

2008 高雄市第48屆中小學科學展覽會

作品說明書

科(類)別：生活與應用科學科

組 別：國中組

作品名稱：

哇「塞」， 「紙」能溶這樣！

關鍵詞：紙纖維、衛生紙、強度性質

編 號：482006011

目 錄

摘 要	2
壹、研究動機	3
貳、研究目的	4
參、研究器材與藥品	5
肆、研究方法與步驟	6
伍、研究結果與討論	9
陸、結論	20
柒、參考資料	21

摘要

本研究採用「舒潔」面/衛生紙，加上日本四種衛生紙，共 10 種樣品，針對紙張纖維的強度性質等物理量作測量與交叉討論，我得到下列重要的結論：

抗張指數、纖維長度與交織方式、 $\frac{\text{透光面積}}{\text{纖維長度}}$ 比值是決定衛生紙

可否沖入馬桶的重要因素。

日本衛生紙溶解百分率大而濁度低，表示溶解後纖維較短，菊華衛生紙溶的少，但溶解的纖維較長，不可丟入馬桶。由顯微照片可知，台灣紙張的纖維長、厚度薄，纖維糾結，導致會有較強的抗張指數、較低的溶解百分率；日本紙張的纖維較短、交織較有規律、孔隙較大、交織較均勻、有較大的破裂強度。

纖維長度約在 1.1mm 以下、抗張指數約在 1.5(N · m/g) 以下、溶解百分率在 5% 以上、 $\frac{\text{透光面積}}{\text{纖維長度}} > 8.8$ 者可考慮沖入馬桶。

壹、研究動機

在台灣，幾乎所有的公共廁所馬桶旁都會有一個垃圾桶，甚至告示，要求使用者將用完的衛生紙丟入垃圾桶，而非沖入馬桶(圖 1)。但由於台灣天氣普遍溼熱，若在夏天，這些使用過的衛生紙往往引來蒼蠅等飛蟲，造成髒亂。另外，以前我去日本旅遊時，卻發現相反的情況。在日本的公共廁所和旅館浴室，卻常常見到告示牌上要求一律將衛生紙沖入馬桶(圖 2.)，以保持環境整潔；甚至衛生紙包裝上標明為可溶化的再生紙。

正好，在今年(民 96)10 月 26 日中央社報導，台北市議員與主婦聯盟，對台北市環保局提出質詢：「衛生紙可丟馬桶?北市環保局：丟垃圾筒為佳」的新聞，據報載，先進國家都是將衛生紙丟入馬桶，真的是這樣嗎?為什麼台灣不能丟?我很好奇!

我經稍做比較，發現日本公共廁所及旅館浴室提供的衛生紙，紙質似乎和台灣略有不同，因此希望藉由這個實驗，探討台灣常見品牌及日本常見之衛生紙在各方面的差異，以及尋找可丟棄馬桶的衛生紙纖維條件為何。



圖 1. 台灣廁所內垃圾桶



圖 2. 日本廁所內說明

貳、研究目的

我想了解為何日本與台灣在衛生紙使用完畢後，有完全相反的處理方式。台灣目前不考慮直接丟入馬桶沖掉，是因為怕馬桶阻塞，但基於衛生與環境美觀上的要求，我希望台灣將來的衛生紙也可以使用後，直接由馬桶沖掉，因此我採用衛生紙領導品牌，市場佔有率以近四成的「舒潔」面紙與衛生紙，加上日本生活常用的四種衛生紙，共10種樣品想進行了解：

1. 舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其抗張強度之比較。
2. 舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其破裂強度之比較。
3. 舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其溶解量、濁度、厚度、纖維長短、與雷射透光百分比之比較。
4. 綜合比較上述各項變因之關聯性。

參、研究器材與藥品

試管	燒杯	滴管	鑷子	玻棒
彈簧秤	鐵架	砝碼	鐵夾	刮杓
尺	剪刀	膠帶	曬衣夾	電子秤
磁攪拌器	烘乾機	顯微鏡	數位攝影機	數位照相機
電腦	會聲會影 6	濾網(網目 0.589mm)		雷射光筆
Photoshop CS2		PhotoImpact 10		螺旋測微器

舒潔面紙(袖珍包、超柔、新超柔)

舒潔衛生紙(平板式、抽取式、捲筒式)

日本衛生紙((香)エリエール、菊華、ウオツこエくんロール、bleenex softie)

	
(香)エリエール	ウオツこエくんロール(再生紙)
	
菊華(不可沖入馬桶)	bleenex softie

肆、研究方法與步驟

(一) 紙張抗張強度測量

1. 取等面積 (1.5cm \times 10cm) 之各種衛生紙與面紙，測量質量、厚度。
2. 將兩端以夾子夾住，一端掛上彈簧秤，另一端垂直施力至衛生紙斷裂(圖 3)。
3. 記錄彈簧秤的讀數。



圖 3.

(二) 紙張破裂強度測量

1. 如右圖 4.，取等面積(11cm \times 11.3cm) 之各種衛生紙與面紙，測量質量、厚度。
2. 以鐵夾將兩端固定，在等面積上施加砝碼，直至衛生紙破裂。
3. 記錄砝碼的總質量。



圖 4.

(三) 紙張溶解量測量

1. 秤取各種衛生紙與面紙 1 張的質量。
2. 以磁攪拌器 (轉速為 7) 攪拌 2 分鐘。
3. 將攪拌過後的溶液以網目為 0.589mm 的濾網過濾。
4. 將殘留在濾網上的殘渣刮下。
5. 用烘箱以 80 $^{\circ}$ C 烘乾 10 小時後秤重。
6. 減少的質量即為紙張溶解的質量，記錄之。

(四) 溶解溶液的濁度測量

1. 如右圖 5.，取口徑相同的試管，在管口覆蓋偏光片，以雷射筆垂直向下照射。
2. 在試管中倒入溶液，逐漸增加溶液量。
3. 直至雷射光無法穿透溶液時，量取液面高



圖 5.

度，比較濁度大小。

(五) 紙張纖維長短測量

1. 取單張衛生紙或面紙，置入加水的燒杯中，以玻棒攪拌。
2. 取適量紙纖維置於載玻片上，蓋上蓋玻片，於顯微鏡上，取目鏡與物鏡倍率為 3.2j 10，進行觀察。
3. 調整焦距為清晰影像，以數位相機固定 Zoom 的大小，拍攝顯微影像。
4. 將影像固定大小在電腦中編輯列印 (圖 6.)。



圖 6.

5. 以棉線量取纖維長度，再利用比例尺(1：38)轉換纖維實際長度。
6. 記錄且平均之。

(六) 紙張厚度與雷射透光面積測量

1. 厚度測量以螺旋測微器測量數張衛生紙的厚度，求平均值。
2. 以下為雷射透光面積測量：取單張衛生紙或面紙，兩端以夾子固定(如圖 7.)，以雷射筆垂直向下照射，關燈後拍攝紙張上透射之影像。
3. 將照片傳至軟體 PhotoImpact，選取格式→「臨界值 90」→選取「反相」，將黑白色階反轉如圖 8.、圖 9.。

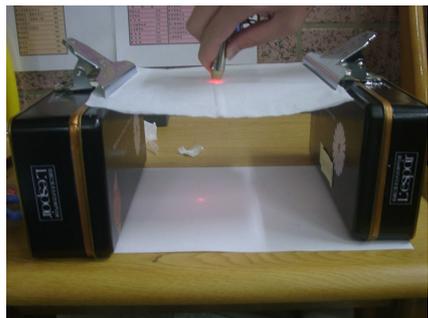


圖 7.

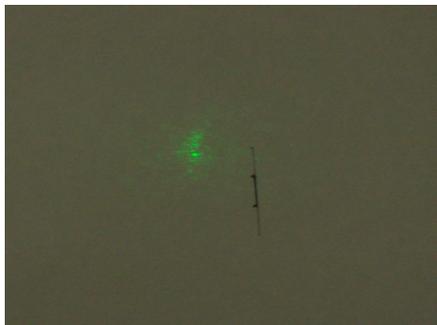


圖 8. 未處理前照片

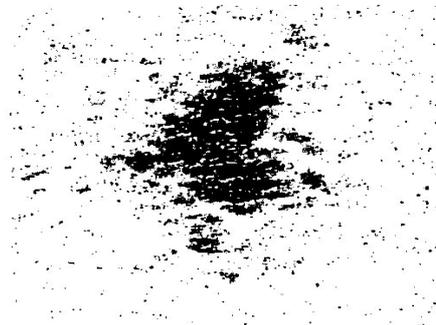


圖 9. 處理後照片

4. 將影像轉至 Photoshop CS2，選取「色階分布圖」→取色階 0~127
→圖 10. 中「面積百分比」即為所求。

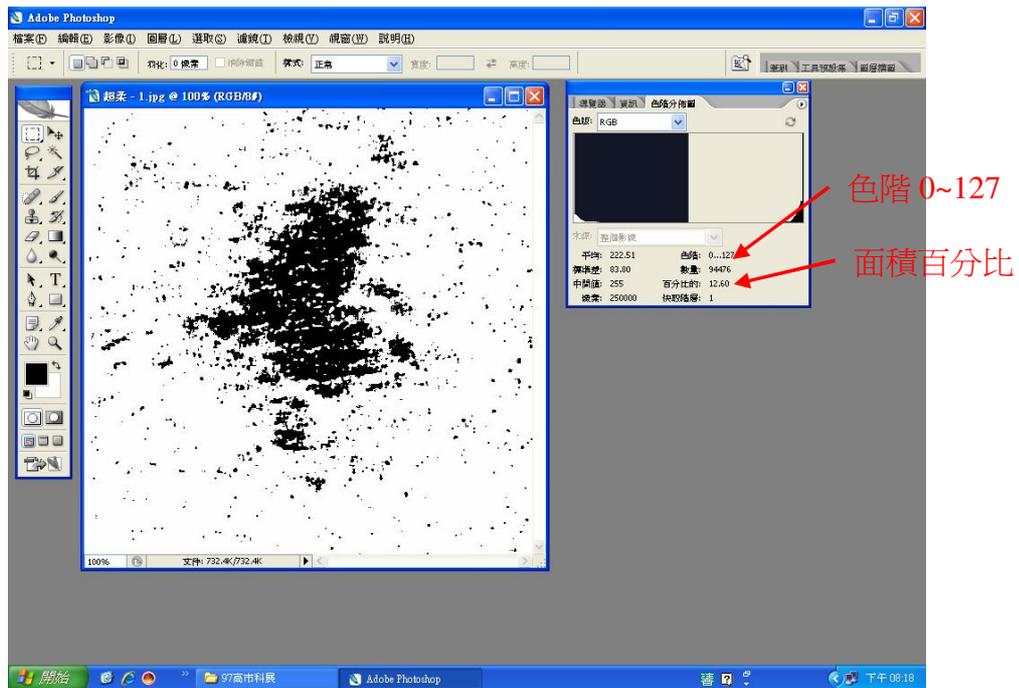
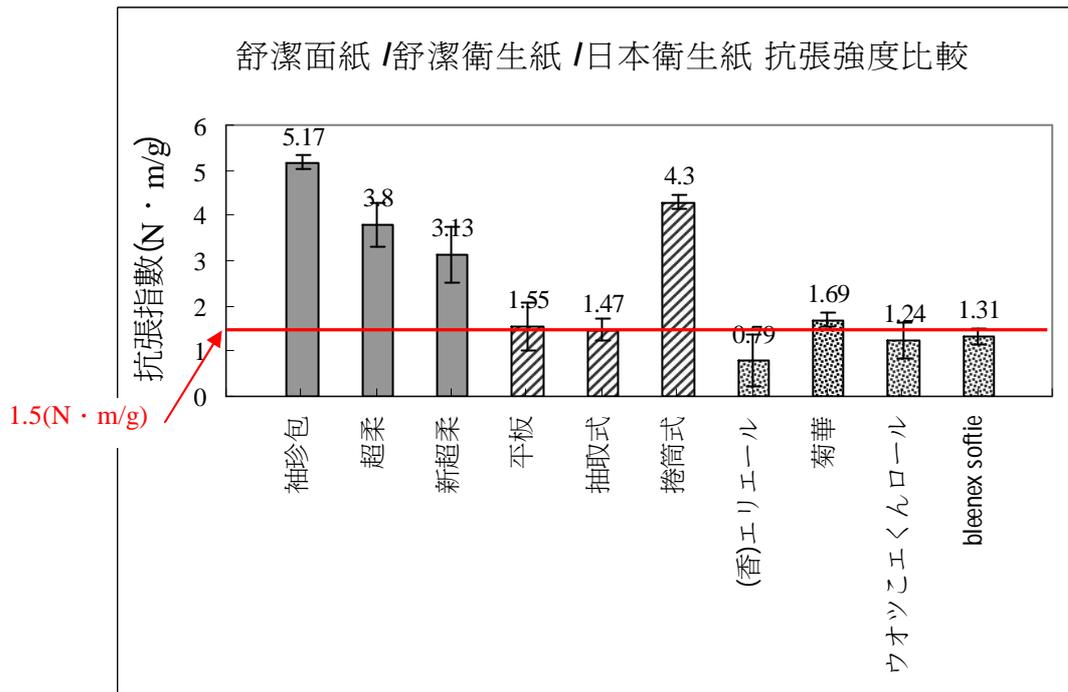


圖 10. Photoshop CS2 中之影像處理

伍、研究結果與討論

(一)、舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其抗張強度之比較。



抗張強度又稱為拉力，為一條寬 15mm 長之紙條，被拉斷時所需之力，即紙張耐拉斷的強度，以 Kgf/15mm 或 KN/m 表示；與紙張纖維經結合交織成紙張後，纖維間的結合力量有關。為消除基重【註】的影響，我轉為用「抗張指數」表示。

$$\text{抗張指數(N·m/g)} = \frac{\text{抗張強度(KN/m)}}{\text{基重(g/m}^2\text{)}} \cdot 1000$$

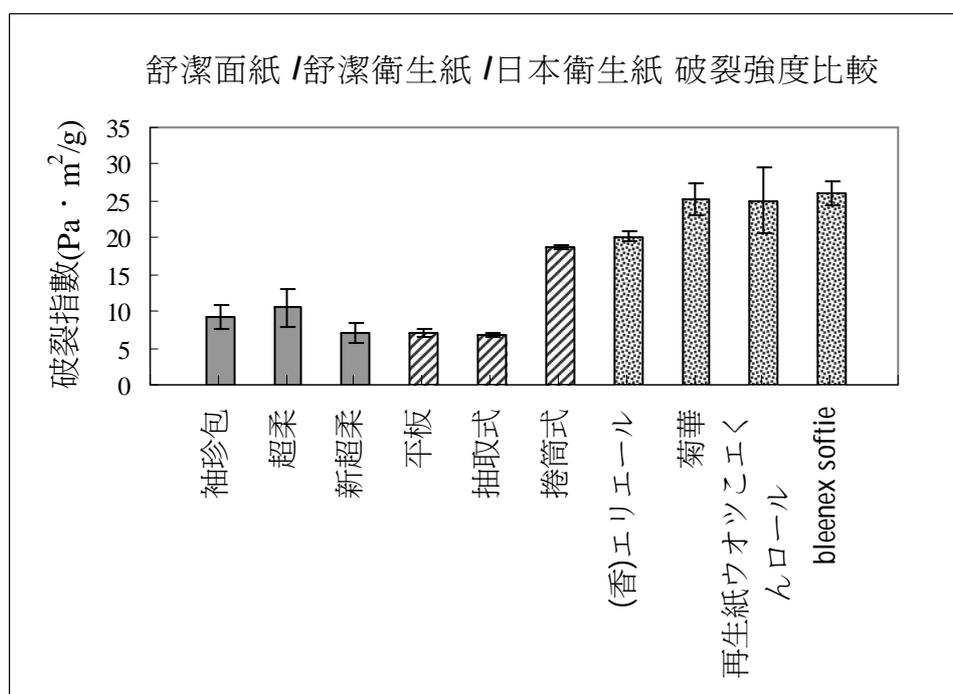
由上圖中可知，舒潔面紙與捲筒式衛生紙的抗張指數是這 10 種紙張中較高的，舒潔平板式與抽取式衛生紙則與四種日本常用的衛生紙相似，都屬於抗張指數較低的。換句話說，這六種衛生紙的纖維交織應該較不緊密，使用時是較容易「擦破」的。

今年暑假，有機會到日本旅遊，我順便訪問同行的人使用日本衛生紙的感覺，他們的說法也是「感覺較容易破」，與我的結論相吻合。值得一提的事，在衛生紙的包裝說明上，日本「菊華衛生紙」標示：「請勿丟入馬桶」；在實驗結果上，「菊華」衛生紙的抗張指數也是日本四種衛生紙中抗張指數最高的，與舒潔平板式與抽取式衛生紙近

似，因此，我似乎可以做一個結論：抗張指數約在 $1.5(\text{N} \cdot \text{m/g})$ 以下的紙張是可以都入馬桶中沖掉的。

【註】基重為計算紙張每平方公尺所具有的質量，單位為 g/m^2 。

(二)、舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其破裂強度之比較。

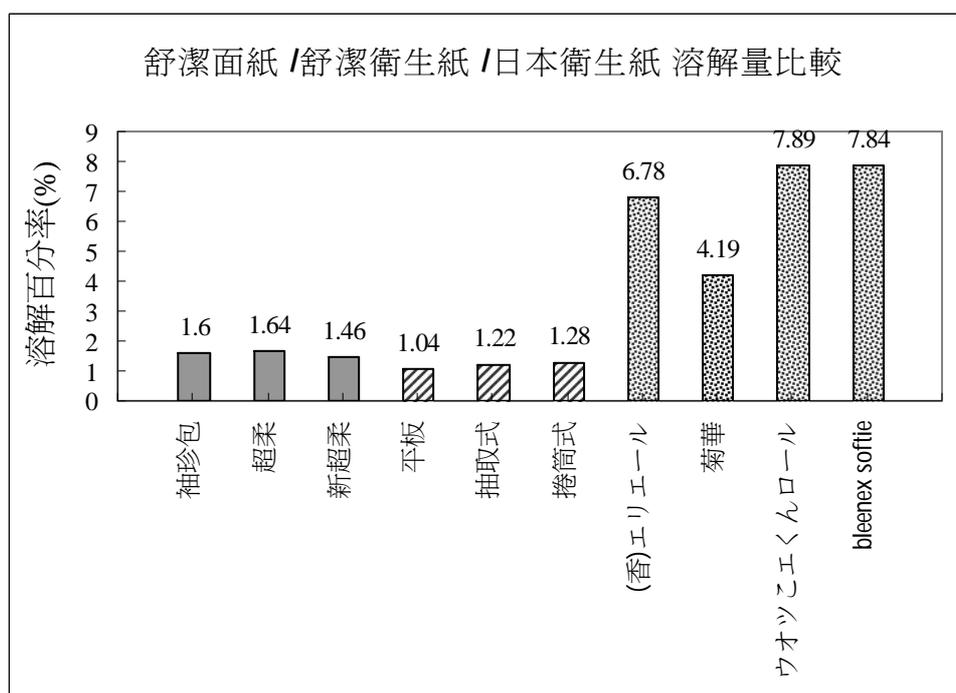


破裂強度又稱為頂破力，是紙張纖維組織在一定面積下，能承受壓力的最大限值，以 Kgf/cm^2 或 KPa 表示，和纖維間的鍵結有密切關係。為消除基重的影響，我轉為用「破裂指數」表示。

$$\text{破裂指數}(\text{KPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}) = \frac{\text{破裂強度}(\text{KPa})}{\text{基重}(\text{g}/\text{m}^2)}$$

由上圖可知，除了舒潔捲筒式衛生紙的破裂強度約略可以和日本衛生紙相抗衡外，其餘的舒潔面紙與衛生紙的破裂強度都明顯小很多。我推測：在紙漿處理上，日本和台灣應該不一樣，所以在纖維間的鍵結也有不同所致。另外，我也猜想，會不會纖維長短也有不同呢？為了進一步了解這 10 種紙張的特性，我再設計紙張溶解度的實驗。

(三)、舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其溶解量之比較。



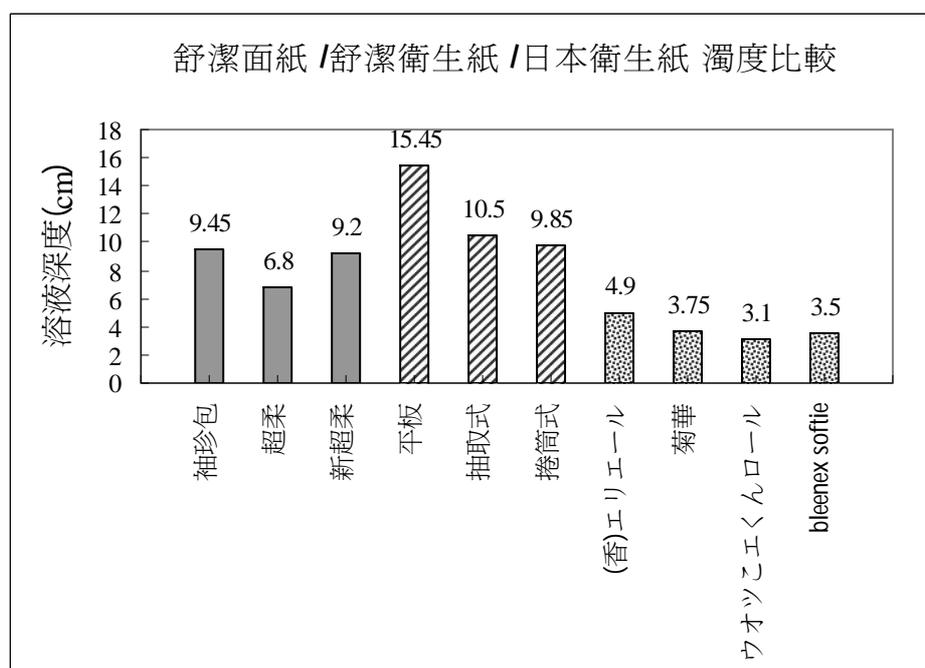
由於每張紙的質量都不相同，因此我討論的並非是絕對的溶解質量，而是相對的溶解百分率。

由上圖明顯看出，日本衛生紙在水中的溶解百分率遠遠的高過舒潔衛生紙與面紙，我想這就是日本衛生紙可以沖入馬桶的原因之一。整體而言，溶解百分率大小依次為：日本衛生紙 > 舒潔面紙 > 舒潔衛生紙。

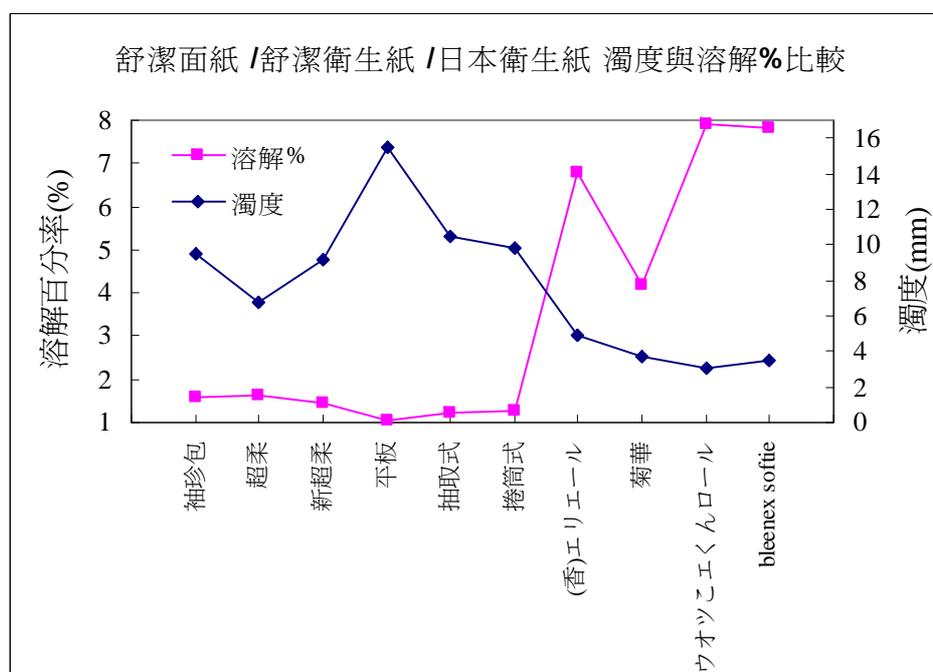
值得一提的是，日本菊華衛生紙的包裝上註明不能丟入馬桶，而實驗結果菊華的溶解百分率也的確是日本四種衛生紙中最低的。

溶解的測量是將濾液通過 0.589mm 網目的濾網，但是溶掉的纖維會不會有長短不同呢？於是我做了濁度的測量。

(四)、舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其濁度之比較。

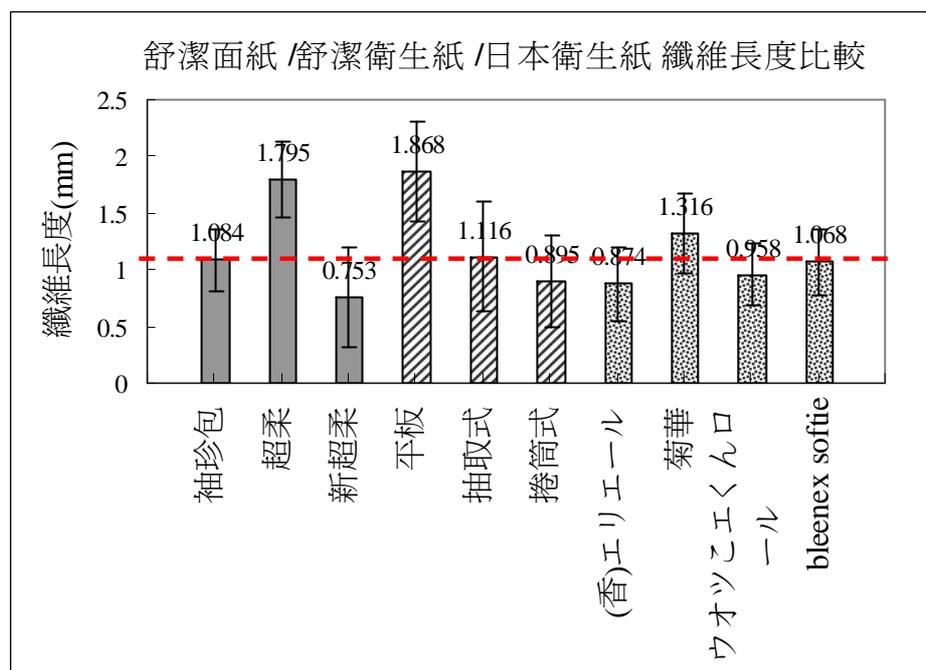


由上圖看出，濾液的濁度大小依次為：舒潔衛生紙 > 舒潔面紙 > 日本衛生紙，這樣的趨勢恰與溶解量相反，我想，這是溶解量少的舒潔衛生紙纖維，如果要阻擋雷射筆的光，本來就該需要較大量的濾液才行，因此若要進一步探討溶解纖維的長短，應該設計為相同濃度下，進行測試較合理。但我也好奇，溶解量與濁度真的趨勢恰相反嗎？於是我們將溶解量與濁度的數據放在一起來比較：



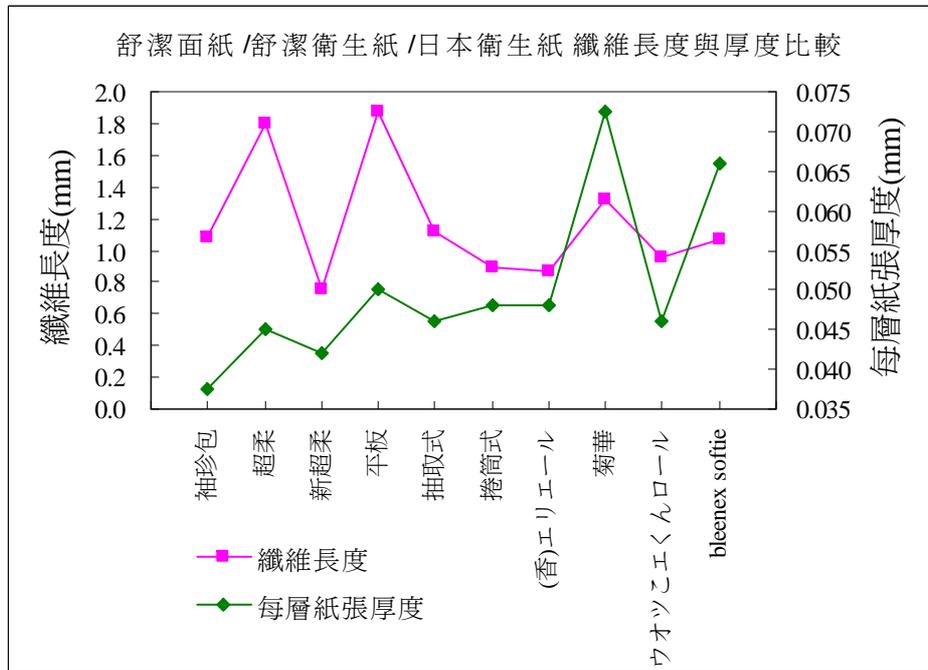
結果發現：除了日本菊華衛生紙之外，的確溶解量與濁度的變化趨勢是相反的。到此為止，我唯一可以確定的是：菊華衛生紙溶的少，但溶解的纖維較長，難怪日本規定菊華衛生紙不可丟入馬桶，應該是怕發生阻塞問題吧！

(五)、舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，其平均纖維長短之比較。

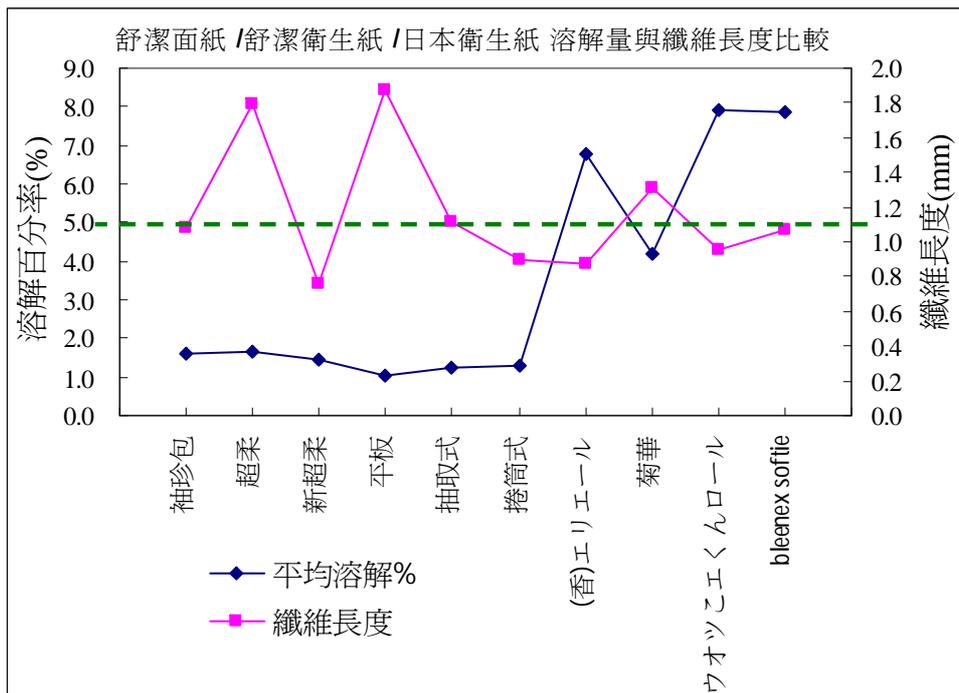


我從文獻資料中查知，纖維長度小於 0.2mm 的定義為纖細物，典型長纖維長度在 2.0-6.0mm，短纖維則為 0.5-2.5mm；由此可知，我所有的紙張樣品都屬於「短纖維」，纖維長度由長至短依次為：舒潔平板式衛生紙 > 舒潔超柔面紙 > 日本菊華衛生紙 > 舒潔抽取式衛生紙 > 舒潔袖珍包面紙 > 日本 bleenex softie 衛生紙 > 日本ウオツこエくん口ール衛生紙 > 舒潔捲筒式衛生紙 > 日本(香)エリエール衛生紙 > 舒潔新超柔面紙。但纖維長度要約在 1.1mm(紅虛線)以下者才有機會考慮可否沖入馬桶。

纖維長度在面紙與衛生紙中，扮演的角色讓我十分有興趣，因此我將三類紙張的各項我所測得的物理量，做交叉比對：



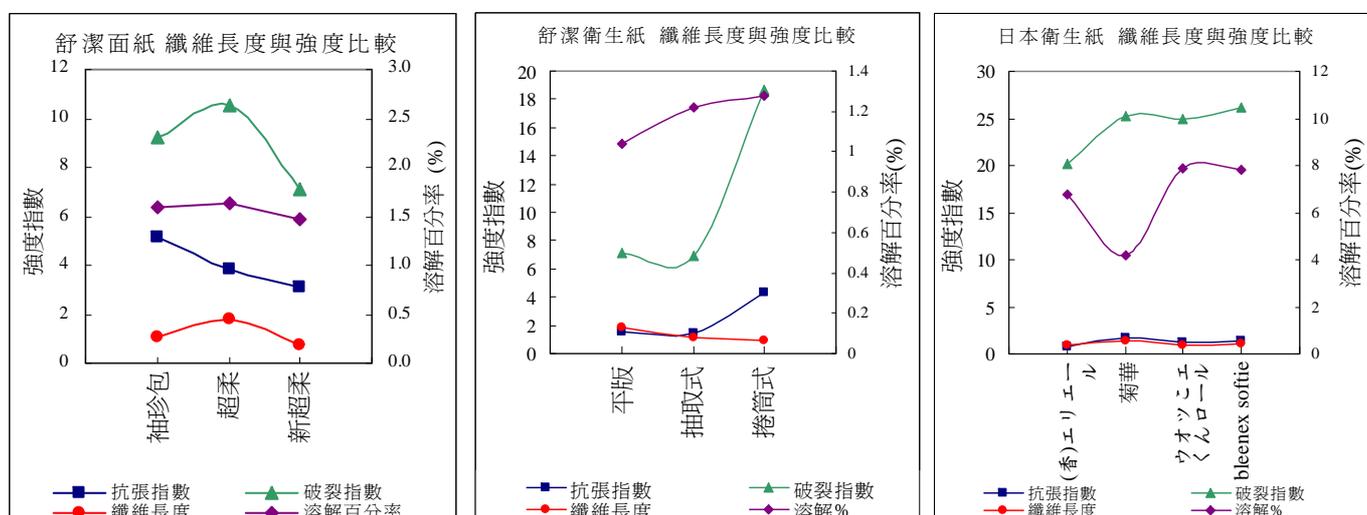
在纖維長短與單層紙張厚度的比較上，我發現：在趨勢上，台灣紙張的纖維偏長、厚度較薄，而日本衛生紙則是纖維偏短，厚度較厚；那纖維長短對紙張溶解量又有何關係呢？我再將二者做比較，得下圖：



整體上，日本衛生紙的溶解量較高，但纖維較短；而舒潔紙張纖維雖然因紙張而異，長短差異大，但溶解量卻明顯遠低於日本衛生紙。

纖維長度與溶解量的比較最特別的是日本的菊華，這也是日本品牌中唯一不能都入廁所馬桶的衛生紙，因此，如果我以日本除菊華以外纖維最長者為臨界值(上圖中綠色虛線)，藍點在綠色虛線之上(溶解百分率 5%以上者)、紅點在綠色虛線之下(纖維長度 1.1mm 以下者)，即可都入馬桶，那麼台灣的所有品牌都不能都入馬桶。

在日本衛生紙與舒潔衛生紙的樣品中，比較能明顯看出以下的規律性：纖維短的溶解量大。舒潔面紙這個規律性則較不明顯，我推測應該是紙纖維的交織方式有所不同所致，因此，我再嘗試將紙纖維與纖維的強度性質及溶解量作比較，得下圖。



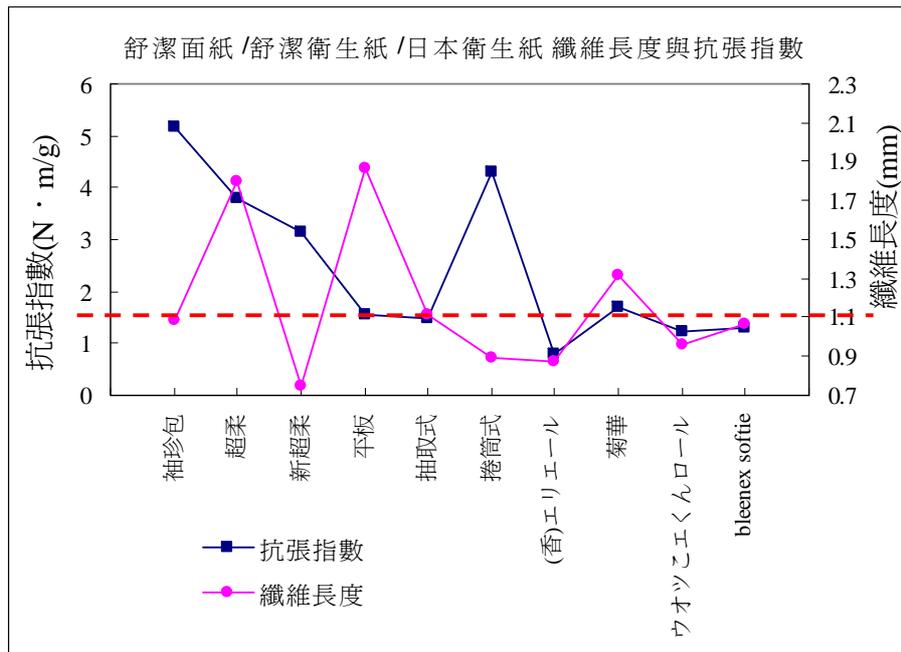
由上三圖，我發現三類紙張在纖維長度與強度性質的變化趨勢上，完全不同。舒潔面紙是：纖維長度、破裂指數和溶解量變化一致，卻和抗張指數相反；舒潔衛生紙是：抗張指數與破裂指數變化一致，與溶解量變化相反，卻和纖維長短看似關係不大，可是如果不看捲筒式衛生紙，纖維長度、抗張指數與破裂指數變化一致，與溶解量變化相反。日本衛生紙是：纖維長度與抗張指數變化幾乎一致，與破量指數也相似，而與溶解量變化相反。

大致而言，舒潔衛生紙與日本衛生紙的各項趨勢變化較相似，而面紙的纖維交織方式一定與衛生紙纖維的交織方式不同，導致舒潔面紙容易拉斷的不容易頂破；衛生紙卻是容易拉斷的也容易被頂破。但三類紙張的共同點是：抗張指數會與溶解量相反，所以我強力建議，

抗張指數應該就是決定紙張溶解難易程度的主要因素。

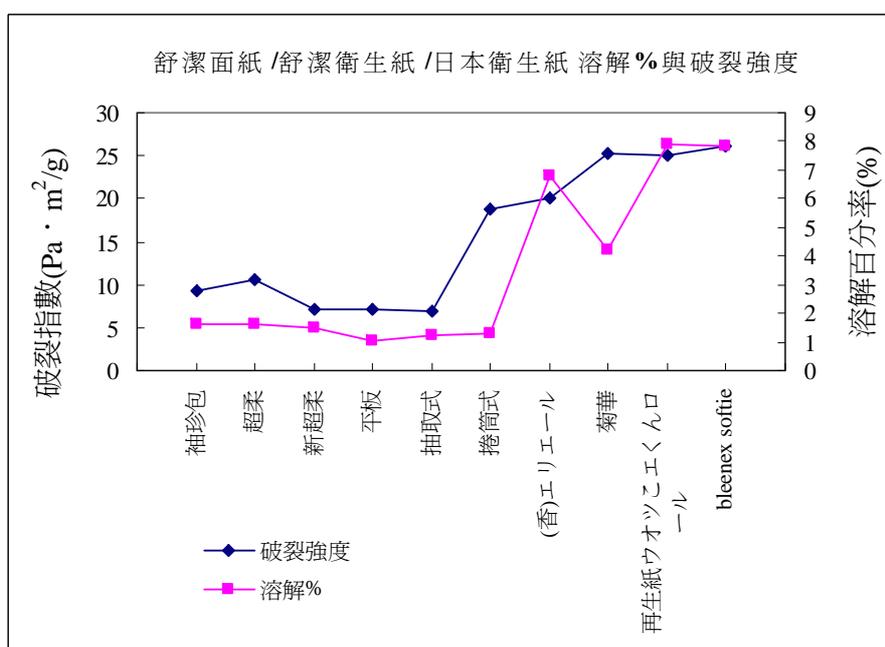
(六)、舒潔衛生紙、面紙與日本衛生紙，整體比較。

1. 纖維長度與抗張指數比較

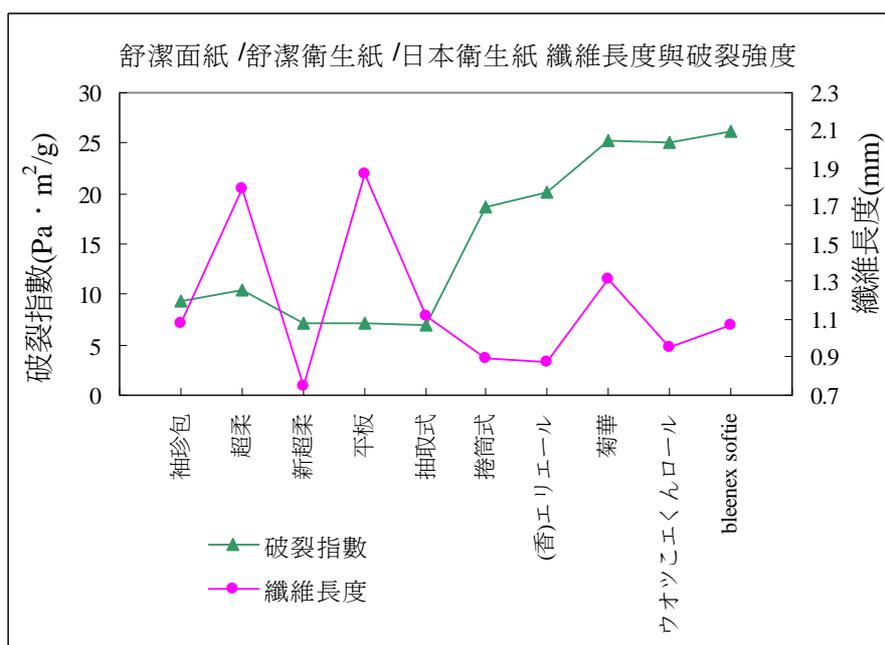


之前的分析已知抗張指數小於 $1.5\text{N} \cdot \text{m/g}$ 、纖維長度小於 1.1mm 者可沖入馬桶，我將上圖的刻度調成上述二個數值重疊(如圖中紅色虛線)，由圖中即可明顯區分出二者都在紅虛線以下的舒潔抽取式衛生紙、日本(香)エリエール衛生紙、日本ウオツこエくんロール衛生紙及日本 bleenex softie 衛生紙是可沖入馬桶的。

2. 纖維溶解百分率與破裂強度比較

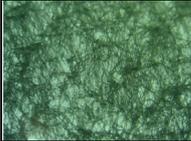
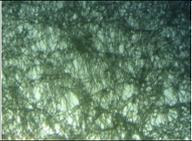
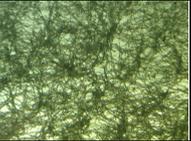
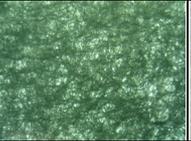
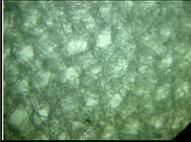
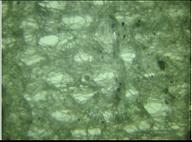
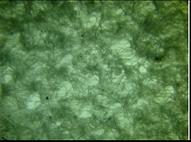


由上圖發現除菊華之外，紙張的破裂強度與溶解百分率是正相關的，而之前分析已知纖維長度 **1.1mm** 以下者，有 **5%** 以上的溶解百分率，因此纖維長度與破裂強度也會有負相關嗎？於是做了下圖比較。



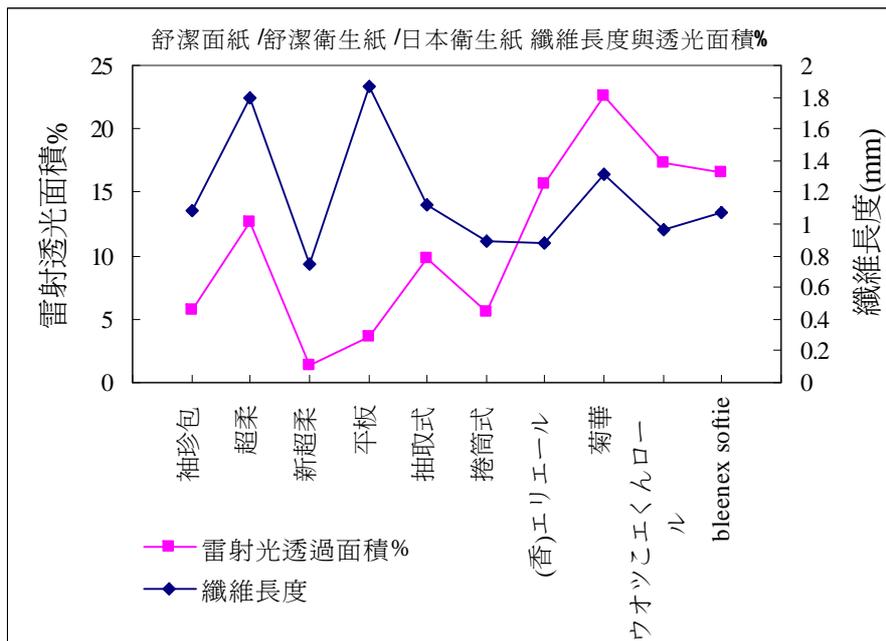
由上圖的曲線分布，大致來說，日本的纖維較短，破裂指數較大，舒潔則是纖維較長而破裂指數較小，但在這方面日本有較大的負相關，這不免讓我想進一步了解是否日本與台灣的衛生紙在纖維的交織

上有不同嗎?於是，我拍了一些紙張纖維的顯微照片(32X)。

					
袖珍包	超柔	新超柔	平板	抽取式	捲筒式
					
(香)エリエール	菊華	ウオツこエくんロール (再生紙)	bleenex softie		

由顯微照片發現，日本紙張的纖維交織較有規律，且孔隙較大；因為交織較均勻，可將壓力分散掉，所以有較大的破裂強度。舒潔紙張中的只有抽取式的纖維交織方式與日本較相似，這點與(六)-1.的結果相似。因為發現纖維交織方式不同，所以我再以自創的方法去定量纖維孔隙大小，而做了雷射透光面積百分比測量。

3. 纖維長度與雷射透光面積百分率比較



由上圖發現，舒潔紙張的纖維長而孔隙小，日本紙張則是纖維較短而孔隙較大，若以(六)-1.的結果來討論，雷射透光面積%與纖維長

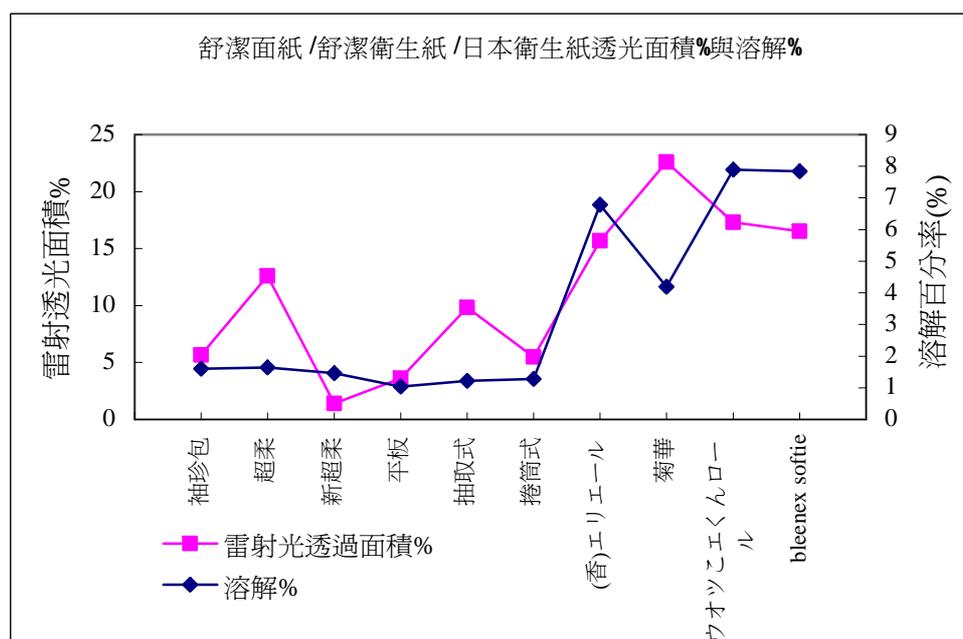
度的關係如下表：

種類	袖珍包	超柔	新超柔	平板	抽取式	捲筒式	(香)エリエール	菊華	ウオツこエくんロール	bleenex softie
透光面積%(A)	5.65	12.6	1.4	3.62	9.82	5.5	15.69	22.6	17.31	16.53
纖維長度(mm,ℓ)	1.084	1.795	0.753	1.868	1.116	0.895	0.874	1.316	0.958	1.068
$\frac{A}{\ell}$	5.21	7.02	1.86	1.94	8.80	6.15	17.95	17.17	18.07	15.48

我發現，透光面積與纖維長度比超過 8.8 以上者，是可考慮沖入馬桶的，但因菊華不可沖入馬桶，所以我認為尚需考慮抗張指數、溶解%及每張紙的厚度才行。

【註】在日本紙張中，菊華纖維最長、抗張指數及單張厚度都是最大、溶解%最小。

4. 雷射透光面積百分率與溶解百分率比較



舒潔紙張纖維較長厚度薄，交織較不規律，推測纖維屬糾結情形，纖維孔隙偏小，導致會有較強的抗張指數、較低的溶解%；也因為交織不規律，所以受壓力時較不均勻而容易破裂，而有較低的破裂強度。

陸、結論

1. 要考慮衛生紙是否可沖入馬桶中，較重要的因素有抗張指數、纖維長度、纖維交織方式、以及透光面積與纖維長度的比值。
2. 纖維的交織方式決定纖維孔隙大小、溶解%與破裂強度；紙張的破裂強度與溶解百分率是正相關的，而日本紙張纖維長度與破裂強度有較大的負相關。
3. 日本衛生紙溶解%大而濁度低，表示溶解後纖維較短，菊華衛生紙溶的少，但溶解的纖維較長，難怪日本規定菊華衛生紙不可丟入馬桶。
4. 由顯微照片可知，台灣紙張的纖維偏長、厚度較薄，纖維糾結，導致會有較強的抗張指數、較低的溶解%；日本紙張的纖維較短交織較有規律，且孔隙較大，且因為交織較均勻，可將壓力分散掉，所以有較大的破裂強度。
5. 纖維長度要約在 1.1mm 以下、抗張指數約在 1.5(N·m/g)以下、溶解百分率 5%以上、透光面積與纖維長度比超過 8.8 以上者可考慮沖入馬桶。

柒、參考資料

1. 陳慧瑩(2002)。應用碳酸鈣化學沉澱法填充木質纖維之研究。國立台灣大學森林學研究所碩士論文。未出版。台北。
2. 永豐餘集團。紙張常識。紙張技術名詞解釋。民 96 年 11 月 27 日，取自：<http://www.ptri.org.tw/newtechs/GSM2Ream.htm>。
3. 中央社。衛生紙可丟馬桶？北市環保局：丟垃圾桶為佳。民 96 年 10 月 26 日，取自：<http://news.sina.com/oth/cna/301-102-101-103/2007-10-25/21482413921.html>。