

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生應（三）化工與環科

組 別：國中甲組

作品名稱：紙不於此-探討不同回收紙製作方式對紙張厚度、摩擦係數與吸震效果之影響

關鍵詞：紙、摩擦係數、恢復係數

編 號：115JA-A004

摘要

本研究旨在探討不同製紙方式對再生紙厚度與摩擦係數之影響，並進一步應用於紙鞋墊之開發，以提升其機能性。研究以回收廢紙為原料，透過改變紙漿定型方式、濾網孔徑、過濾順序、水盆水量及漿糊添加比例等變因，分析各因素對紙張物理性質之影響。

摩擦係數採斜面法測量，並以 $\mu = \tan \theta$ 進行計算。實驗結果顯示，採用手抄式製紙、1.8mm 孔徑之濾網及先過濾之製程，可製得厚度較為均勻且品質穩定之再生紙。

綜合而言，本研究不僅釐清不同製紙條件對再生紙性質之影響，亦初步將成果應用於紙鞋墊設計，展現資源回收再利用於環境永續價值。

壹、前言

一、研究動機

在現代，紙張仍然是學習與日常生活中不可或缺的重要資源。然而，傳統造紙需消耗大量樹木，容易對環境造成負擔。因此，透過回收廢紙再利用，不僅能減少資源浪費，也有助於環境保護與永續發展。

我們利用學校廢紙來製作再生紙，發現雖然步驟看似簡單，但不同方法做出的紙張在平整度、觸感與耐用程度上仍有明顯差異。這使我們開始思考：再生紙製作過程中，哪些因素會影響紙張品質呢？

有別於以往著重書寫或美觀用途的研究，本研究將再生紙應用於「紙鞋墊」，探討其在實際使用中的功能性表現。我們聚焦於紙張受力時的摩擦力（摩擦係數）與吸震效果（恢復係數），並分析不同製作條件對這些性質的影響，期望提升其止滑與緩衝能力。此外，紙鞋墊具備可回收、可分解及低成本等優點，若能優化其結構與性能，將有機會成為傳統鞋墊材料(記憶泡棉、乳膠)的環保替代方案。

二、研究目的

(一) 探討不同製紙方式對再生紙厚度與摩擦係數之影響

1. 探討不同紙漿定型方法對紙張厚度與摩擦係數之影響
2. 探討不同孔徑大小的濾網對紙張厚度與摩擦係數之影響
3. 探討不同過濾順序對紙張厚度與摩擦係數之影響
4. 探討不同水盆水量對紙張厚度與摩擦係數之影響
5. 探討不同紙漿成分對紙張厚度與摩擦係數之影響
6. 探討不同紙漿量對紙張厚度與摩擦係數之影響

(二) 探討不同製紙方式對紙張吸震效果之影響

1. 探討不同製紙方式對紙張吸震效果之影響
2. 探討不同先過濾的紙漿量對紙張吸震效果之影響

(三) 探討不同操作手法製成的紙張之用途

(四) 探討再生紙鞋墊之應用

三、文獻回顧

(一)「纖」入為「紙」－多種纖維質廢棄物之造紙效能與品質研究

此研究以多種纖維質廢棄物作為造紙原料造出紙張。

玉米皮適合造紙且品質穩定；高濃度鹼液解纖的甘蔗渣膠質多，紙張平整白晳；雜草紙纖維明顯；竹筴纖維粗硬，紙張厚且張力低；稻草造紙品質佳且原料充足。

改變變因上，果汁機打 1 分鐘可使張力提升；200 目絹框抄紙張力較好；複合材料造紙時，添加少量甘蔗渣或柚子皮纖維可提升張力，少量竹筴纖維能使紙張硬挺。

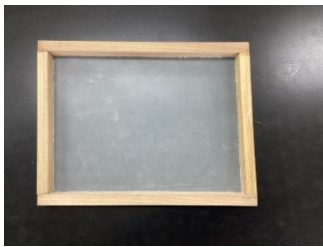







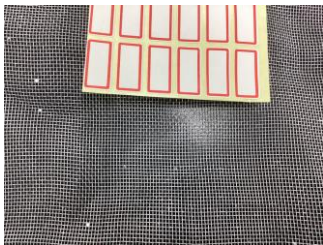
(二)高『彈』闊論～探討各種球類的反彈情形與應用

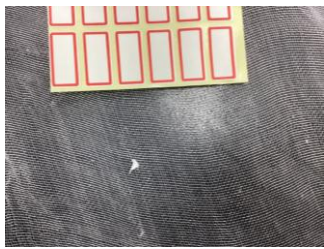

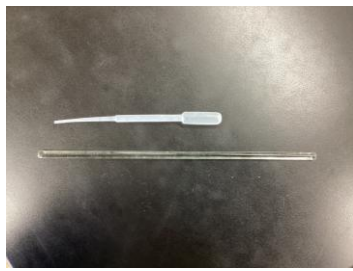


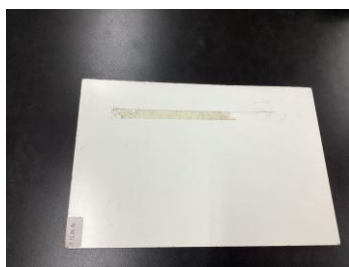
此研究共選取了網球（硬式與軟式）、乒乓球、高爾夫球及壘球等不同球類，探討其在各種條件下的反彈情形與恢復係數。

實驗測試的變因包含了球的質量、掉落高度、環境溫度（如冷凍或加熱），以及不同地面材質（如磁磚、塑膠墊、沙地等）對反彈的影響；此外，也針對自製球拍的線材鬆緊度、粗細與拍面大小進行了擊球效果測試。

比較各項變因後發現，球的恢復係數與質量無顯著相關，且軟式網球受地面材質影響最小。研究提出利用高爾夫球落下時的聲音，可檢測磁磚是否為空心的生活應用。

貳、研究設備及器材

名稱	絹網	果汁機	電子秤
照片			
說明	A4、500 目	轉速 23500RPM 205*390*170mm	3000g/0.1g
名稱	燒杯	抹布	游標卡尺
照片			
說明	1000ml；500ml；250ml	25*22.5cm	150*0.05mm
名稱	水盆	摩擦係數測量工具	1.8mm 的濾網
照片			
說明	45*35*11cm	材料：木板、塑膠板、 量角器、百鐵活頁片、 鐵釘、熱熔膠、雙面 膠、膠帶、白膠	孔徑較大（1 格大約 1.8mm）

名稱	1.0mm 的濾網	漿糊	滴管、玻棒
照片			
說明	孔徑較小 (1 格大約 1.0mm)	原料:糯米、澱粉、水、防腐劑	滴管: 3ml
名稱	高爾夫球	恢復係數測量工具	木板
照片			
說明		皮尺、壓克力管 (全長 83.5cm)	

參、研究設計與方法

一、紙張製作

1. 紙漿濃度：我們一開始設定紙漿濃度為 1：2（碎紙 50g、水 100g），發現果汁機無法攪動。於是我們固定碎紙為 50g 來測試，發現果汁機能開始攪動的最少水量為 750g。所以後續的實驗我們以相同濃度但重量較少的比例（25g 的碎紙與 375g 的水）作為紙漿的比例。
2. 攪拌時長：果汁機可攪拌的最長時間為 30 秒，因此我們一開始攪拌兩次，一次 30 秒，中間停止 30 秒，發現紙漿中還殘留一些未被攪碎的碎紙。因此後續實驗我們將攪拌時長改為攪拌 4 次，共兩分鐘。

3. 水盆水量：可淹沒絹網與絹框的最少水量為 4500g，因此我們的實驗以 4500g 的水盆水量為主。

二、紙張測量

1. 摩擦係數公式： $\mu = \tan\theta$ (μ : 摩擦係數； θ : 斜面與平面夾角)
2. 恢復係數公式： $e = \sqrt{\frac{h}{H}}$ (H : 初始高度； h : 反彈高度)
3. 摩擦係數測量：將測量的紙張測量工具平面上，逐漸提高平面傾斜角度，直到紙張開始滑動，記錄下紙張開始滑動的角度。
4. 恢復係數測量：
 - (1)將捲尺固定於壓克力管上，並立在實驗紙張與木板上
 - (2)讓高爾夫球從靜止狀態自由落下並開啟慢動作錄影
 - (3)記錄高爾夫球第一次反彈的最高高度
 - (4)每張實驗的紙張重複測量三次
5. 紙張重量測量
 - (1)將實驗紙張裁剪成邊長為 14 公分的正方形
 - (2)利用電子秤秤量實驗紙張的重量

三、名詞定義

操作手法	操作定義
手壓式	1. 利用電子秤測量出 25g 的碎紙與 375g 的水並倒入果汁機中 2. 利用果汁機以 23500RPM 的轉速攪動紙漿 2 分鐘 3. 將紙漿倒在絹網上並用手壓平
手抄式	1. 利用電子秤測量出 25g 的碎紙與 375g 的水並倒入果汁機中 2. 利用果汁機以 23500RPM 的轉速攪動紙漿 2 分鐘 3. 將紙漿倒入裝有水的水盆中 4. 將絹網放入水盆中前後搖晃 10 次並放置於水盆上瀝乾
無過濾	直接將紙漿倒入裝水的水盆中，並將絹網放入水盆中前後搖晃 10 次並放置於水盆上瀝乾
先過濾	(1)利用電子秤測量出 25g 的碎紙與 375g 的水並倒入果汁機中 (2)利用果汁機以 23500RPM 的轉速攪動紙漿 2 分鐘 (3)將紙漿透過濾網倒入裝有水的水盆中 (4)將絹網放入水盆中前後搖晃 10 次並放置於水盆上瀝乾

先倒水	(1)利用電子秤測量出 25g 的碎紙與 375g 的水並倒入果汁機中 (2)利用果汁機以 23500RPM 的轉速攪動紙漿 2 分鐘 (3)將紙漿倒入裝有水的水盆中並攪拌均勻 (4)將紙漿透過濾網倒入空水盆中 (5)將絹網放入水盆中前後搖晃 10 次並放置於水盆上瀝乾
-----	---

肆、實驗結果和分析

實驗一：紙漿定型方法不同對紙張厚度與摩擦係數之影響

一、實驗步驟

1. 以手壓式和無過濾方法製作紙張
2. 以手抄式(水盆水量為 4500g)和無過濾方法製作紙張
3. 利用游標卡尺測量兩張紙上下左右四邊的中點數據
4. 利用摩擦係數測量工具測量手壓式、手抄式紙張的摩擦係數

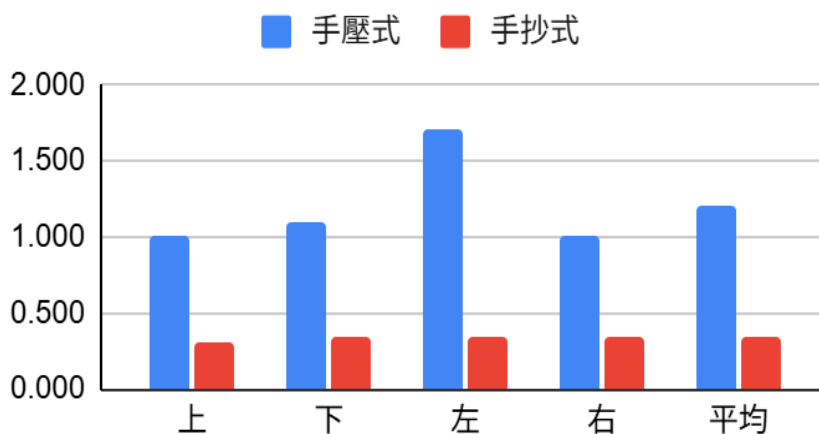
二、實驗結果與數據

1. 不同紙漿定型方法對紙張厚度之影響

實驗一-厚度(mm)	手壓式	手抄式
上	1.000	0.300
下	1.100	0.350
左	1.700	0.350
右	1.000	0.350
平均	1.200	0.338

不同紙漿定型方法對紙張厚度之影響

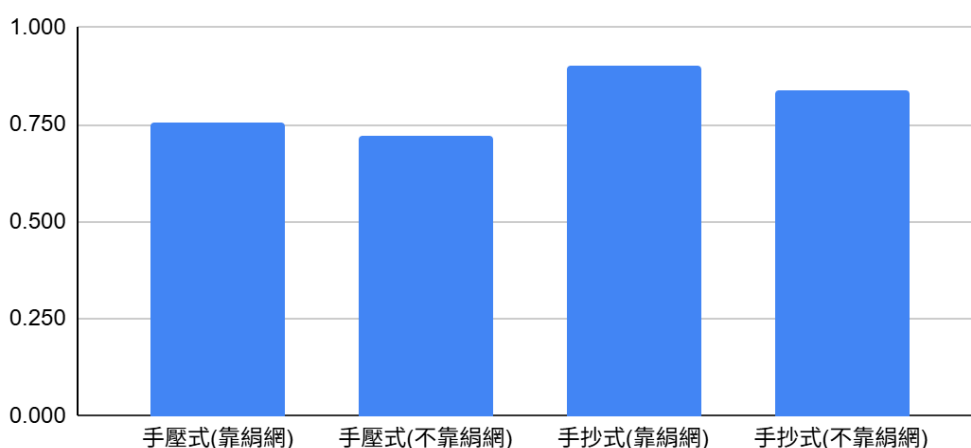
(單位:mm)



2. 不同紙漿定型方法對紙張摩擦係數之影響

摩擦係數	手壓式(靠絹網)	手壓式(不靠絹網)	手抄式(靠絹網)	手抄式(不靠絹網)
第一次	0.727	0.625	0.900	0.810
第二次	0.781	0.754	0.869	0.839
第三次	0.754	0.781	0.933	0.869
平均	0.754	0.720	0.901	0.839

不同紙漿定型方法對紙張摩擦係數之影響



三、結論

1. 手壓紙的纖維大小較不均勻，導致厚度較手抄紙厚，質地粗糙
2. 手壓紙的厚度較不平均。因此晾乾後，手壓紙的紙纖維張力分布不均，使手壓紙的翹曲程度較高
3. 手壓紙雖然質地粗糙，但因翹曲程度較高，與摩擦係數測量工具的服貼度較差，導致手壓紙在測量摩擦係數時，較易從測量工具上滑落，因此手壓紙的摩擦係數較手抄紙的摩擦係數小
4. 不靠絹網的面因定型時無平面依靠，所以較不平整，且服貼度較小。因此不靠絹網面的摩擦係數比靠絹網面的摩擦係數較小
5. 因為手抄紙厚度較薄，摩擦係數較大且翹曲程度較低，所以後續實驗將以手抄式的手法來製紙，但手抄紙表面有一些較大纖維，所以後續實驗也會加入濾網來過濾紙漿，使纖維大小均勻。
6. 後續實驗將手抄式(水盆水量為 4500g)和無過濾方法製作的紙張定義為無過濾(1)

實驗二：濾網孔徑大小不同對紙張厚度與摩擦係數之影響

一、實驗步驟

1. 使用 1.8mm 濾網以先過濾的方法(水盆水量為 4500g)製作紙張
2. 使用 1.0mm 濾網以先過濾的方法(水盆水量為 4500g)製作紙張
3. 利用游標卡尺測量紙張上下左右四邊的中點數據
4. 利用摩擦係數測量工具測量紙張的摩擦係數

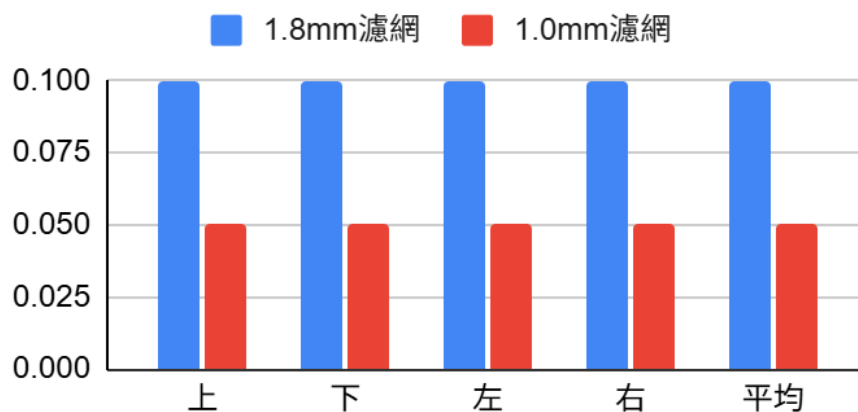
二、實驗數據

1. 不同孔徑大小的濾網對紙張厚度之影響

實驗二-厚度(mm)	1.8mm 濾網	1.0mm 濾網
上	0.100	0.050
下	0.100	0.050
左	0.100	0.050
右	0.100	0.050
平均	0.100	0.050

不同孔徑大小的濾網對紙張厚度之影響

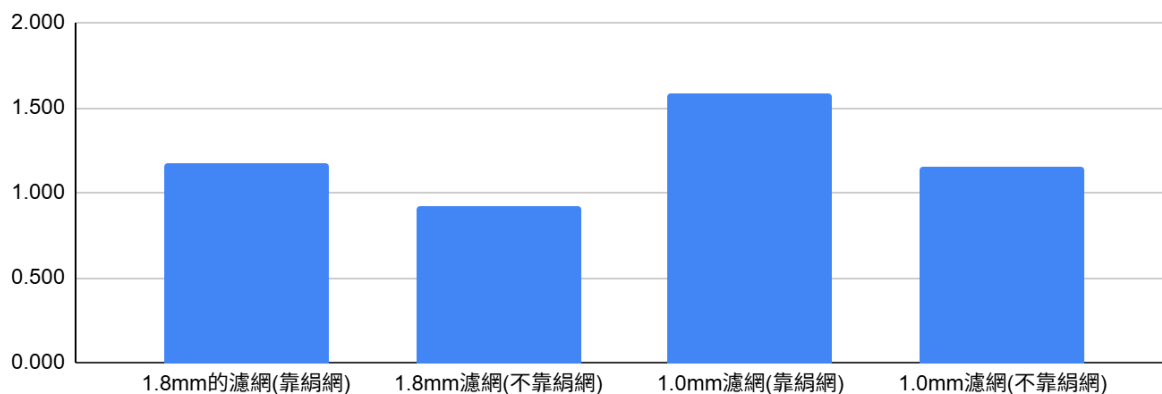
(單位:mm)



2. 不同孔徑大小的濾網對紙張摩擦係數之影響

	1.8mm(靠絹網)	1.8mm(不靠絹網)	1.0mm(靠絹網)	1.0mm(不靠絹網)
第一次	1.192	0.839	1.483	1.072
第二次	1.150	1.000	1.600	1.150
第三次	1.192	0.933	1.664	1.235
平均	1.178	0.924	1.582	1.153

不同孔徑大小的濾網對紙張摩擦係數之影響



三、結論

- 1.8mm 的濾網，能通過濾網的紙漿纖維較大，紙張較厚
- 1.0mm 的濾網，紙張纖維較細，服貼度較高，紙張摩擦係數較大
- 靠絹網面的摩擦係數較不靠絹網面的摩擦係數大，與實驗一相同
- 後續實驗將使用 1.8mm 濾網以先過濾的方法(水盆水量為 4500g)製作的紙張定義為先過濾(1)

實驗三：過濾順序不同對紙張厚度與摩擦係數之影響

一、實驗步驟

- 使用 1.8mm 濾網以先倒水的方法(水盆水量為 4500g)製作紙張
- 使用 1.0mm 濾網以先倒水的方法(水盆水量為 4500g)製作紙張
- 利用游標卡尺測量紙張上下左右四邊的中點數據
- 利用摩擦係數測量工具測量紙張的摩擦係數

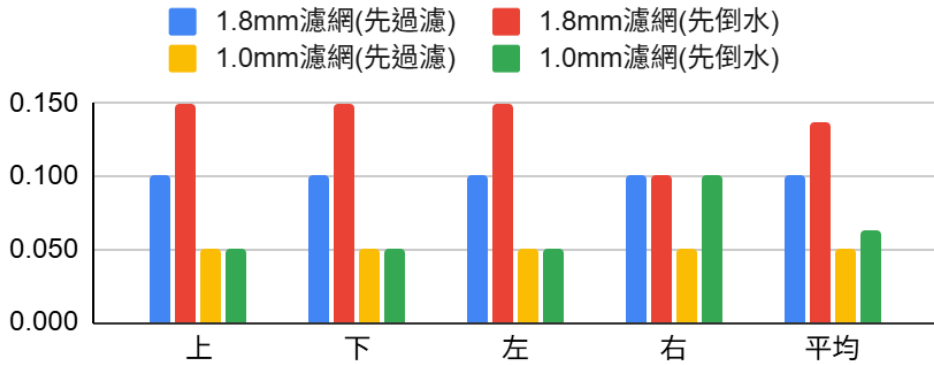
二、實驗數據

- 不同過濾順序對紙張厚度之影響

厚度(mm)	1.8mm 濾網(先過濾)	1.8mm 濾網(先倒水)	1.0mm 濾網(先過濾)	1.0mm 濾網(先倒水)
上	0.100	0.150	0.050	0.050
下	0.100	0.150	0.050	0.050
左	0.100	0.150	0.050	0.050
右	0.100	0.100	0.050	0.100
平均	0.100	0.138	0.050	0.063

不同過濾順序對紙張厚度之影響

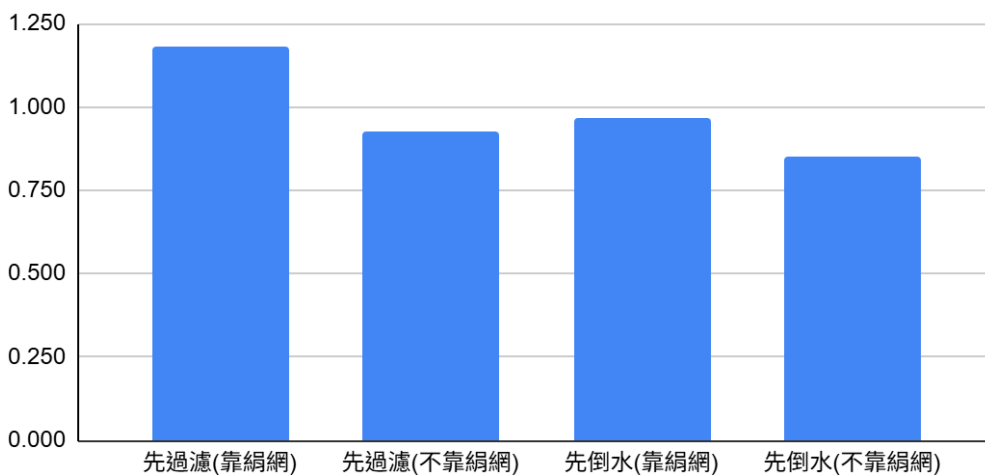
(單位:mm)



2. 不同過濾順序對 1.8mm 濾網的紙張摩擦係數之影響

	先過濾(靠絹網)	先過濾(不靠絹網)	先倒水(靠絹網)	先倒水(不靠絹網)
第一次	1.192	0.839	0.933	0.839
第二次	1.150	1.000	1.000	0.869
第三次	1.192	0.933	0.966	0.839
平均	1.178	0.924	0.966	0.849

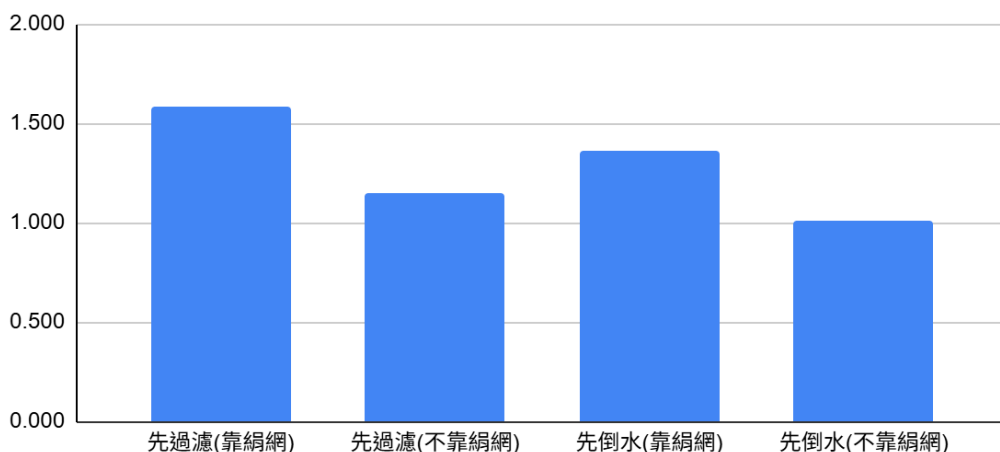
不同過濾順序對1.8mm濾網的紙張摩擦係數之影響



3. 不同過濾順序對 1.0mm 濾網的紙張摩擦係數之影響

	先過濾(靠絹網)	先過濾(不靠絹網)	先倒水(靠絹網)	先倒水(不靠絹網)
第一次	1.483	1.072	1.376	1.000
第二次	1.600	1.150	1.327	1.000
第三次	1.664	1.235	1.376	1.036
平均	1.582	1.153	1.360	1.012

不同過濾順序對1.0mm濾網的紙張摩擦係數之影響



三、結論

1. 紙漿倒入水中後，纖維會被打散得更小，而水的流動力與壓力也會使能通過濾網的纖維較多，因此先倒水的紙張較先過濾的紙張厚
2. 先倒水的紙張的纖維分布較均勻，紙張表面較平滑，導致先倒水的紙張摩擦係數較小
3. 後續實驗將使用 1.8mm 濾網以先倒水的方法(水盆水量為 4500g)製作的紙張定義為先倒水(1)

實驗四：水盆水量不同對紙張厚度與摩擦係數之影響

一、實驗步驟

1. 使用 1.8mm 濾網以先倒水的方法(水盆水量為 5500g)製作紙張
2. 使用 1.8mm 濾網以先倒水的方法(水盆水量為 6500g)製作紙張
3. 利用游標卡尺測量紙張上下左右四邊的中點數據
4. 利用摩擦係數測量工具測量紙張的摩擦係數

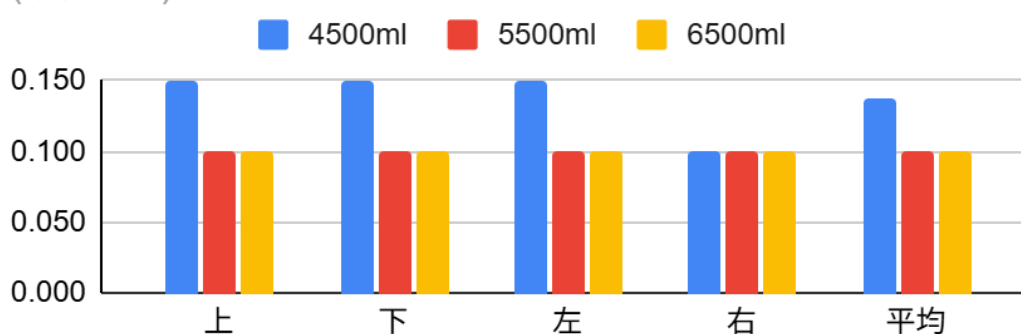
二、實驗數據

1. 不同水盆水量對先倒水 1.8mm 濾網的紙張厚度之影響

1.8mm 濾網(先倒水)(mm)	4500ml	5500ml	6500ml
上	0.150	0.100	0.100
下	0.150	0.100	0.100
左	0.150	0.100	0.100
右	0.100	0.100	0.100
平均	0.138	0.100	0.100

不同水盆水量對先倒水的1.8mm濾網的紙張厚度之影響

(單位:mm)

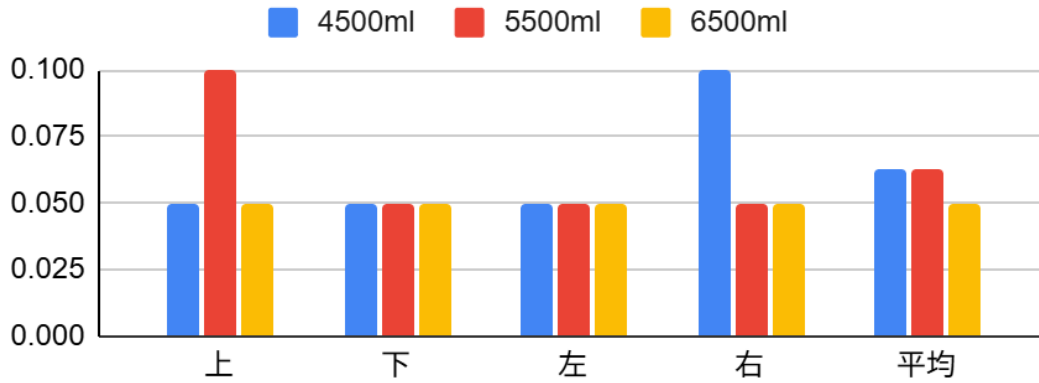


2. 不同水盆水量對先倒水 1.0mm 濾網的紙張厚度之影響

1.0mm 濾網(先倒水)(mm)	4500ml	5500ml	6500ml
上	0.050	0.100	0.050
下	0.050	0.050	0.050
左	0.050	0.050	0.050
右	0.100	0.050	0.050
平均	0.063	0.063	0.050

不同水盆水量對先倒水的1.0mm濾網的紙張厚度之影響

(單位:mm)

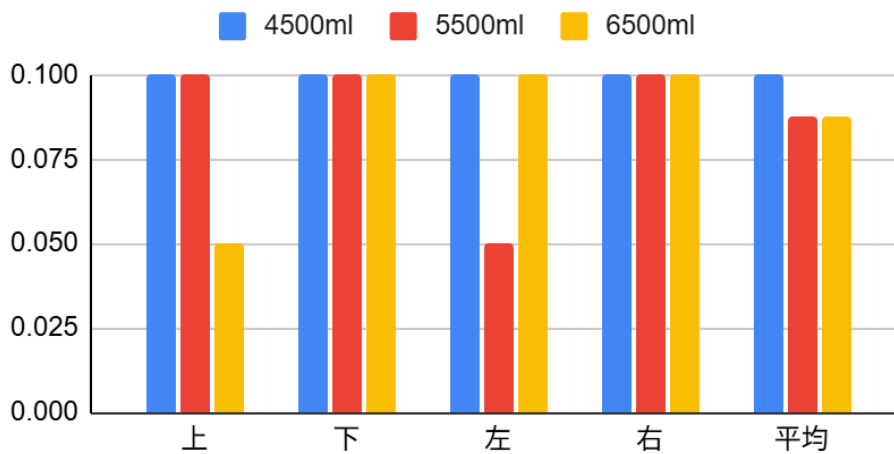


3. 不同水盆水量對先過濾 1.8mm 濾網的紙張厚度之影響

1.8mm 濾網(先過濾)(mm)	4500ml	5500ml	6500ml
上	0.100	0.100	0.050
下	0.100	0.100	0.100
左	0.100	0.050	0.100
右	0.100	0.100	0.100
平均	0.100	0.088	0.088

不同水盆水量對先過濾的1.8mm濾網的紙張厚度之影響

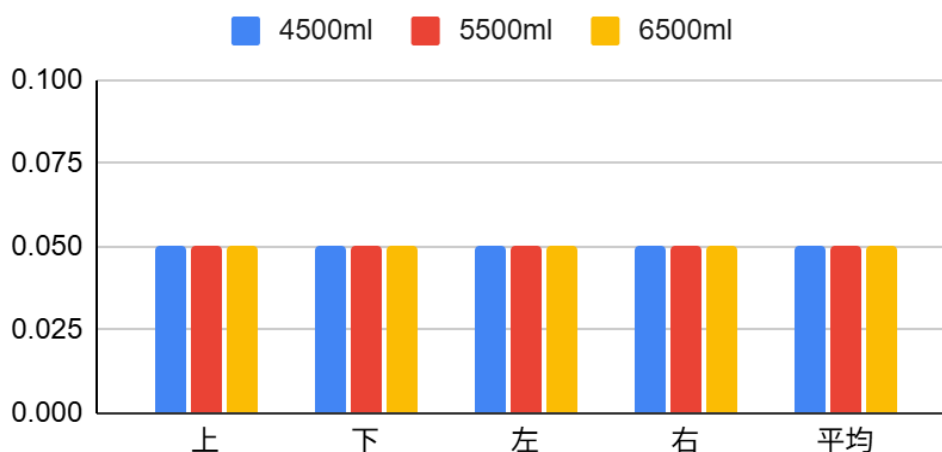
(單位:mm)



4. 不同水盆水量對先過濾 1.0mm 濾網的紙張厚度之影響

1.0mm 濾網(先過濾)(mm)	4500ml	5500ml	6500ml
上	0.050	0.050	0.050
下	0.050	0.050	0.050
左	0.050	0.050	0.050
右	0.050	0.050	0.050
平均	0.050	0.050	0.050

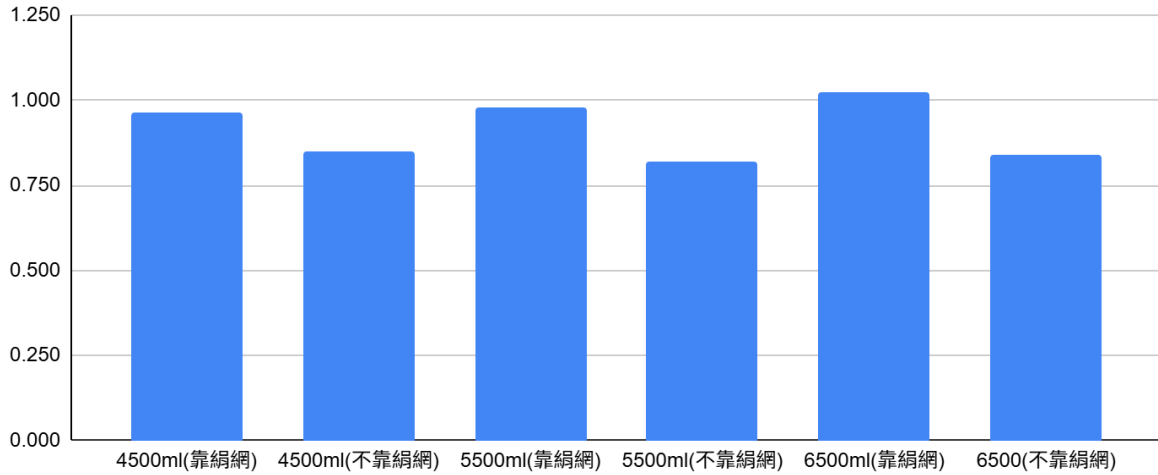
不同水盆水量對先過濾的1.0mm濾網的紙張厚度之影響
(單位:mm)



5. 不同水盆水量對先倒水 1.8mm 濾網的紙張摩擦係數之影響

1.8mm 濾網(先倒水)	4500ml(靠絹網)	4500ml(不靠絹網)	5500ml(靠絹網)	5500ml(不靠絹網)	6500ml(靠絹網)	6500(不靠絹網)
第一次	0.933	0.839	0.966	0.839	1.000	0.869
第二次	1.000	0.869	0.966	0.810	1.111	0.810
第三次	0.966	0.839	1.000	0.810	0.966	0.839
平均	0.966	0.849	0.977	0.820	1.025	0.839

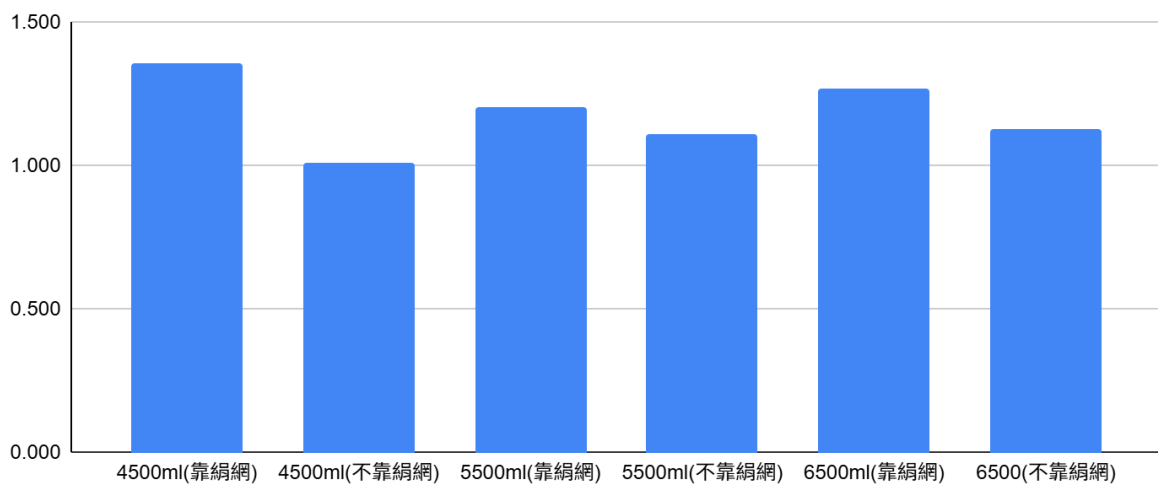
不同水盆水量對先倒水的1.8mm濾網的紙張摩擦係數之影響



6. 不同水盆水量對先倒水 1.0mm 濾網的紙張摩擦係數之影響

1.0mm 濾網 (先倒水)	4500ml(靠 絹網)	4500ml(不 靠絹網)	5500ml(靠 絹網)	5500ml(不 靠絹網)	6500ml(靠 絹網)	6500(不靠 絹網)
第一次	1.376	1.000	1.235	1.111	1.192	1.111
第二次	1.327	1.000	1.150	1.072	1.280	1.036
第三次	1.376	1.036	1.235	1.150	1.327	1.235
平均	1.360	1.012	1.207	1.111	1.266	1.127

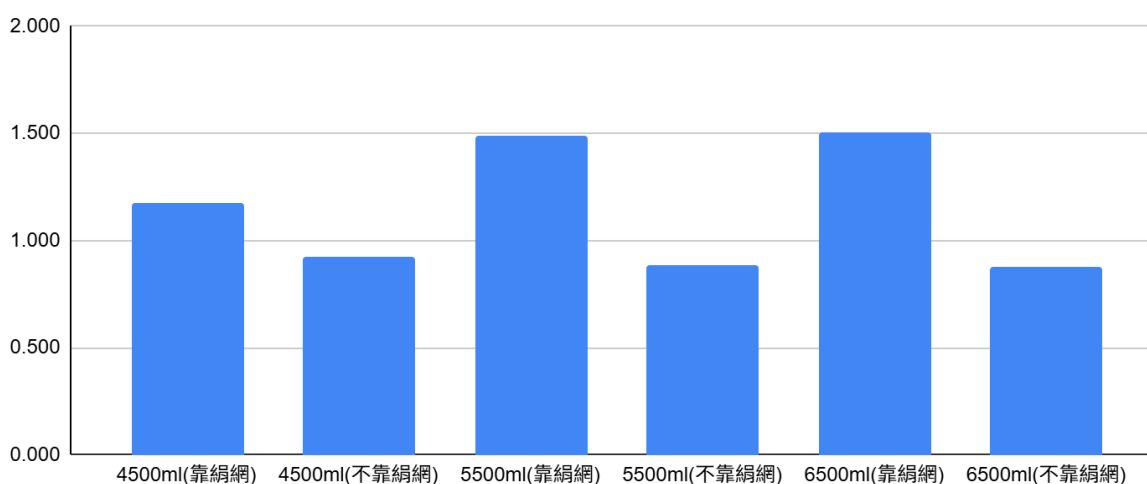
不同水盆水量對先倒水的1.0mm濾網的紙張摩擦係數之影響



7. 不同水盆水量對先過濾 1.8mm 濾網的紙張摩擦係數之影響

1.8mm 濾網 (先過濾)	4500ml(靠 絹網)	4500ml(不 靠絹網)	5500ml(靠 絹網)	5500ml(不 靠絹網)	6500ml(靠 絹網)	6500ml(不 靠絹網)
第一次	1.192	0.839	1.664	1.000	1.600	0.869
第二次	1.150	1.000	1.428	0.839	1.428	0.933
第三次	1.192	0.933	1.376	0.810	1.483	0.839
平均	1.178	0.924	1.490	0.883	1.504	0.880

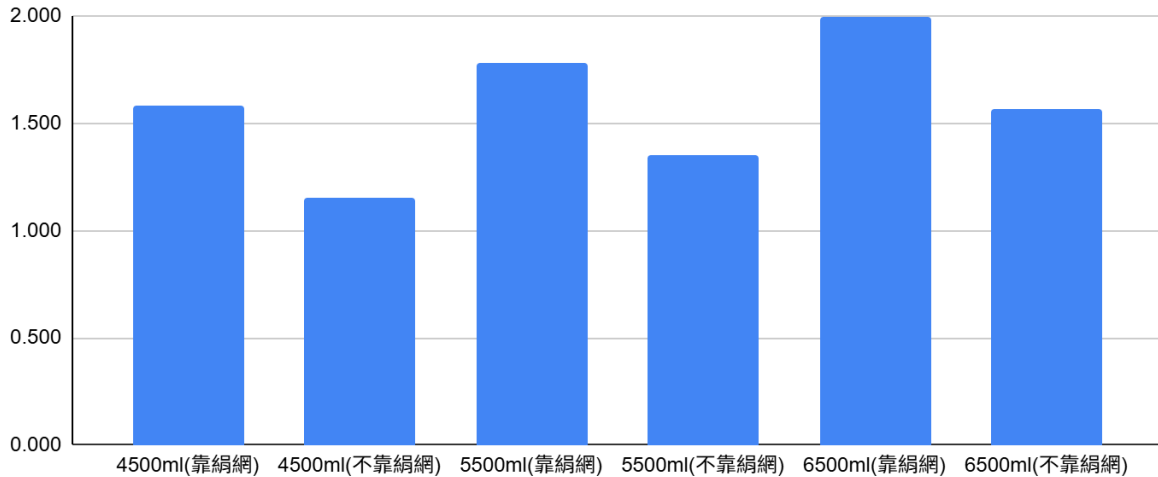
不同水盆水量對先過濾的1.8mm濾網的紙張摩擦係數之影響



8. 不同水盆水量對先過濾 1.0mm 濾網的紙張摩擦係數之影響

1.0mm 濾網 (先過濾)	4500ml(靠 絹網)	4500ml(不 靠絹網)	5500ml(靠 絹網)	5500ml(不 靠絹網)	6500ml(靠 絹網)	6500ml(不 靠絹網)
第一次	1.483	1.072	1.881	1.192	2.050	1.428
第二次	1.600	1.150	1.664	1.376	2.050	1.664
第三次	1.664	1.235	1.804	1.483	1.881	1.600
平均	1.582	1.153	1.783	1.350	1.994	1.564

不同水盆水量對先過濾的1.0mm濾網的紙張摩擦係數之影響



三、結論

1. 水盆水量較少，紙漿濃度較高，紙張厚度較厚
2. 先過濾 1.0mm 濾網的紙張較薄，紙張間的厚度差異較小
3. 不同水盆水量的紙張摩擦係數大致相同，水盆水量較多的紙張厚度較薄、服貼度較高且纖維較細小，摩擦係數較大
4. 後續實驗將利用 4500g 的水盆水量因為不同水盆水量的紙張差異不大，而 4500g 的水量製紙較快速且環保
5. 後續實驗將利用 1.8mm 的濾網來製紙，因為 1.0mm 濾網的紙張厚度較薄、容易碎裂，且厚度差異較小(不易看出方法差異)

實驗五：紙漿成分不同對紙張厚度與摩擦係數之影響

一、實驗步驟

1. 使用 1.8mm 濾網以先倒水的方法(水盆水量為 4500g)製作紙張並在紙漿中加入 50g 漿糊
2. 使用 1.8mm 濾網以先倒水的方法(水盆水量為 4500g)製作紙張並在紙漿中加入 100g 漿糊
3. 利用游標卡尺測量紙張上下左右四邊的中點數據
4. 利用摩擦係數測量工具測量紙張的摩擦係數

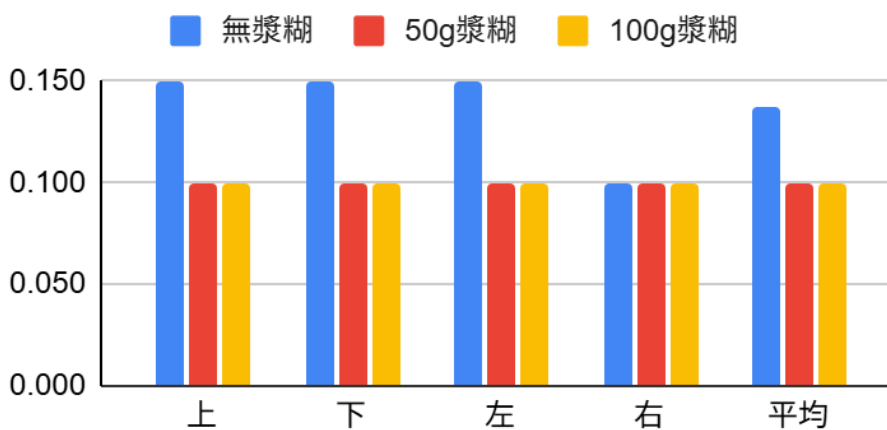
二、實驗結果與數據

1. 不同紙漿成分對紙張厚度之影響(先倒水)

先倒水(mm)	無漿糊	50g 漿糊	100g 漿糊
上	0.150	0.100	0.100
下	0.150	0.100	0.100
左	0.150	0.100	0.100
右	0.100	0.100	0.100
平均	0.138	0.100	0.100

不同紙漿成分對紙張厚度之影響(先倒水)

(單位:mm)

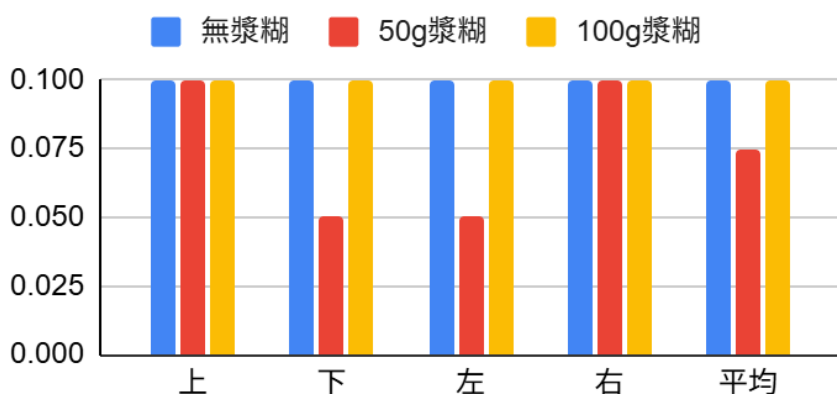


2. 不同紙漿成分對紙張厚度之影響(先過濾)

先過濾(mm)	無漿糊	50g 漿糊	100g 漿糊
上	0.100	0.100	0.100
下	0.100	0.050	0.100
左	0.100	0.050	0.100
右	0.100	0.100	0.100
平均	0.100	0.075	0.100

不同紙漿成分對紙張厚度之影響(先過濾)

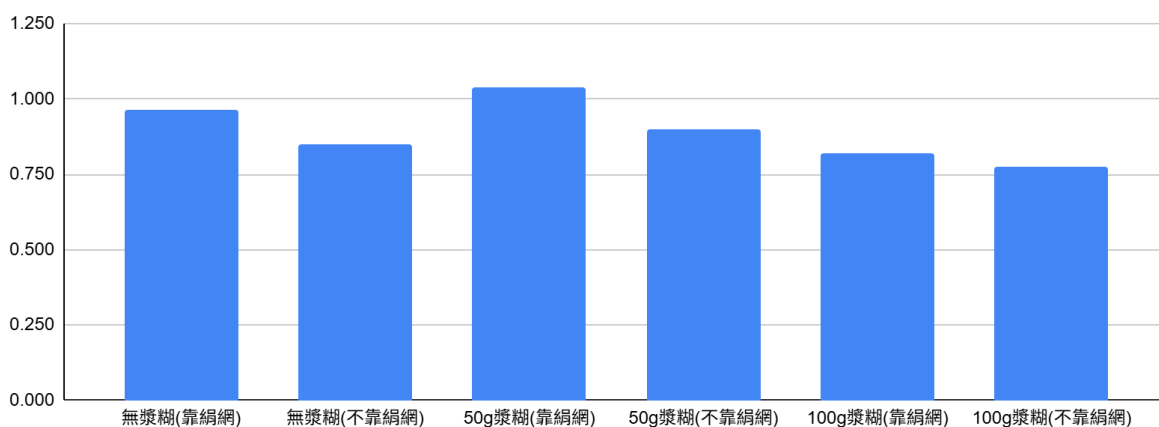
(單位:mm)



3. 不同紙漿成分對紙張摩擦係數之影響(先倒水)

先倒水 (mm)	無漿糊(靠絹網)	無漿糊(不靠絹網)	50g 漿糊(靠絹網)	50g 漿糊(不靠絹網)	100g 漿糊(靠絹網)	100g 漿糊(不靠絹網)
第一次	0.933	0.839	1.000	0.933	0.869	0.781
第二次	1.000	0.869	1.111	0.900	0.810	0.810
第三次	0.966	0.839	1.000	0.869	0.781	0.727
平均	0.966	0.849	1.037	0.901	0.820	0.773

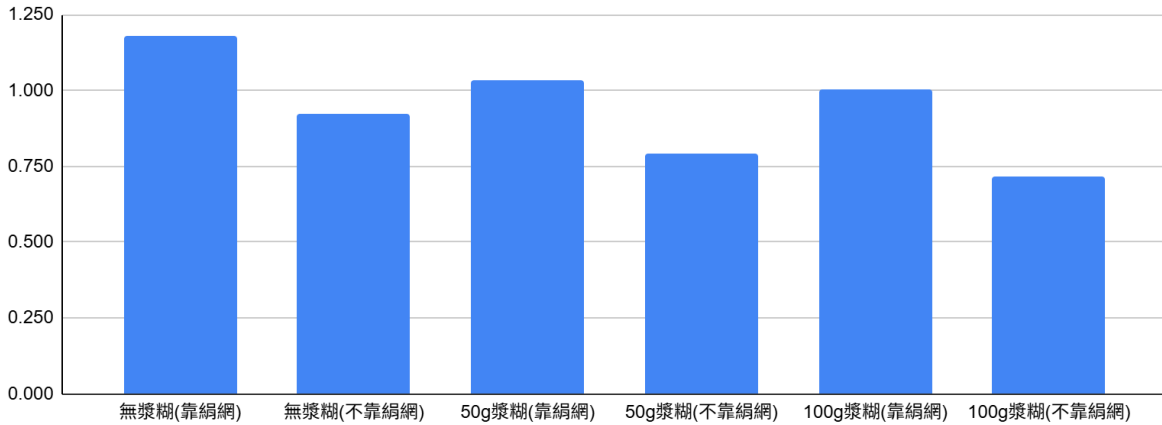
不同紙漿成分對紙張摩擦係數之影響(先倒水)



4. 不同紙漿成分對紙張摩擦係數之影響(先過濾)

先過濾 (mm)	無漿糊(靠絹網)	無漿糊(不靠絹網)	50g 漿糊(靠絹網)	50g 漿糊(不靠絹網)	100g 漿糊(靠絹網)	100g 漿糊(不靠絹網)
第一次	1.192	0.839	1.036	0.839	1.000	0.754
第二次	1.150	1.000	1.000	0.781	0.933	0.700
第三次	1.192	0.933	1.072	0.754	1.072	0.700
平均	1.178	0.924	1.036	0.791	1.002	0.718

不同紙漿成分對紙張摩擦係數之影響(先過濾)



三、結論

1. 加入不同量的漿糊與未加漿糊的紙張厚度差異不大
2. 加入漿糊後的紙漿摩擦係數較小，因為漿糊會使紙漿黏合，聚集成凸起的顆粒導致紙張與摩擦係數測量工具的服貼度較小

實驗六：紙漿量不同對紙張厚度與摩擦係數之影響

一、實驗步驟

1. 用 50g 碎紙與 750g 水以無過濾方式製作紙張：以下簡稱無過濾(2)
2. 用 50g 碎紙與 750g 水以先倒水方式製作紙張：以下簡稱先倒水(2)
3. 用 50g 碎紙與 750g 水以先過濾方式製作紙張：以下簡稱先過濾(2)
4. 用 75g 碎紙與 1125g 水以先過濾方式製作紙張：以下簡稱先過濾(3)
5. 利用游標卡尺測量紙張上下左右四邊的中點數據
6. 利用摩擦係數測量工具測量紙張的摩擦係數

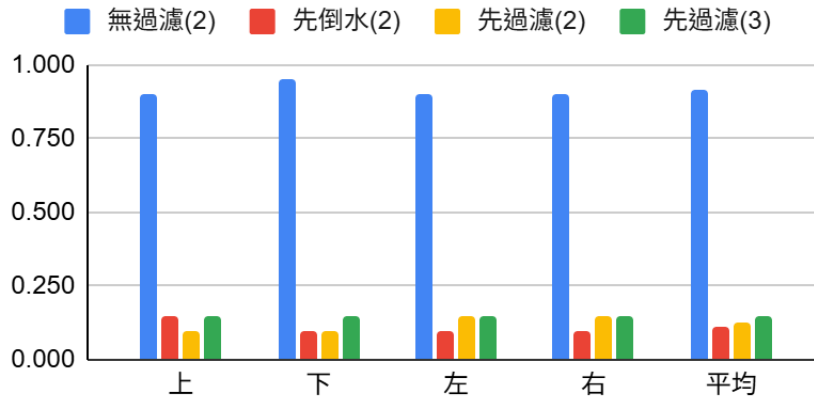
二、實驗結果與數據

1. 不同紙漿量對紙張厚度之影響

厚度(mm)	無過濾(2)	先倒水(2)	先過濾(2)	先過濾(3)
上	0.900	0.150	0.100	0.150
下	0.950	0.100	0.100	0.150
左	0.900	0.100	0.150	0.150
右	0.900	0.100	0.150	0.150
平均	0.913	0.113	0.125	0.150

紙漿量不同對紙張厚度與之影響

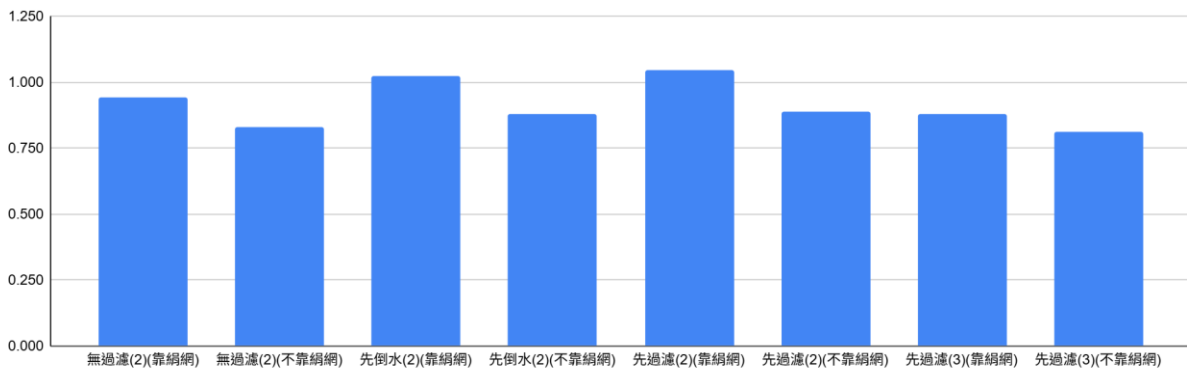
(單位:mm)



2. 不同紙漿量對紙張摩擦係數之影響

	無過濾(2)(靠絹網)	無過濾(2)(不靠絹網)	先倒水(2)(靠絹網)	先倒水(2)(不靠絹網)	先過濾(2)(靠絹網)	先過濾(2)(不靠絹網)	先過濾(3)(靠絹網)	先過濾(3)(不靠絹網)
第一次	0.900	0.810	1.036	0.900	1.000	0.869	0.900	0.810
第二次	0.966	0.839	1.036	0.839	1.036	0.900	0.900	0.754
第三次	0.966	0.839	1.000	0.900	1.111	0.900	0.839	0.869
平均	0.944	0.829	1.024	0.880	1.049	0.890	0.880	0.811

紙漿量不同對紙張與摩擦係數之影響



三、結論

1. 只有定量的紙漿能通過濾網，因此以先倒水的方法製作的兩張紙厚度差不多
2. 先過濾的紙漿可以分批過濾進入水盆中，所以紙漿量越多紙張厚度就越厚
3. 無過濾(2)厚度明顯比其他三種厚，且先過濾(3)略厚於先過濾(2)與先倒水(2)
4. 無過濾(2)的翹曲程度高，摩擦係數小。先過濾(3)的紙漿較均勻，因此摩擦係數最小

實驗七：製紙方式不同對紙張吸震效果之影響

一、實驗步驟

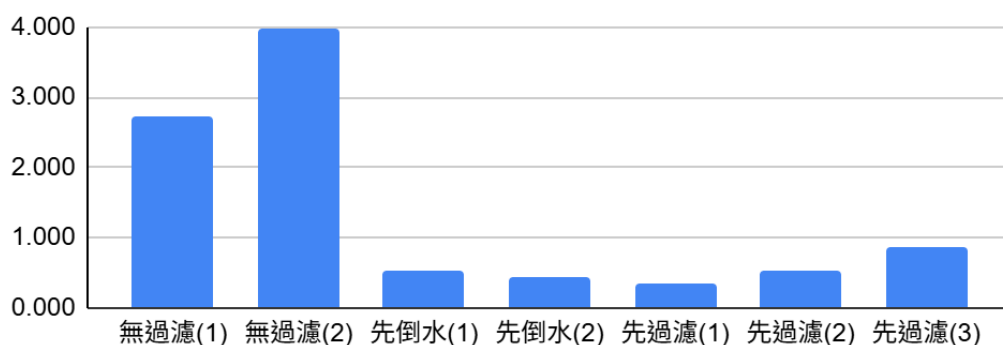
1. 挑選無過濾(1)、先倒水(1)、先過濾(1)、無過濾(2)、先倒水(2)、先過濾(2)、先過濾(3)等七種紙張進行實驗
2. 測量以上七張紙的重量
3. 測量以上七張紙的恢復係數

二、實驗結果與數據

1. 不同製紙方式對紙張重量之影響

無過濾(1)	無過濾(2)	先倒水(1)	先倒水(2)	先過濾(1)	先過濾(2)	先過濾(3)
2.732g	3.969g	0.523g	0.440g	0.354g	0.534g	0.861g

不同製紙方式對紙張重量之影響

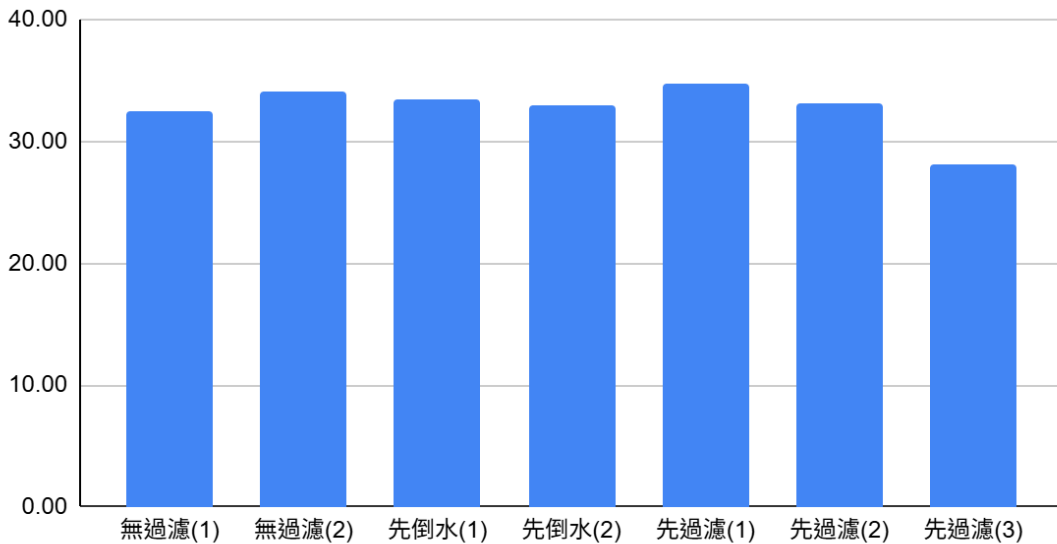


2. 不同製紙方式的紙張對球的反彈高度之影響

反彈高度 (cm)	無放紙木板	無過濾(1)	無過濾(2)	先倒水(1)	先倒水(2)	先過濾(1)	先過濾(2)	先過濾(3)
第一次	35.70	33.70	32.50	32.10	33.40	33.10	33.60	28.20
第二次	33.70	32.30	33.10	33.00	32.10	35.60	32.60	27.60
第三次	34.5	31.60	36.60	35.10	33.60	35.70	33.10	28.60
平均	34.63	32.53	34.07	33.40	33.03	34.80	33.10	28.13
恢復係數	0.644	0.624	0.639	0.632	0.629	0.646	0.630	0.580

不同製紙方式的紙張對球的反彈高度之影響

(單位:cm)



三、結論

1. 紙張重量依序為：

無過濾(2)>無過濾(1)>先過濾(3)>先過濾(2)>先倒水(1)>先倒水(2)>先過濾(1)

因為先倒水的厚度差距不大(紙漿被濾網阻隔)且無過濾的過於不平整，因此後續實驗使用先過濾的方法來製紙

2. 紙張的吸震效果依序為：

先過濾(3)>無過濾(1)>先倒水(2)>先過濾(2)>先倒水(1)>無過濾(2)>先過濾(1)

先過濾(3)的吸震效果最好，因為它的厚度較厚且紙張纖維比無過濾的紙張均勻

實驗八：先過濾手法紙張的紙漿量不同對紙張吸震效果之影響

一、實驗步驟

1. 將先過濾的 3 張紙裁剪成邊長為 7 公分的正方形，並測量各種紙張組合的恢復係數

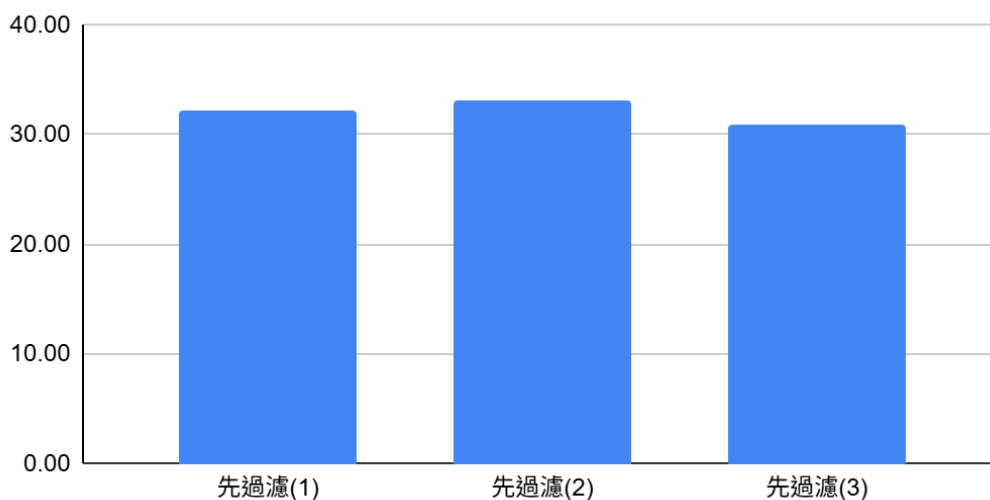
二、實驗結果與數據

1. 不同先過濾的紙漿量對球的反彈高度之影響

反彈高度(cm)	先過濾(1)	先過濾(2)	先過濾(3)
第一次	32.30	33.70	31.10
第二次	31.50	32.10	31.80
第三次	32.70	33.50	29.80
平均	32.17	33.10	30.90
恢復係數	0.621	0.630	0.608

不同先過濾的紙漿量對球的反彈高度之影響

(單位:cm)

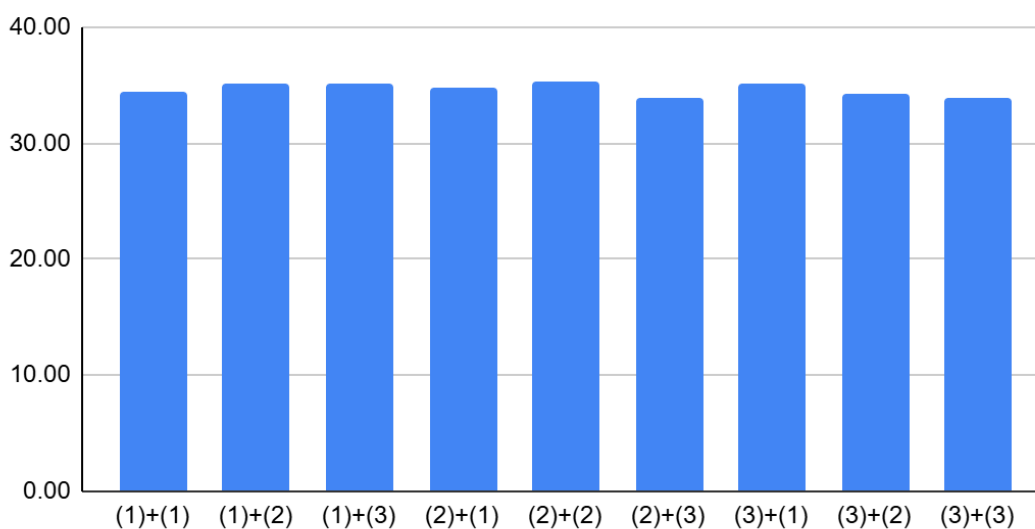


2. 不同先過濾的紙張組合對球的反彈高度之影響

反彈高度(cm)	(1)+(1)	(1)+(2)	(1)+(3)	(2)+(1)	(2)+(2)	(2)+(3)	(3)+(1)	(3)+(2)	(3)+(3)
第一次	35	34.5	35.4	35.5	36.1	33.8	35.4	33.7	33.5
第二次	34.5	35.3	35	34.8	35	33.4	36.3	34.4	34.2
第三次	33.8	35.6	35.3	34	35	34.5	34	34.5	34.3
平均	34.43	35.13	35.23	34.77	35.37	33.90	35.23	34.20	34.00
恢復係數	0.642	0.649	0.650	0.645	0.651	0.637	0.650	0.640	0.638

不同先過濾的紙張組合對球的反彈高度之影響

(單位:cm)



三、結論

1. 在單張紙的測量中，先過濾(3)的吸震效果最佳，而先過濾(1)的吸震效果略大於先過濾(2)，因為先過濾(3)的紙張厚度較厚且纖維分佈均勻，緩衝能力較佳。而先過濾(1)雖然較薄，但在外力作用下，容易壓縮變形，吸收衝擊的能量。
2. 在兩張紙的組合中吸震效果依序為：
 $(2)+(3) > (3)+(3) > (3)+(2) > (1)+(1) > (2)+(1) > (1)+(2) > (1)+(3) = (3)+(1) > (2)+(2)$
3. 紙張組合 $(3)+(3) > (1)+(1) > (2)+(2)$ 與單張紙的吸震結果一致，但反彈高度相較於單張紙皆明顯提升，甚至超越無放紙木板的結果。推測可能是紙張間有空氣夾層，在紙張產生形變後，具有較為優異的反彈能力。
4. $(2)+(3)$ 的組合吸震效果優於 $(3)+(2)$ ， $(2)+(1)$ 也優於 $(1)+(2)$ 。雖然先過濾(2)單獨的吸震效果最差，但我們推測它能使原本集中於一點的衝擊力均勻分散至下層紙張，使整體的形變較淺，吸震能力較佳。
5. $(2)+(2)$ 由於材質形變能力較差，能量較不易被吸收，因此反彈能力最為優異。

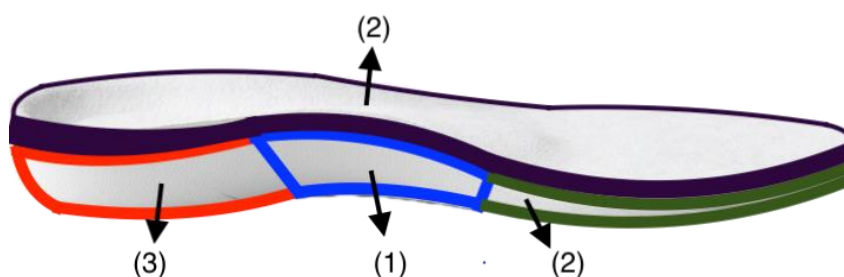
伍、研究結果與未來展望

一、研究結果

1. 根據用途的不同，我們找出適合的製紙方法及紙張特性如下：

製紙方法	特性	適合用途
手壓式製紙	翹曲程度最高、不易彎折、易碎	藝術創作、創意作品
手抄式製紙(無過濾)	厚度最厚、摩擦係數最小、表面有一些較大纖維	書寫紙、卡片用紙、包裝用緩衝紙、紙墊板
使用 1.0mm 濾網製成的紙張以及水盆水量較多的紙張	厚度最薄、摩擦係數最大	印刷紙、包裝紙
使用 1.8mm 濾網且過濾順序為先過濾的紙張	厚度中等、摩擦係數偏大	書寫紙、版畫拓印、描圖紙
使用 1.8mm 濾網且過濾順序為先倒水的紙張	厚度較厚、摩擦係數中等	書寫紙、窗紙、版畫拓印、細紋紙、描圖紙
加入漿糊的紙張	表面有細小的顆粒	裝飾用紙、包裝紙

2. 手抄式製紙搭配孔徑 1.8mm 濾網，製成的紙張較為平整且厚度適中
3. 先過濾的做法，較能夠根據需求調整紙張厚薄度，且不會影響紙張的平整度
4. 在製作過程中加入漿糊對做出來的紙張厚度差異不大。但因為漿糊乾燥過程會導致紙纖維受力不均勻，進一步使紙張表面產生凸起的顆粒。
5. 在紙張的組合中，吸震效果較好的紙張組合為(2)+(3)，推測上層的紙主要功能為支撐並分散衝擊力，下層的紙張功能為產生形變來吸震。反之，若紙張的組合，形變越淺則反彈能力越佳，如：組合(2)+(2)。
6. 人在行進過程中，腳後跟通常是最先著地的位置，需要吸震效果較好的材質，像是單張的先過濾(3)或紙張組合(2)+(3)；而前掌通常是向前推進的主要發力區，需要運用彈力較佳的材質，像是紙張組合(2)+(2)；足弓的部分需要運用支撐力較佳且有一定吸震效果的材質，像是紙張組合(2)+(1)。概念如下圖所示：



二、未來展望

1. 增加不同原料、混合比例與研究項目

未來可加入其他回收材料或天然纖維，進一步測量紙張的透氣度、耐折度、吸水性與書寫效果，並比較其對紙張品質的影響，以提升再生紙的實用性與永續價值。

2. 改良製作設備與方法

若能使用較專業的抄紙框、壓紙設備、摩擦係數及恢復係數的測量設備（如機械手臂等），可能可以進一步提升紙張的一致性，降低人為操作及實驗儀器所造成的誤差。

3. 推廣環保教育與實際應用

期望透過科學方法優化再生紙的結構，使其能作為傳統鞋墊材料（如泡棉或橡膠）的環保替代方案。可減少紙張浪費與資源的消耗。

總結而言，本研究證實回收廢紙製作再生紙在科學與環保上皆具有可行性，未來若能持續改良製作條件並拓展應用層面，將有助於推動永續發展與環境保護。

陸、參考文獻資料

- [芒草·變裝·show！－芒草纖維作為造紙新原料的可行性研究](#)
- [藻紙如此，何必砍樹～探討利用三種絲狀藻造紙 效果之比較](#)
- [「纖」人為「紙」－多種纖維質廢棄物之造紙效能與品質研究](#)
- [「紙」力更生－紙張吸收不同溶液後的最大承受張力之探討](#)
- [法網恢恢，疏而不漏-不同編織方法對網狀物恢復係數之影響](#)
- [高『彈』闊論](#)
- [愛護地球-簡易再生紙製作](#)
- [再生紙 DIY](#)