0	94.99	0.24	-0.38	-	-	-	-
	DAY 1	94.73	0.23	0.04	0.26(0.21)	0.01(0.03)	0.42(0.08)	0.50(0.05)
	DAY 3	94.91	0.31	0.59	0.08(0.32)	0.07(0.05)	0.97(0.14)	0.97(0.14)
	DAY 5	94.75	0.32	0.60	0.06(0.16)	0.08(0.04)	0.98(0.14)	1.01(0.11)
	DAY 7	94.68	0.32	0.61	0.30(0.13)	0.08(0.05)	0.99(0.13)	1.04(0.09)
	DAY 10	94.60	0.31	0.61	0.38(0.12)	0.07(0.06)	0.99(0.13)	1.07(0.10)
WE1	DAY 0	95.29	0.21	-0.20	-	-	-	-
	DAY 1	94.71	0.24	0.17	0.58(0.05)	0.04(0.01)	0.37(0.21)	0.69(0.07)
	DAY 3	94.73	0.27	0.48	0.56(0.15)	0.06(0.03)	0.68(0.09)	0.88(0.11)
	DAY 5	94.74	0.29	0.62	0.01(0.12)	0.08(0.03)	0.91(0.05)	0.99(0.13)
	DAY 7	94.69	0.31	0.64	0.60(0.03)	0.10(0.04)	0.97(0.11)	1.03(0.11)
	DAY 10	94.63	0.33	0.65	0.66(0.06)	0.12(0.06)	1.11(0.12)	1.08(0.11)
WE2	DAY 0	95.47	0.22	-0.13	-	-	-	-
	DAY 1	94.75	0.22	0.01	0.72(0.19)	0.12(0.19)	0.14(0.32)	0.73(0.15)
	DAY 3	94.73	0.28	0.54	0.74(0.07)	0.23(0.30)	0.67(0.30)	1.00(0.25)
	DAY 5	94.70	0.33	0.72	0.77(0.07)	0.32(0.37)	0.82(0.18)	1.15(0.22)
	DAY 7	94.62	0.34	0.74	0.85(0.11)	0.34(0.37)	0.84(0.18)	1.22(0.24)
	DAY 10	94.36	0.40	0.75	1.11(0.45)	0.38(0.34)	0.86(0.21)	1.43(0.49)
WE3	DAY 0	94.95	0.25	-0.25	-	-	-	-
	DAY 1	94.80	0.29	0.42	0.15(0.05)	0.22(0.33)	0.58(0.05)	0.69(0.06)
	DAY 3	94.69	0.31	0.93	0.25(0.03)	0.36(0.52)	1.18(0.23)	1.21(0.22)
	DAY 5	94.61	0.35	0.94	0.34(0.04)	0.41(0.51)	1.19(0.21)	1.25(0.20)
	DAY 7	94.57	0.38	0.96	0.38(0.06)	0.43(0.51)	1.21(0.20)	1.27(0.20)

	DAY 10	94.54	0.42	0.99	0.40(0.07)	0.48(0.53)	1.24(0.17)	1.32(0.17)
WE4	DAY 0	95.11	0.24	-0.11	-	-	-	-
	DAY 1	94.83	0.27	0.17	0.28(0.27)	0.16(0.27)	0.28(0.46)	0.40(0.25)
	DAY 3	94.74	0.33	0.41	0.29(0.29)	0.04(0.04)	0.53(0.07)	0.65(0.10)
	DAY 5	94.70	0.34	0.56	0.41(0.20)	0.25(0.29)	0.67(0.08)	0.79(0.06)
	DAY 7	94.65	0.37	0.57	0.46(0.20)	0.28(0.28)	0.68(0.09)	0.83(0.06)
	DAY 10	94.60	0.39	0.57	0.52(0.16)	0.28(0.28)	0.69(0.09)	0.95(0.07)
WE5	DAY 0	95.16	0.23	-0.17	-	-	-	-
	DAY 1	94.98	0.28	0.25	0.18(0.06)	0.20(0.25)	0.42(0.10)	0.46(0.08)
	DAY 3	94.89	0.30	0.51	0.27(0.05)	0.25(0.29)	0.68(0.12)	0.74(0.10)
	DAY 5	94.71	0.31	0.57	0.45(0.10)	0.36(0.45)	0.74(0.13)	0.87(0.14)
	DAY 7	94.60	0.33	0.64	0.56(0.18)	0.38(0.45)	0.81(0.14)	0.99(0.06)
	DAY 10	94.47	0.35	0.65	0.69(0.12)	0.39(0.45)	0.82(0.13)	1.08(0.07)
WE6	DAY 0	95.04	0.23	-0.23	-	-	-	-
	DAY 1	94.85	0.30	0.35	0.19(0.19)	0.20(0.25)	0.58(0.08)	0.61(0.03)
	DAY 3	94.77	0.33	0.50	0.27(0.17)	0.25(0.26)	0.73(0.18)	0.79(0.10)
	DAY 5	94.69	0.35	0.64	0.35(0.17)	0.30(0.32)	0.87(0.18)	0.95(0.10)
	DAY 7	94.63	0.36	0.68	0.41(0.12)	0.34(0.37)	0.91(0.12)	1.00(0.06)
	DAY 10	94.56	0.37	0.69	0.48(0.12)	0.35(0.38)	0.92(0.13)	1.05(0.07)
WE7	DAY 0	94.91	0.26	-0.45	-	-	-	-
	DAY 1	94.45	0.28	0.16	0.46(0.34)	0.19(0.28)	0.39(0.15)	0.76(0.33)
	DAY 3	94.71	0.31	0.46	0.20(0.16)	0.31(0.44)	0.69(0.13)	0.94(0.10)
	DAY 5	94.68	0.33	0.48	0.23(0.16)	0.33(0.44)	0.71(0.14)	0.96(0.09)
	DAY 7	94.60	0.34	0.48	0.31(0.11)	0.33(0.44)	0.71(0.13)	0.99(0.09)
	DAY 10	94.47	0.35	0.49	0.43(0.22)	0.34(0.44)	0.72(0.13)	1.04(0.07)

WE8	DAY 0	94.98	0.25	-0.19	-	-	-	-
	DAY 1	94.84	0.29	0.71	0.14(0.16)	0.22(0.32)	0.91(0.30)	0.92(0.31)
	DAY 3	94.76	0.31	0.74	0.22(0.16)	0.25(0.32)	0.93(0.31)	0.96(0.30)
	DAY 5	94.71	0.32	0.74	0.27(0.18)	0.26(0.32)	0.94(0.31)	0.98(0.29)
	DAY 7	94.67	0.33	0.79	0.31(0.20)	0.28(0.33)	0.98(0.32)	1.03(0.30)
	DAY 10	94.62	0.35	0.79	0.36(0.18)	0.30(0.32)	0.99(0.32)	1.05(0.28)



附錄 II XRF 光譜

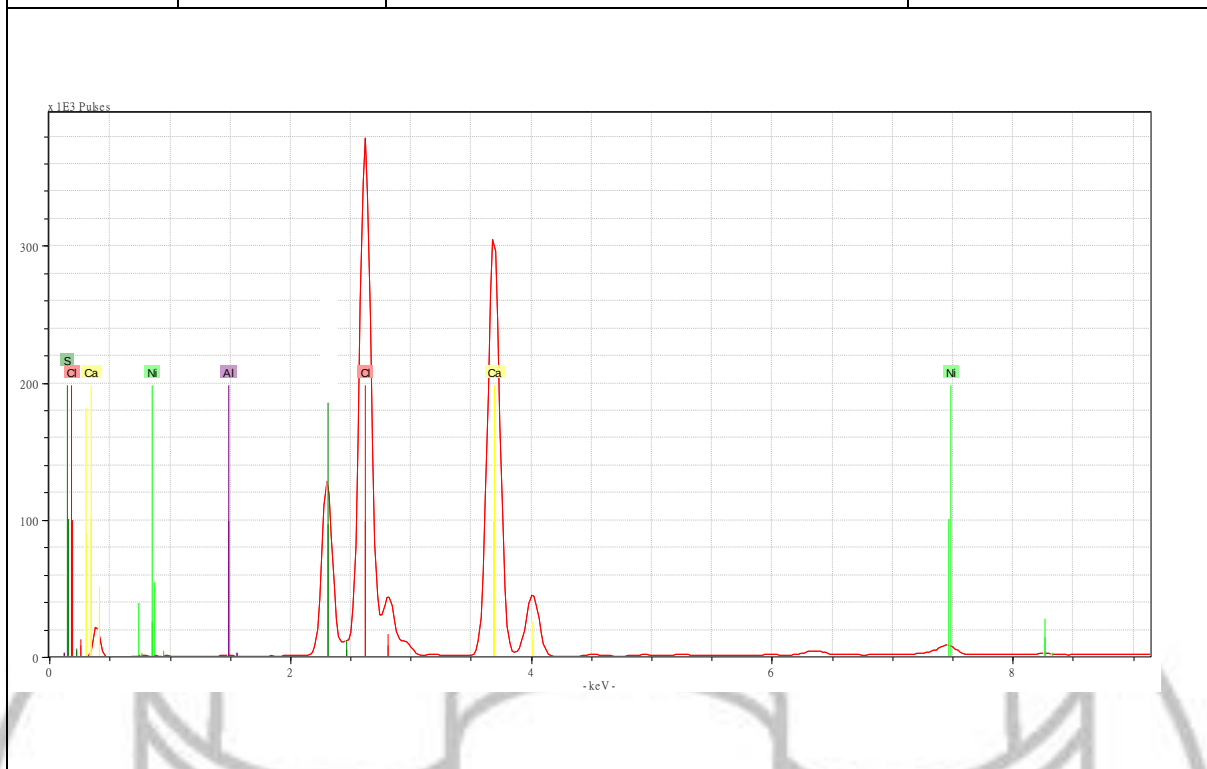
橡皮擦在老化前與老化 7 天後的 XRF 光譜

(QUV 老化:60°C 溼熱老化：80°C，80%RH；乾熱老化：100°C)

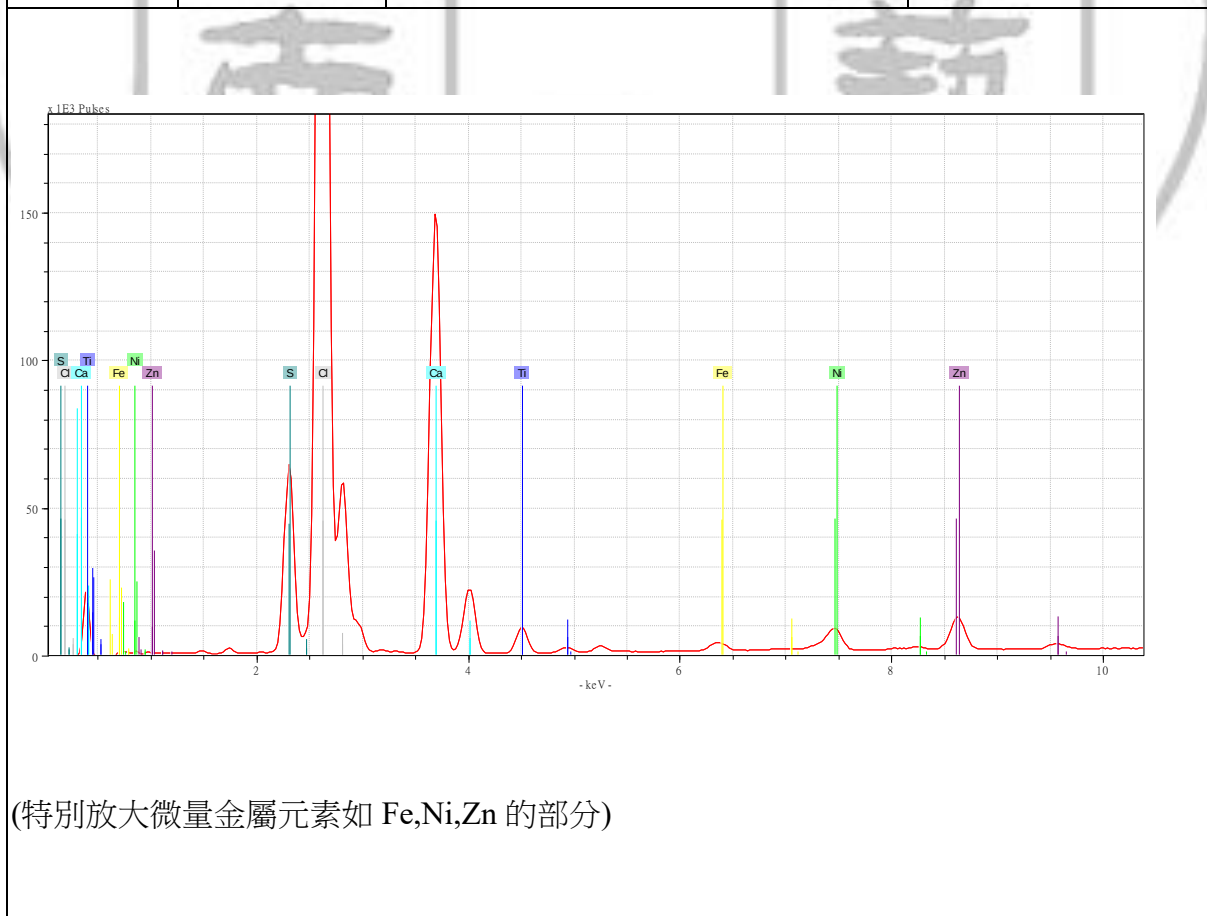
老化類型	樣品編號	產品名稱	類型
未老化	1 號橡皮擦	A 廠牌-1	PVC

未老化	2 號橡皮擦	A 廠牌-2	合成橡膠 TPR
-----	--------	--------	----------

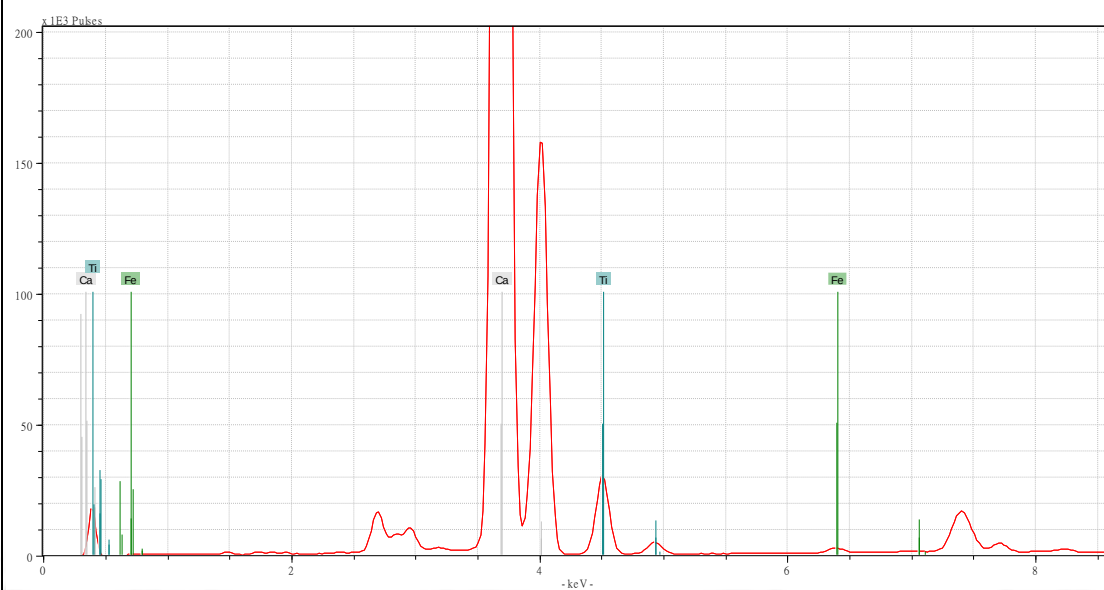
未老化	3 號橡皮擦	B 廠牌-1	PVC
-----	--------	--------	-----



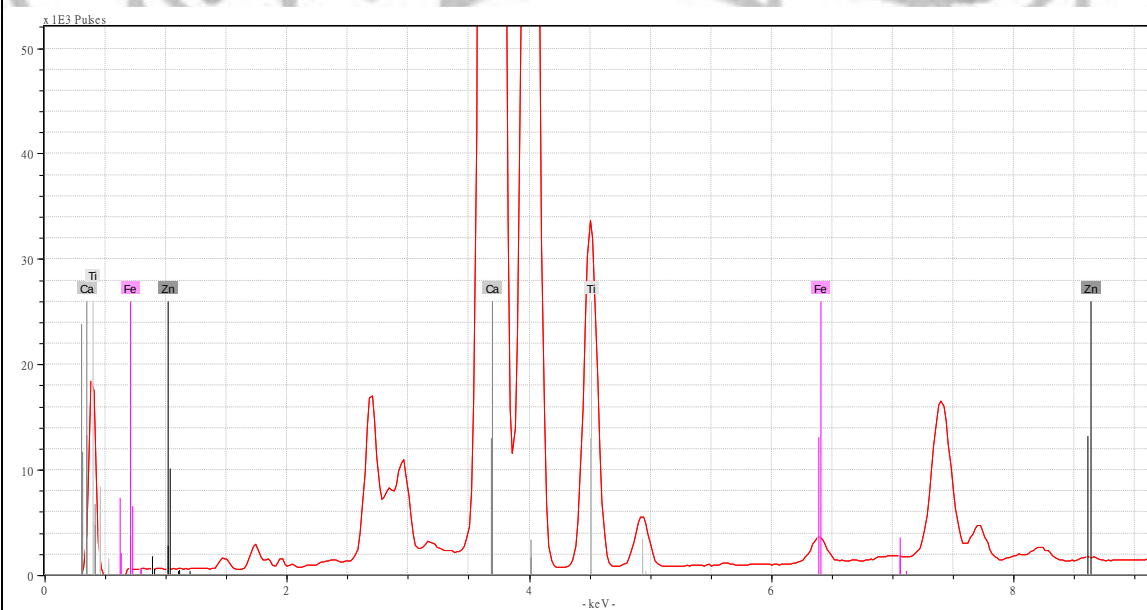
未老化	4 號橡皮擦	B 廠牌-2	PVC
-----	--------	--------	-----



未老化	5 號橡皮擦	C 廠牌-1	合成橡膠
-----	--------	--------	------

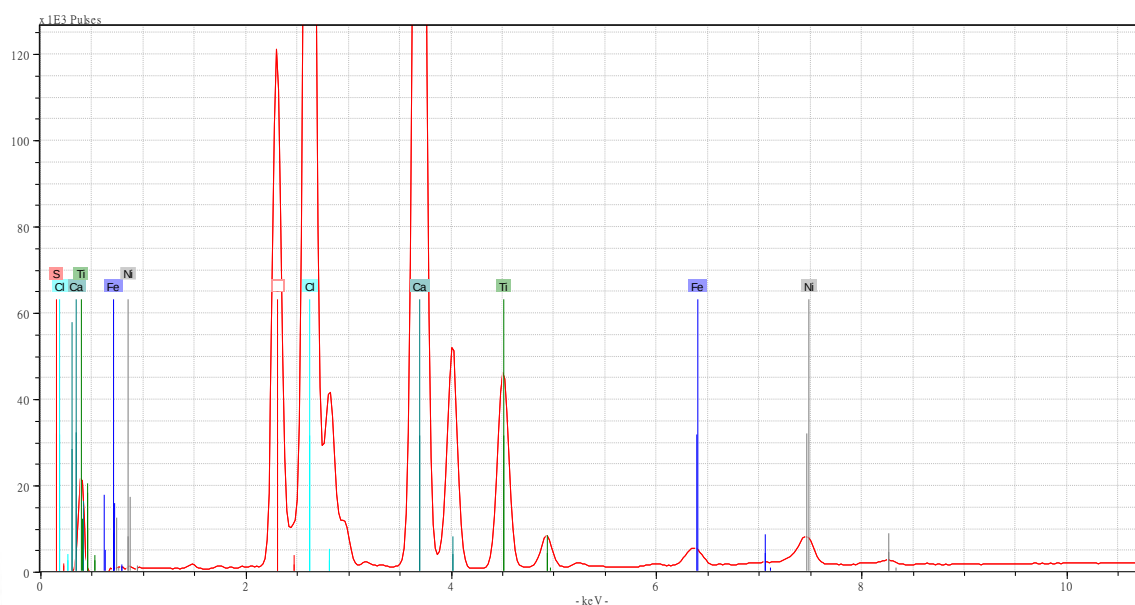


未老化	6 號橡皮擦	C 廠牌-2	合成橡膠
-----	--------	--------	------



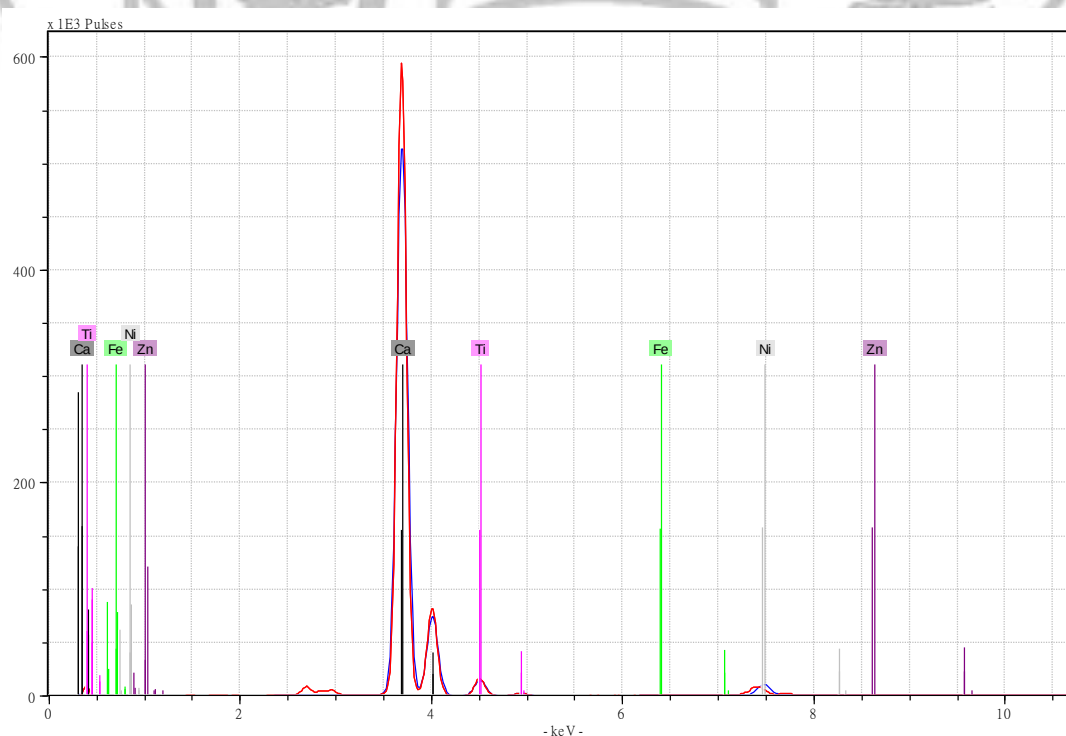
(特別放大微量金屬元素如 Fe,Zn 的部分)

未老化	7 號橡皮擦	D 廠牌-1	PVC
-----	--------	--------	-----

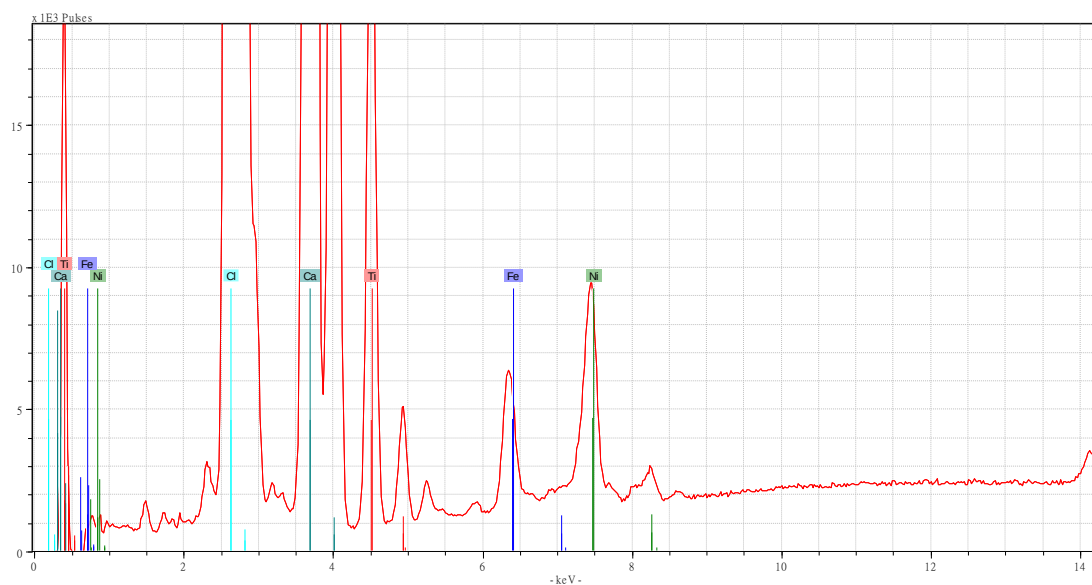


(特別放大微量金屬元素如 Fe,Zn 的部分)

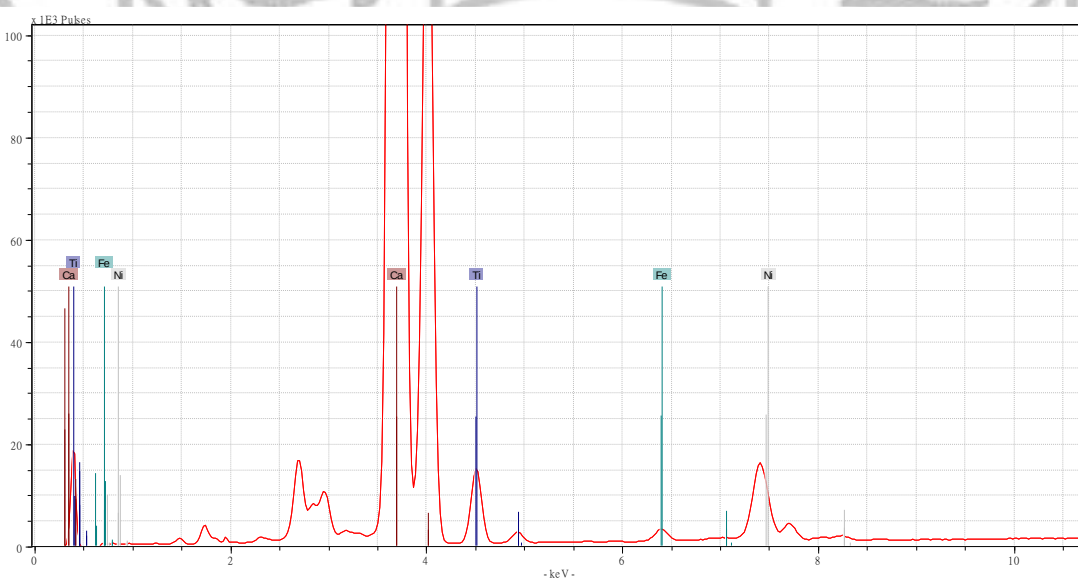
未老化	8 號橡皮擦	D 廠牌-2	合成橡膠
-----	--------	--------	------



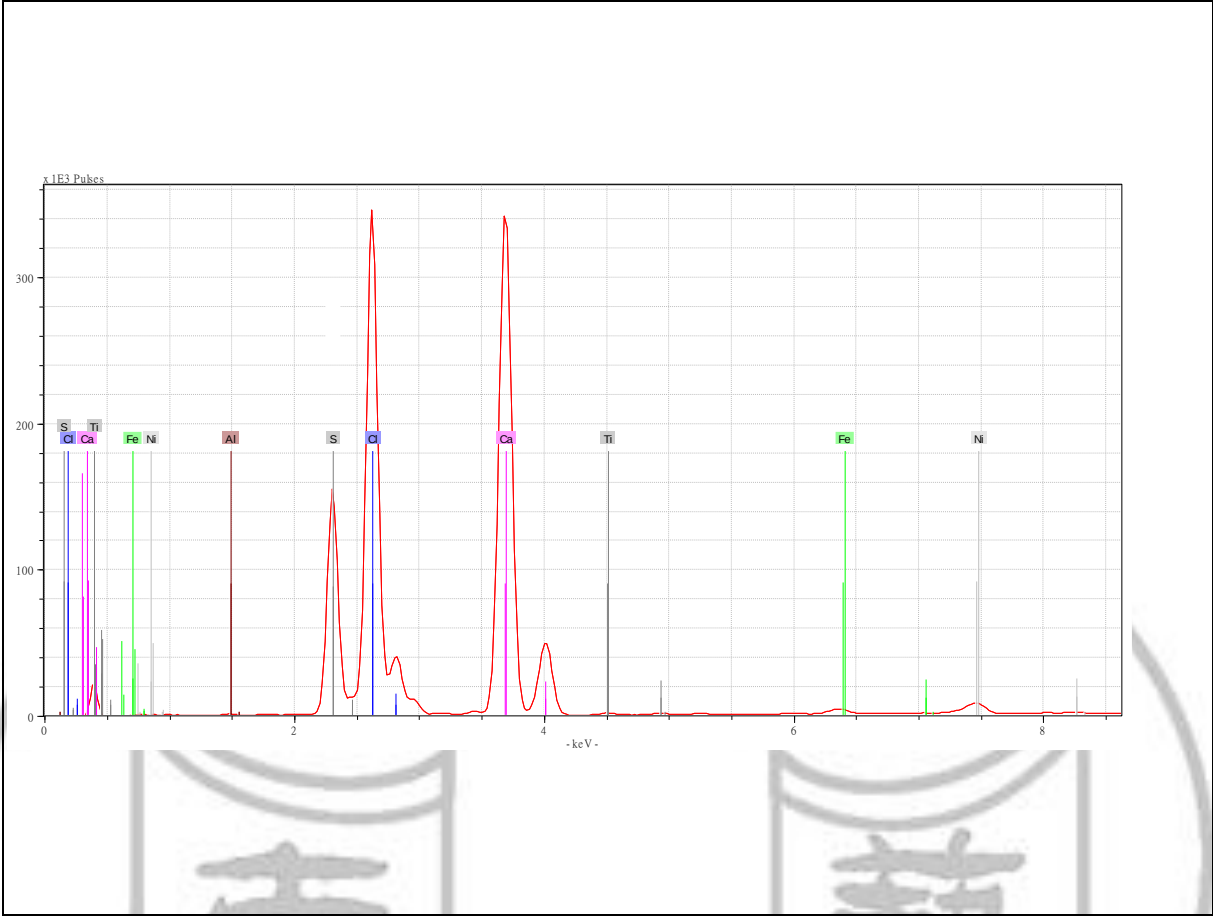
老化類型	樣品編號	產品名稱及型號	類型
QUV	1 號橡皮擦	A 廠牌-1	PVC



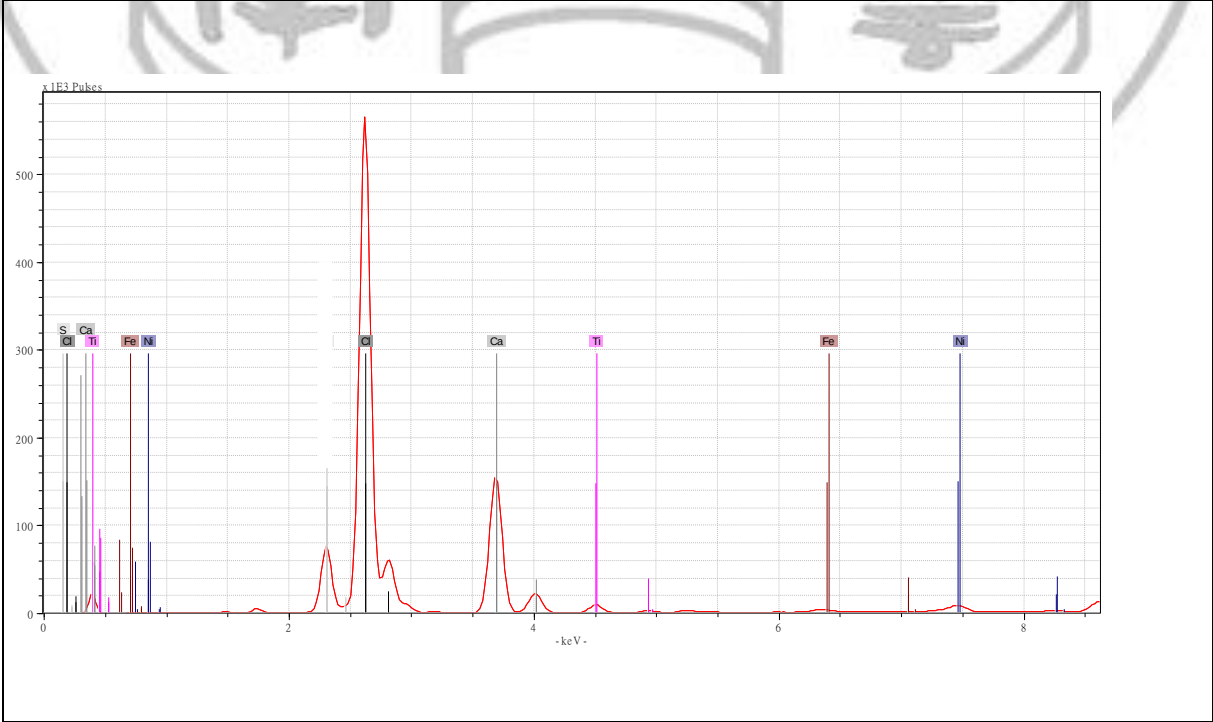
QUV	2 號橡皮擦	A 廠牌-2	合成橡膠 TPR
-----	--------	--------	----------



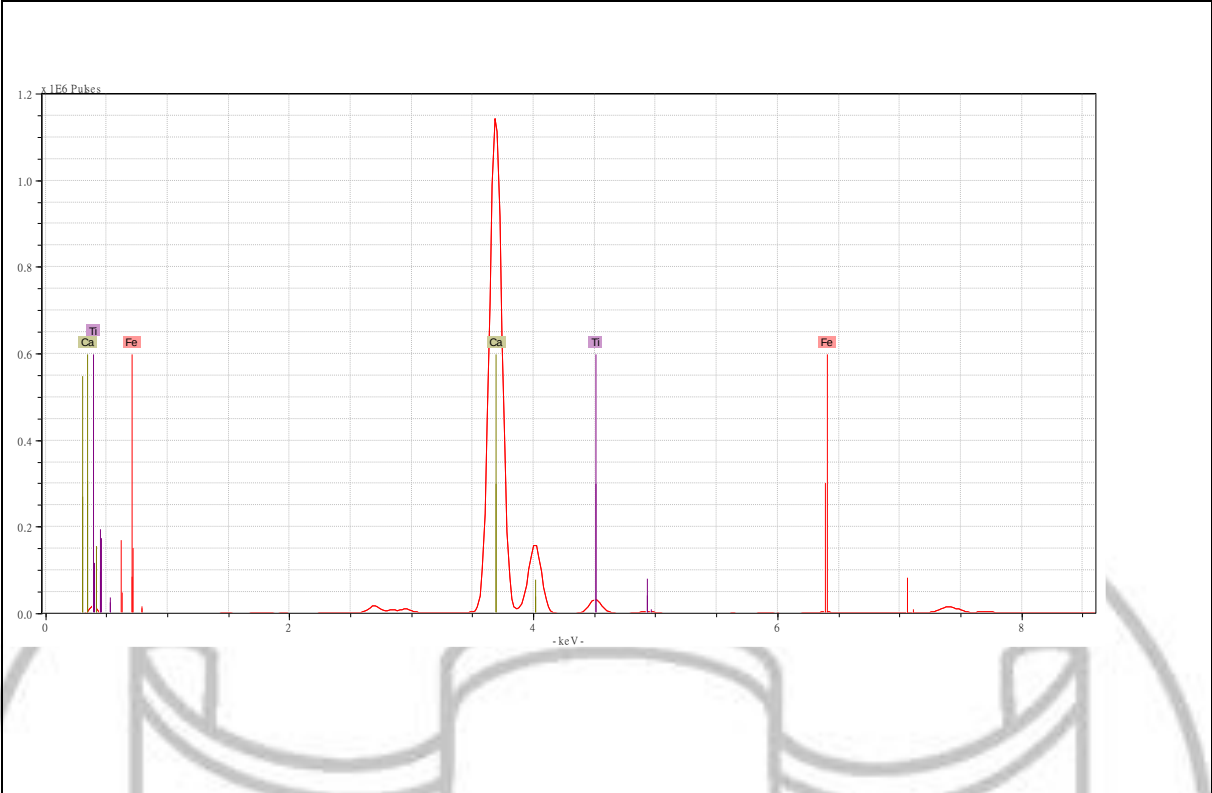
QUV	3 號橡皮擦	B 廠牌-1	PVC
-----	--------	--------	-----



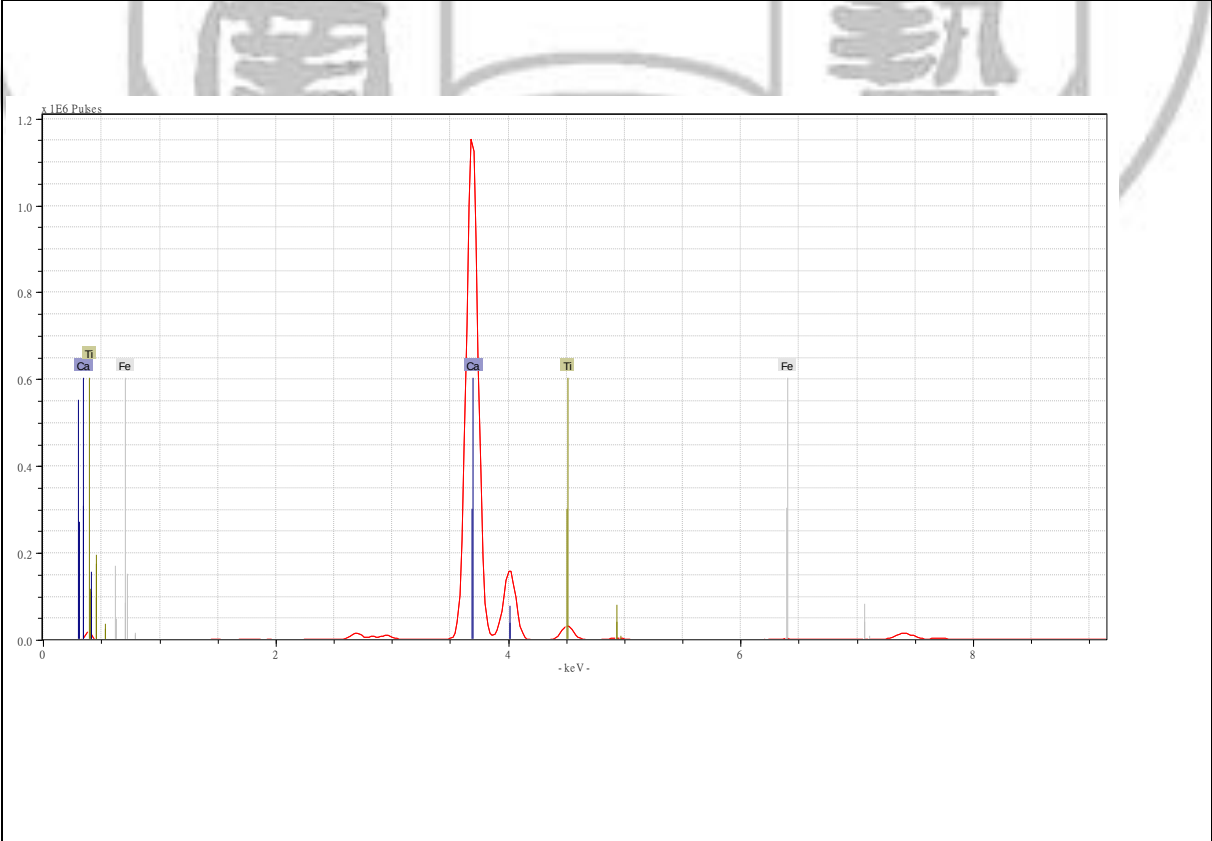
QUV	4 號橡皮擦	B 廠牌-2	PVC
-----	--------	--------	-----



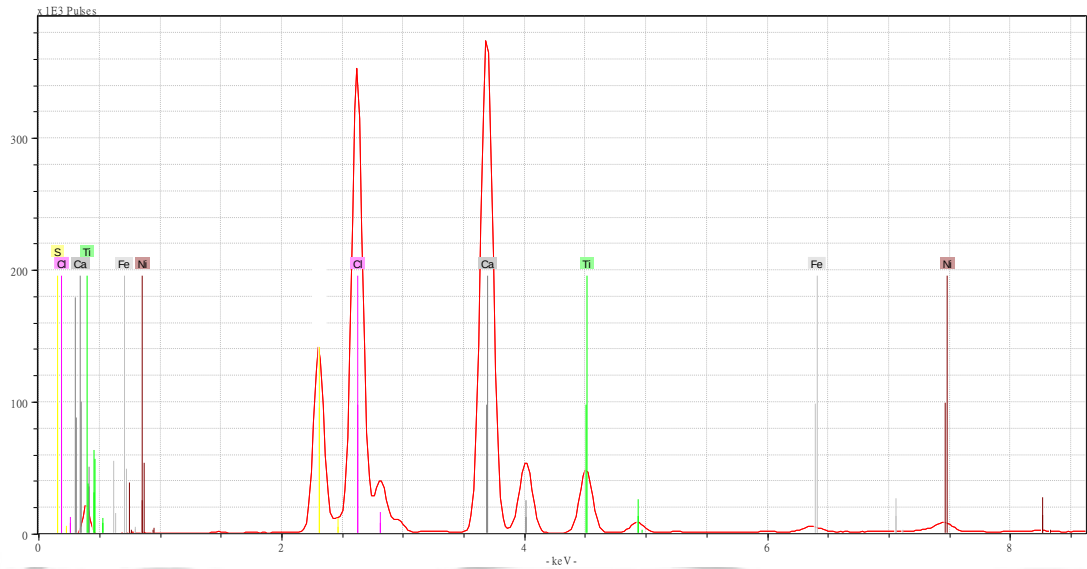
QUV	5 號橡皮擦	C 廠牌-1	合成橡膠
-----	--------	--------	------



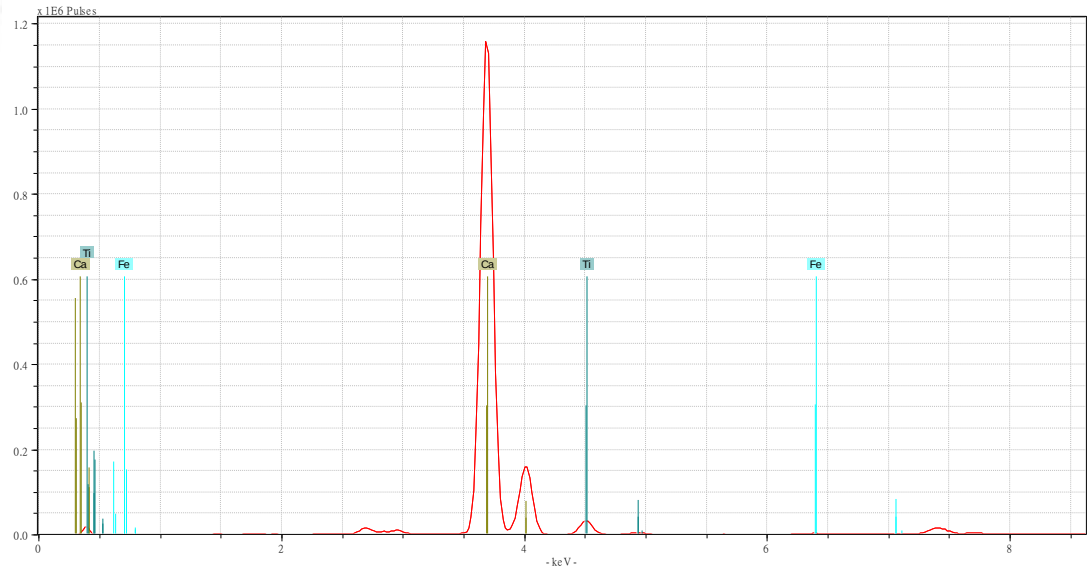
QUV	6 號橡皮擦	C 廠牌-2	合成橡膠
-----	--------	--------	------



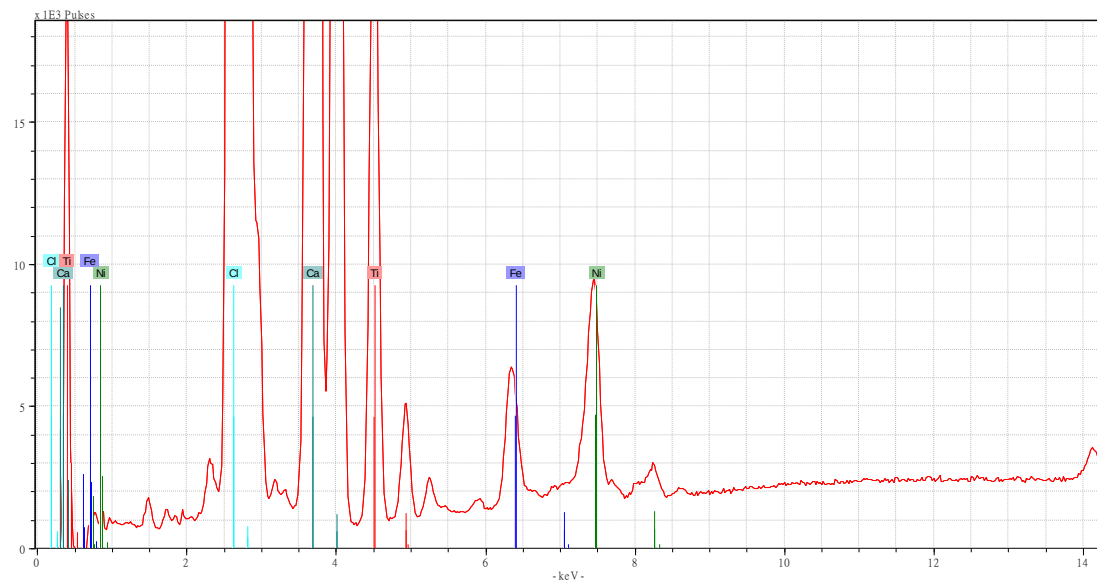
QUV	7 號橡皮擦	D 廠牌-1	PVC
-----	--------	--------	-----



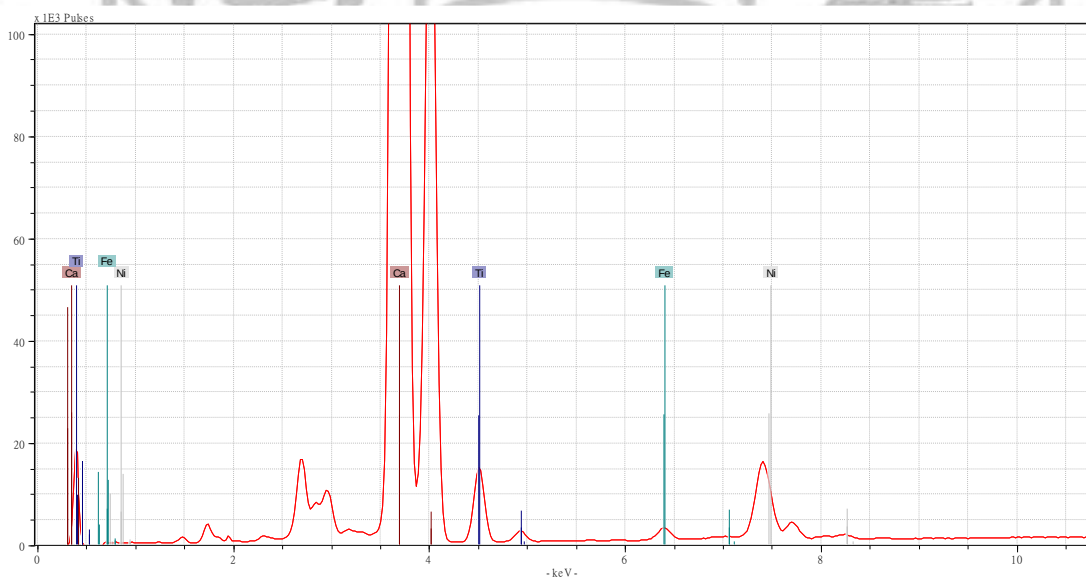
QUV	8 號橡皮擦	D 廠牌-2	合成橡膠
-----	--------	--------	------



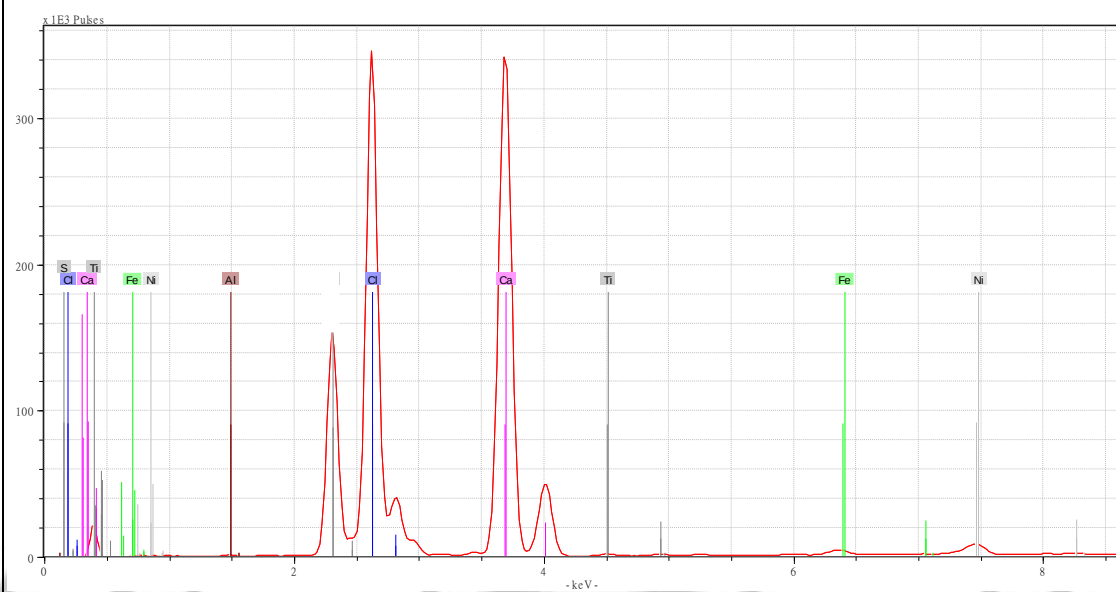
老化類型	樣品編號	產品名稱及型號	類型
乾熱 100 度 C	1 號橡皮擦	A 廠牌-1	PVC



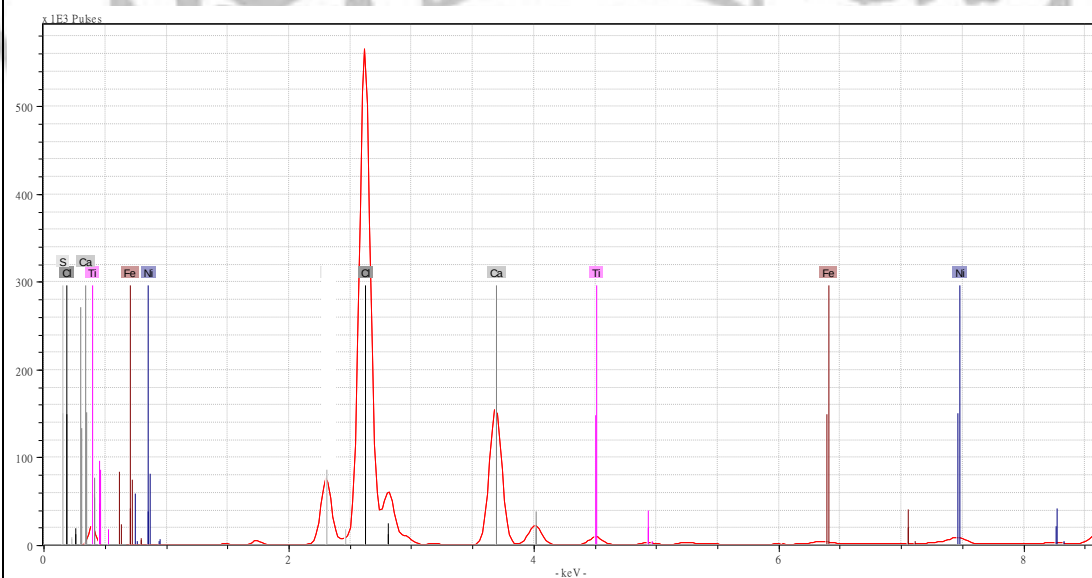
乾熱 100 度 C	2 號橡皮擦	合成橡膠 TPR
------------	--------	----------



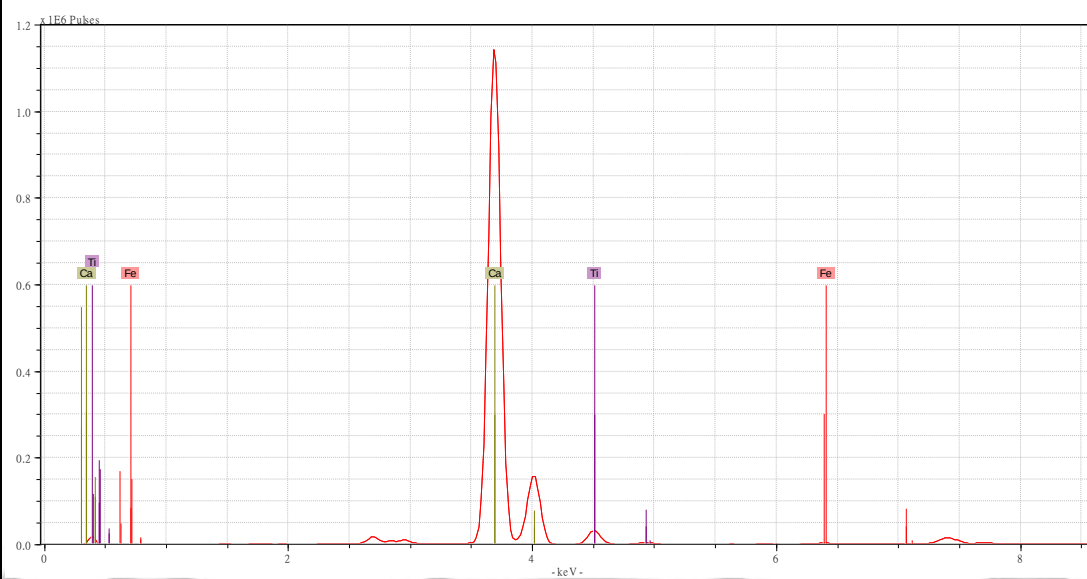
乾熱 100 度 C	3 號橡皮擦	B 廠牌-1	PVC
------------	--------	--------	-----



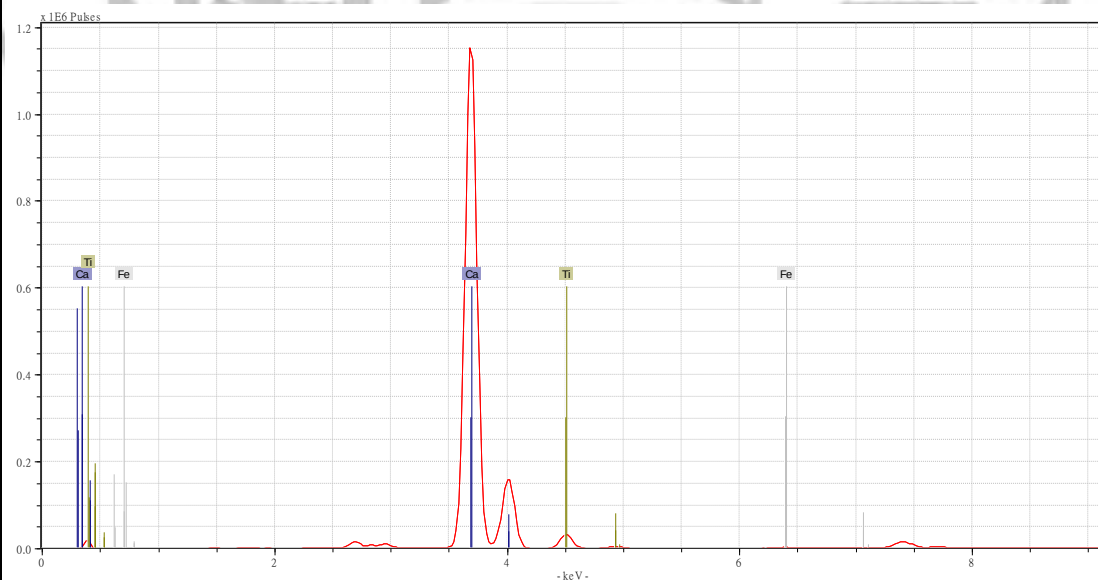
乾熱 100 度 C	4 號橡皮擦	B 廠牌-2	PVC
------------	--------	--------	-----



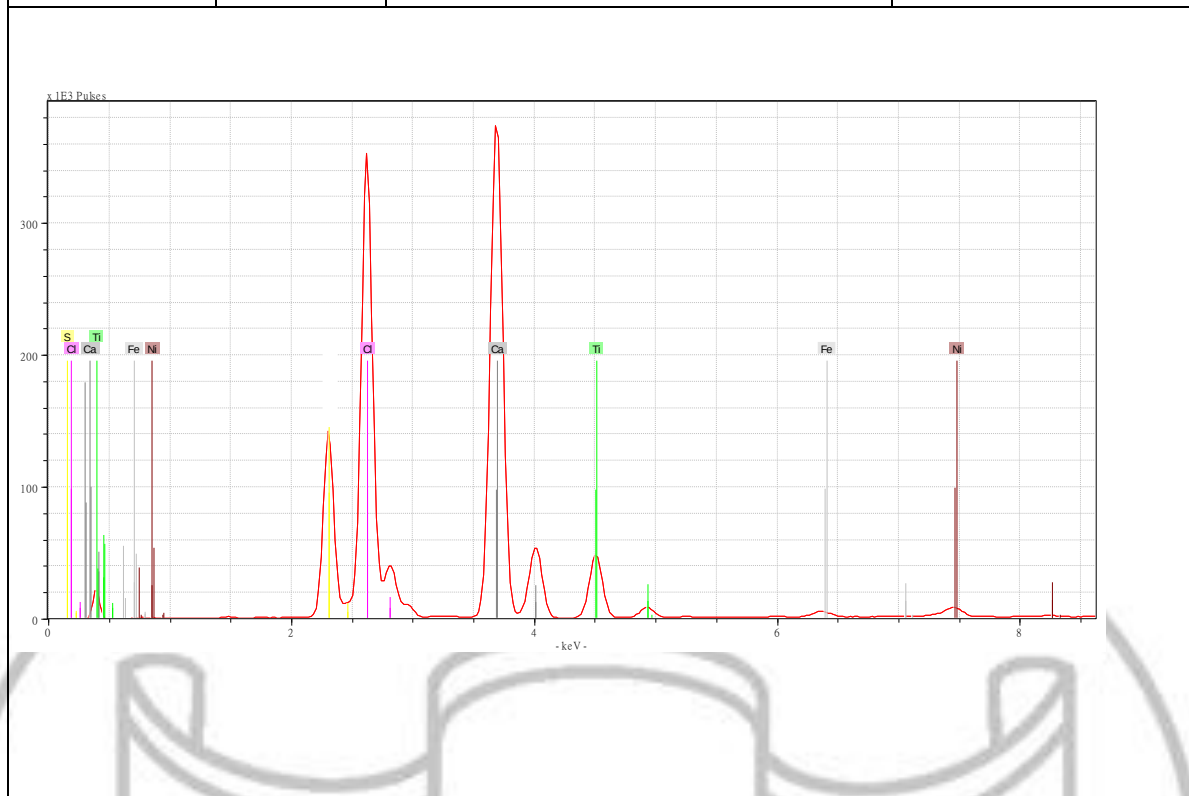
乾熱 100 度 C	5 號橡皮擦	C 廠牌-1	合成橡膠
------------	--------	--------	------



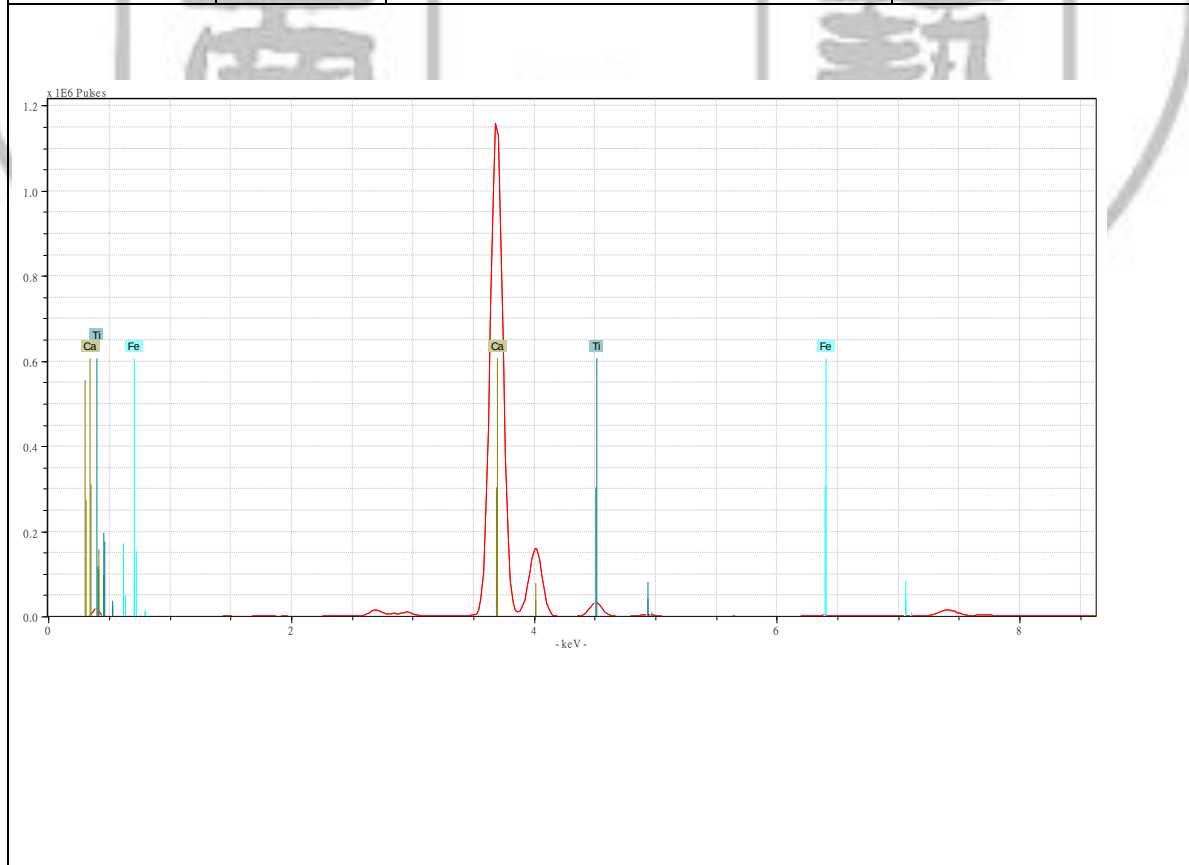
乾熱 100 度 C	6 號橡皮擦	C 廠牌-2	合成橡膠
------------	--------	--------	------



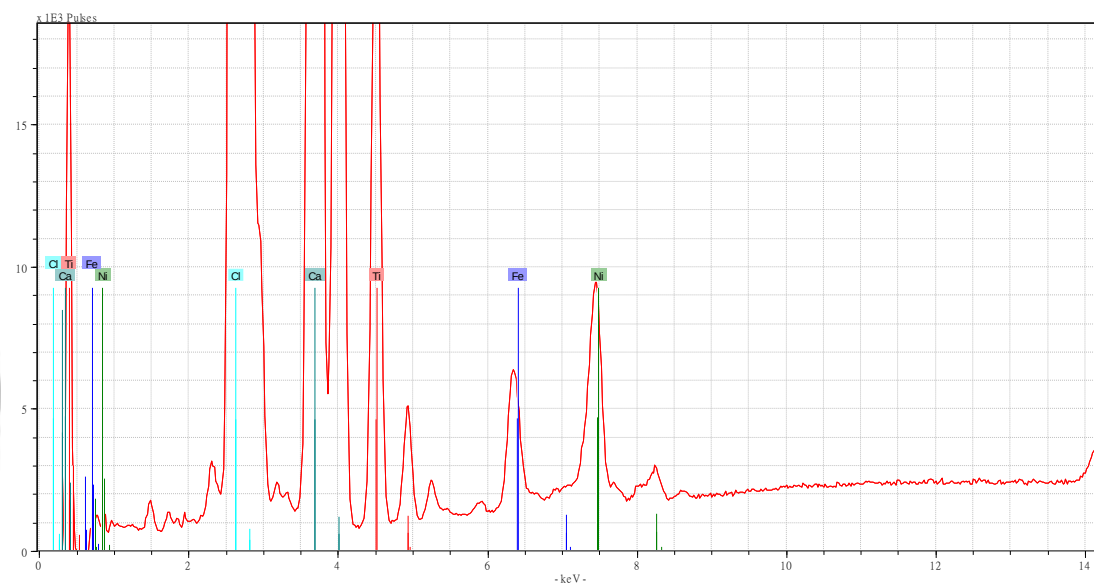
乾熱 100 度 C	7 號橡皮擦	D 廠牌-1	PVC
------------	--------	--------	-----



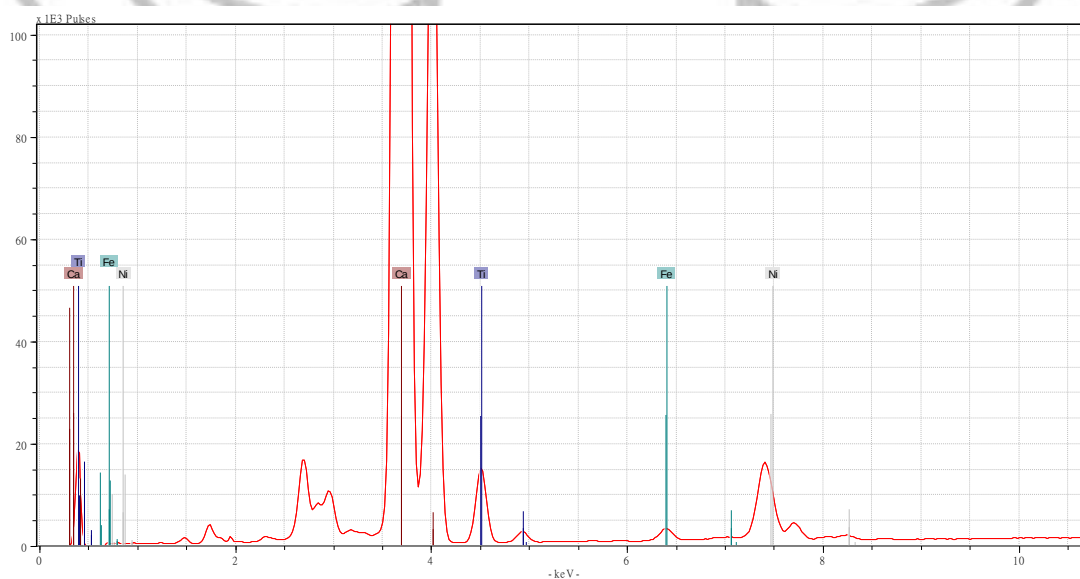
乾熱 100 度 C	8 號橡皮擦	D 廠牌-2	合成橡膠
------------	--------	--------	------



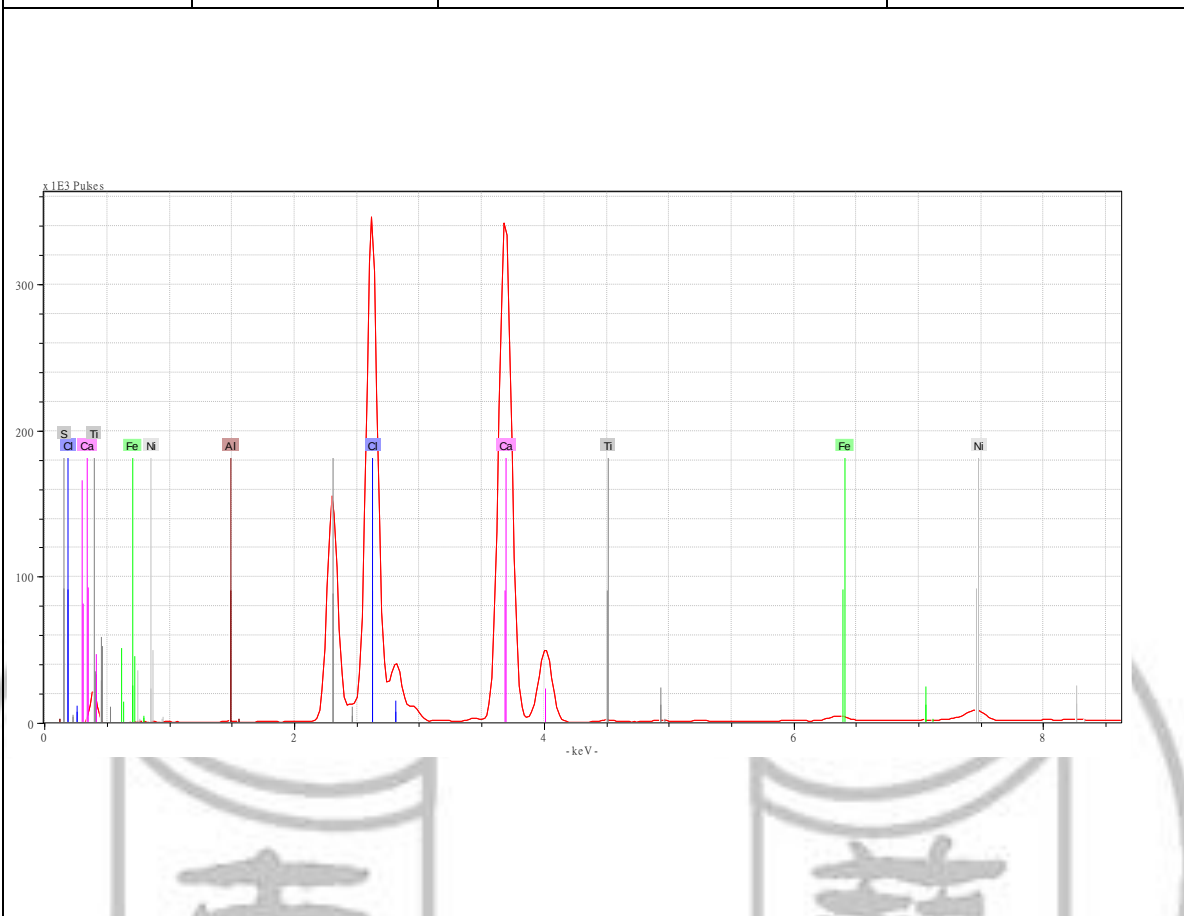
老化類型	樣品編號	產品名稱及型號	類型
濕熱 80%	1 號橡皮擦	A 廠牌-1	PVC



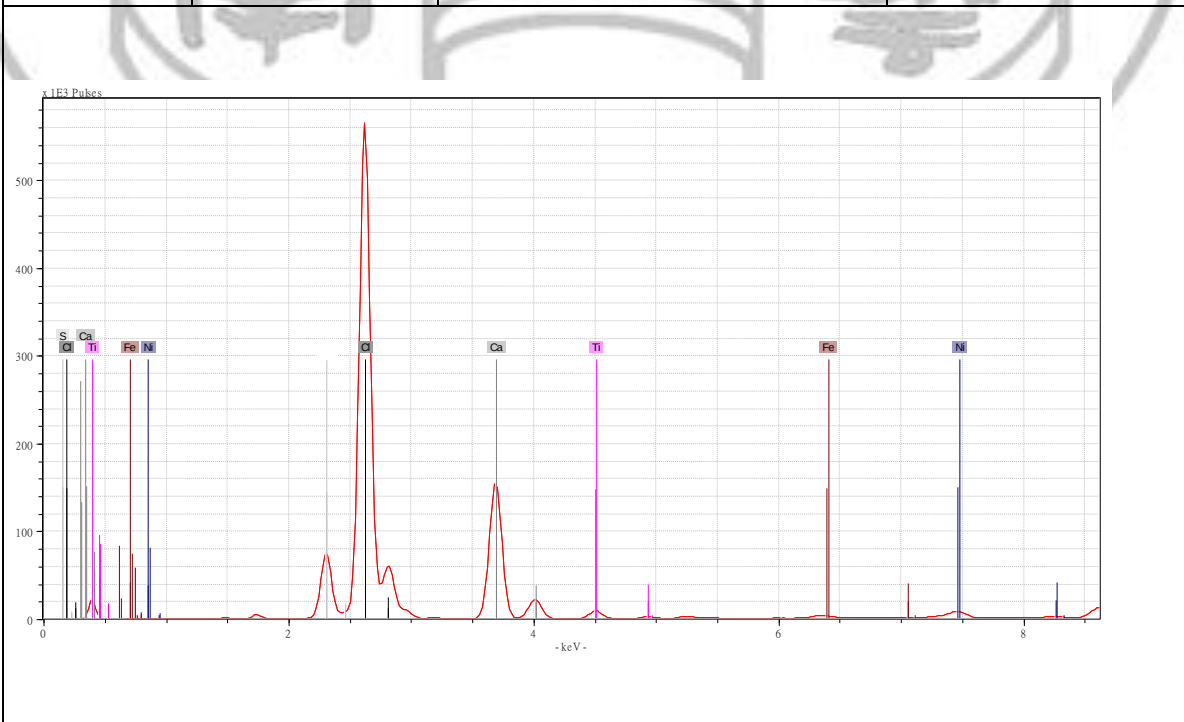
濕熱 80%	2 號橡皮擦	A 廠牌-2	合成橡膠 TPR
--------	--------	--------	----------



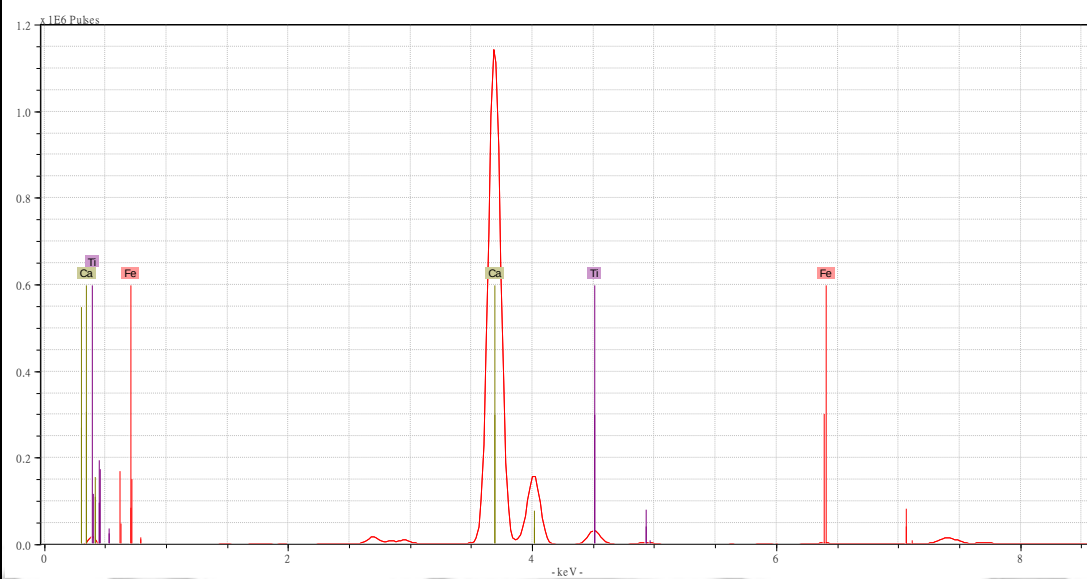
濕熱 80%	3 號橡皮擦	B 廠牌-1	PVC
--------	--------	--------	-----



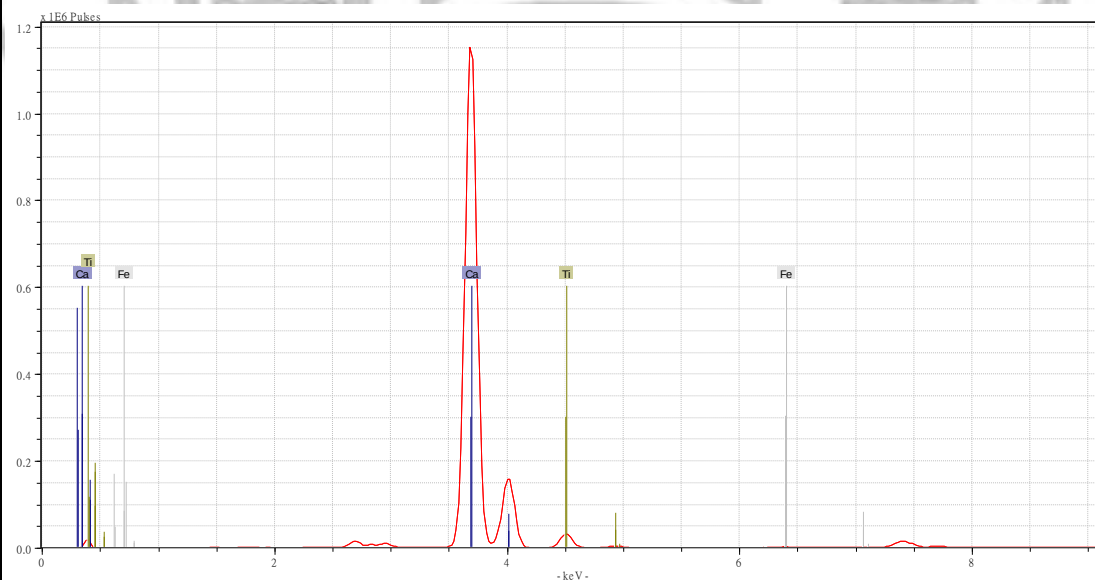
濕熱 80%	4 號橡皮擦	B 廠牌-2	PVC
--------	--------	--------	-----



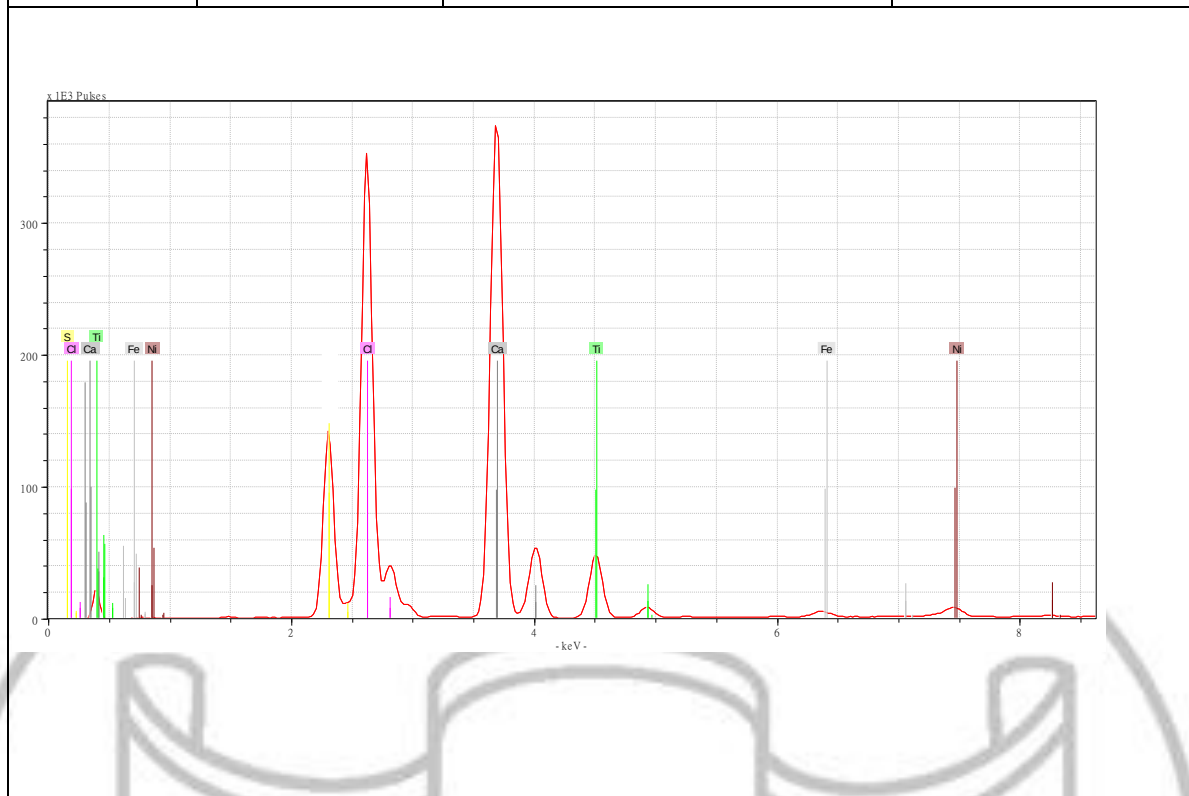
濕熱 80%	5 號橡皮擦	C 廠牌-1	合成橡膠
--------	--------	--------	------



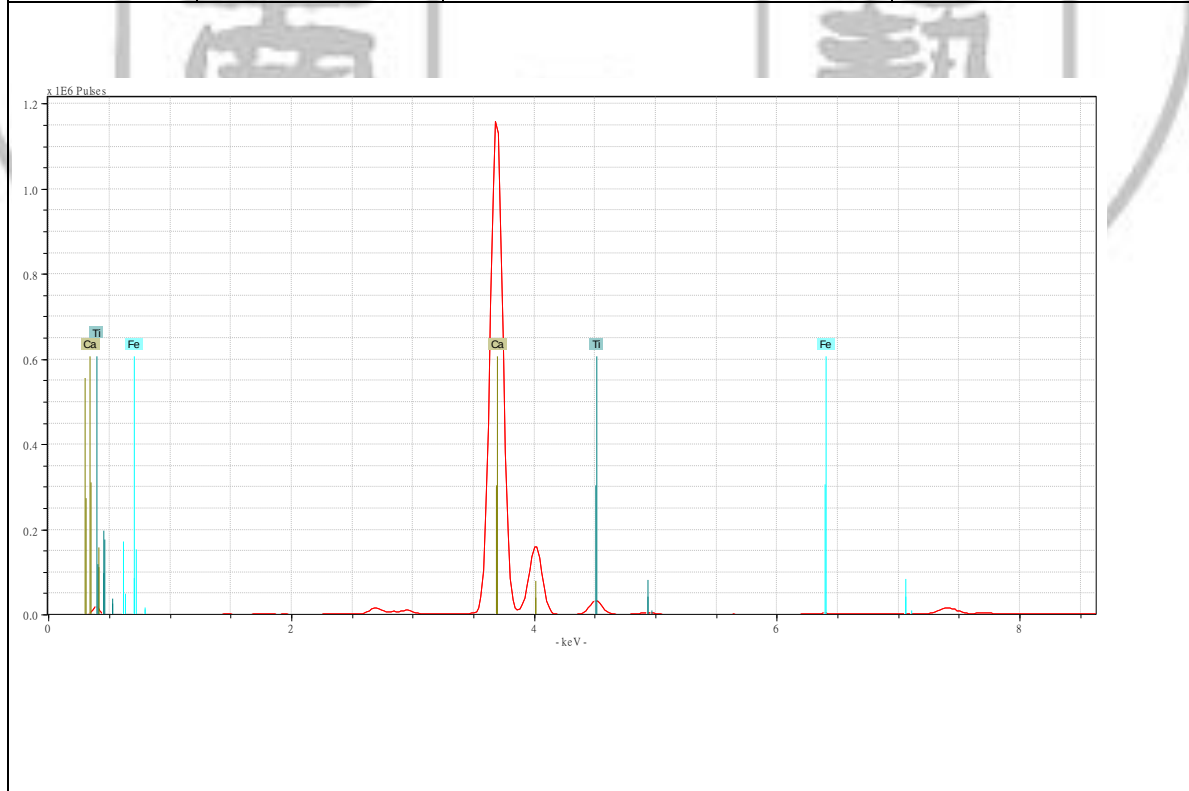
濕熱 80%	6 號橡皮擦	C 廠牌-2	合成橡膠
--------	--------	--------	------



濕熱 80%	7 號橡皮擦	D 廠牌-1	PVC
--------	--------	--------	-----



濕熱 80%	8 號橡皮擦	D 廠牌-2	合成橡膠
--------	--------	--------	------



附錄 III SEM 微量元素分析

WE0(對照組)				
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
元素編號	元素符號	元素名稱	元素濃度	重量濃度
79	Au	Gold	13.52	69.65
6	C	Carbon	56.02	17.60
8	O	Oxygen	30.45	12.74

WE1				
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
元素編號	元素符號	元素名稱	元素濃度	重量濃度
8	O	Oxygen	37.98	43.71
6	C	Carbon	46.51	40.18
7	N	Nitrogen	14.77	14.88
11	Na	Sodium	0.74	1.23

WE2				
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
元素編號	元素符號	元素名稱	元素濃度	重量濃度
6	C	Carbon	64.48	57.42
8	O	Oxygen	35.47	42.07
52	Te	Tellurium	0.05	0.51

WE3				
-----	--	--	--	--

Element Number 元素編號	Element Symbol 元素符號	Element Name 元素名稱	Atomic Conc. 元素濃度	Weight Conc. 重量濃度
6	C	Carbon	57.90	50.80
8	O	Oxygen	42.10	49.20

WE4				
Element Number 元素編號	Element Symbol 元素符號	Element Name 元素名稱	Atomic Conc. 元素濃度	Weight Conc. 重量濃度
79	Au	Gold	14.94	71.91
6	C	Carbon	55.70	16.35
8	O	Oxygen	28.96	11.32

WE5				
Element Number 元素編號	Element Symbol 元素符號	Element Name 元素名稱	Atomic Conc. 元素濃度	Weight Conc. 重量濃度
6	C	Carbon	65.40	58.66
8	O	Oxygen	34.60	41.34

WE6				
Element Number 元素編號	Element Symbol 元素符號	Element Name 元素名稱	Atomic Conc. 元素濃度	Weight Conc. 重量濃度

79	Au	Gold	21.29	79.55
6	C	Carbon	51.98	11.85
8	O	Oxygen	26.50	8.05

WE7				
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
元素編號	元素符號	元素名稱	元素濃度	重量濃度
8	O	Oxygen	48.32	54.80
6	C	Carbon	51.50	43.85
47	Ag	Silver	0.18	1.35

WE8				
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
元素編號	元素符號	元素名稱	元素濃度	重量濃度
79	Au	Gold	14.96	72.11
6	C	Carbon	55.54	16.33
8	O	Oxygen	29.51	11.56