

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

佳作

080833

利用學校廢紙再製成多功能收納櫃

學校名稱：桃園市龍潭區武漢國民小學

作者：	指導老師：
小五 謝盈玟	林芸菁
小五 趙婕嵐	陳其茂
小五 楊雯婷	
小五 黃筠捷	
小五 張雅臻	
小五 楊舒涵	

關鍵詞：回收再利用、紙漿模板、收納櫃

## 摘要

基於環保的觀念以及資源回收再利用的精神，本研究針對回收的紙類，經過再製的過程，做成多功能收納櫃。實驗過程藉著試驗失重率、表面摩擦力、厚度、變形度、耐應力等方式來驗證紙漿板的特性，最後結果經過統計分析後評選出製作紙漿板的最佳條件以及紙與膠的最佳比例 (2:1)，為製作出符合需求、美觀且耐應力強的收納櫃。

成品的外型設計上，考慮應力及可堆疊性等因素，決定採取六邊形（蜂巢式）設計，並且專門為六邊形收納櫃製作一組模具，另外，更研究此模具如何將紙漿定型、脫模以及成品的乾燥方式，最終將最佳比例的紙漿填入模具中，經過乾燥的過程，做成符合需求的收納櫃，以便能運用在生活中並達到資源回收再利用的目標。

## 壹、研究動機

隨著文明及科技的進步，帶來嚴重的環境問題，環境保護成為大家關注並努力的目標，因此，如何將資源回收再利用成為人類積極研究的議題。在我們的生活中，許多的日常用品使用後丟棄常會產生環境汙染問題，因為它們常是不易被分解的工業產品，所以大家都希望這些廢棄物能夠回收再利用，為了減少原料的開發。

校園中常見的廢棄物有塑膠、鐵類、紙類、木頭、落葉等，皆可以進行回收再製的研究，本研究特別針對回收的廢紙，研究如何藉著可行的製程，製成可在生活中使用的產品。就廢紙的應用性來說，我們看到網路、科展等研究，碎紙漿可以塑造成藝術品、水泥紙漿磚等許多用途，因此，我們再度思考，碎紙的用途還可以再增廣嗎？於是，我們想到生活中、校園裡常常需要收納物品、文具的小格櫃，於是，這些讓空間使用最大化、節省金錢與做到回收再利用的小收納櫃之構想因此誕生，希望藉著可行的製造方法及過程，將校園內的廢紙製做出符合使用之耐應力強、收納能力佳、堆疊性好而且美觀的收納櫃來，以達到珍惜資源、環境保護、愛護地球的目標。

## 貳、研究目的

本研究依據研究主題，逐步找出合適製作收納櫃紙漿板模的製作條件、過程及方法，以做出符合需求之收納櫃為本研究之目的。

- 一、探討廢棄碎紙製作紙漿板的製作過程及方法。
- 二、嘗試找出製作紙漿之碎紙與白膠的最佳比例，以符合收納櫃之特性需求。
- 三、測量各紙漿模板的失重率、表面摩擦力、厚度(收縮量)、變形度、耐應力等特性。
- 四、探討符合校園或生活中使用之收納櫃的外形與尺寸規格。
- 五、設計並製作符合收納櫃之木製模具，需達到結構堅固、容易填料、快速乾燥、方便拆模等需求。

## 參、研究設備及器材

### 實驗一、二、三

- |          |              |             |
|----------|--------------|-------------|
| 1. 紙漿板模具 | 8. 電子磅秤      | 15. 量角器     |
| 2. 保鮮膜   | 9. 滾輪        | 16. 砝碼      |
| 3. 電磁爐   | 10. 碎紙機      | 17. 乾電池(測重) |
| 4. 鍋具    | 11. 漏杓       | 18. 塑膠手套    |
| 5. 白膠    | 12. 游標尺      | 19. 鋸臺      |
| 6. 橡皮刮刀  | 13. 彈簧秤      | 20. 圓鋸機     |
| 7. 量杯、量筒 | 14. 自製平整度測量器 |             |

### 實驗四

- |       |        |       |
|-------|--------|-------|
| 1. 木板 | 4. 角尺  | 7. 電鑽 |
| 2. 捲尺 | 5. 砂紙  | 8. 釘槍 |
| 3. 鋸臺 | 6. 圓鋸機 | 9. 油漆 |

### 實驗五

- |          |              |           |
|----------|--------------|-----------|
| 1. 電鑽    | 7. 尼龍紮線帶     | 13. 量杯、量筒 |
| 2. 塑膠瓦楞板 | 8. 自製烤箱      | 14. 擀麵棍   |
| 3. 保鮮膜   | 9. 電控線路設備    | 15. 橡皮刮刀  |
| 4. 磨砂紙   | 10. 鍋具       | 16. 漏杓    |
| 5. 白膠    | 11. 收集碎紙或碎紙機 |           |
| 6. 美工刀   | 12. 電子磅秤     |           |

## 肆、研究過程及方法







為瞭解紙漿的各種物理特性，本研究根據各種實驗參數，製作測試用的紙漿模板，初步實驗先製作 3 片模板以決定紙漿的製作方法，接著，以不同比例的白膠製作 10 片紙漿模板，經過各種實驗，測試其物理特性，最後選擇最佳的條件來製作成品-六邊形收納櫃。各實驗如下所述：

**實驗一：嘗試使用絞碎後的廢紙，混和白膠後製作紙漿板，並比較形塑各紙板模的方法。**

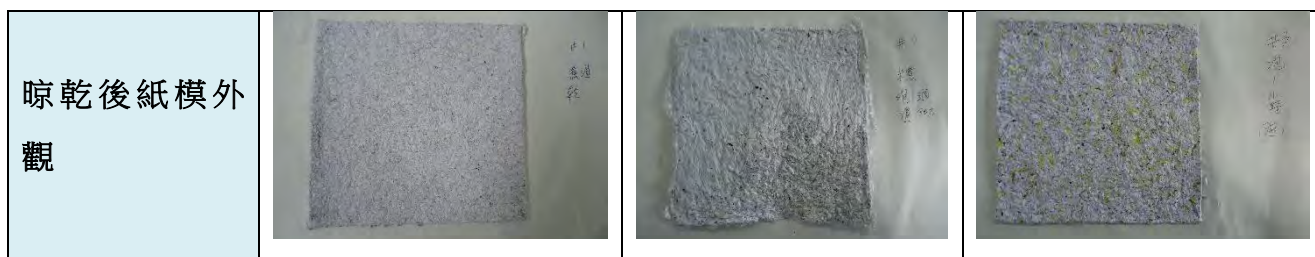
我們查閱網路訊息，看到回收紙漿製作均會使用泡軟、加熱方法；但生活中，考慮各種因素，因此嘗試以加熱、浸泡與直接加工等方法製作紙漿板並加以比較，初次實驗以 1cm 的模具製作紙漿板。

### (一)操作順序

1. 先將部分碎紙用水浸泡一週。
2. 事先將部分碎紙用水煮過，待水滾後計時一小時熄火。
3. 分別將浸泡與水煮碎紙撈起，放置二週晾乾。
4. 將碎紙泡水 30 分鐘擰乾，使其軟化後再拌白膠。
5. 分別以磅秤量好紙為 150 公克、白膠 100 公克及水 50 公克，共 300 公克的比例加以混合為紙漿鋪板晾乾。
6. 逐一探討成品其變化、重量、表面粗糙度、收縮量、變形度及耐應力。

編號 狀態	19-1 水煮一小時，晾乾一週	19-2 泡水一週，晾乾一週	19-3 直接泡水軟化擰乾
原始碎紙外觀			
加工後紙模外觀(濕)			

<sup>1</sup> 在製做紙漿板過程中，我們採分工方式，同一人擰乾碎紙、秤量、攪拌與鋪模。目的是讓操作過程中的人為因素例如施力不均等因素減至最低。



**實驗二：在相同質量形塑碎影印紙紙漿中添加不同比例的白膠，探討其承載與紙漿板的變化。**

經由實驗一的比較探討，我們發現水煮和浸泡方法耗時、耗工之外，其表現也未最為各項均較佳，因此，我們選擇直接將碎紙泡水軟化後直接拌膠來製作板模。而模具方面，實驗一所使用的 1.0cm 厚度之模具製作出的紙漿板變形量較大，因此，再次製作 1.2cm 厚度的紙漿板模具，以不同條件製作 10 片測試片。製作紙漿時，白膠的比例很重要，因此我們將探討不同膠的比例所做出來的紙漿板變化並在過程中記錄各數據。











### (一) 操作順序

1. 先將碎紙用水浸溼軟化擰乾。
2. 以溼碎紙秤重 300 公克，分別將白膠以 50%、47%、44%、41%、38%、33%、29%、23%、17%、9% 比例製作紙漿模板。
3. 紙漿鋪板晾乾二週後觀察其變化。
4. 逐一探討紙漿板的變化如，重量、摩擦力、收縮量(厚度)、變形度(平整度<sup>2</sup>)及耐應力等。

編號	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
白膠重 (g)	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30
紙：膠比例	1:1	10:9	5:4	10:7	5:3	2:1	5:2	10:3	5:1	10:1
白膠比率	50%	47%	44%	41%	38%	33%	29%	23%	17%	9%
成品外觀	如下另起圖片表									

<sup>2</sup> 23 系列平整度探討記錄於研究結果與討論中詳細呈現。

成品照片

 <p>23-1</p>	 <p>23-2</p>	 <p>23-3</p>
 <p>23-4</p>	 <p>23-5</p>	 <p>23-6</p>
 <p>23-7</p>	 <p>23-8</p>	 <p>23-9</p>
 <p>23-10</p>		

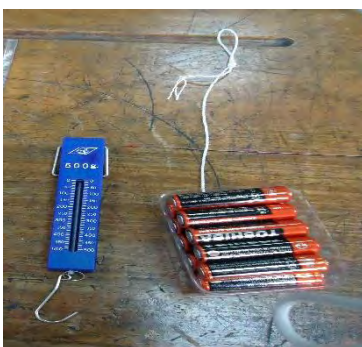
### 實驗三：紙漿測試模板的各項特性實驗

根據以上所製作之模板，切割成實驗試片（19cm × 5cm），我們欲驗證各式片之平整度及耐應力，為找出適宜的紙漿比例，最終要填入模具內組合成六角形收納櫃，以下依序測試各模板之失重率、摩擦力、厚度、變形度及耐應力，分述如下。

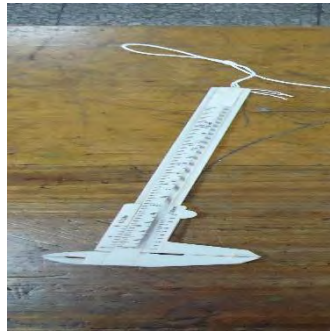
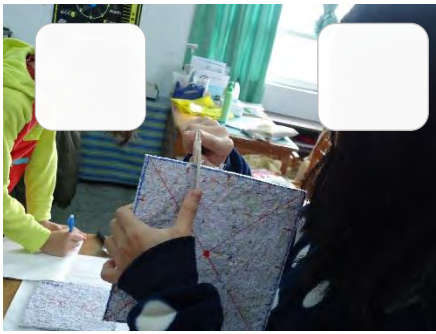
（一）**失重率量測**: 失重率是指紙漿乾燥前及乾燥後之重量的差異，失重率高低可判斷紙漿中固成分與水分的比例關係，可能會影響成品之收縮量、變形量或物品的承載能力。使用電子磅秤測量紙漿模板之乾燥前及乾燥後之重量的差異，為了解其平整度，以作為變形量的參考。

$$\text{失重率} = \frac{\text{紙漿乾燥前重量(g)} - \text{紙漿乾燥後重量(g)}}{\text{紙漿乾燥前重量(g)}} \times 100\%$$

（二）**摩擦力試驗**: 以摩擦力實驗測量各試片之表面光滑程度。摩擦力的表現是想了解每塊紙漿板的平滑程度，摩擦力越小代表其較平滑，因材質關係，紙漿板已具有相當程度的摩擦力，不至於造成物品滑落，因此，我們要尋找出摩擦力最小，但也能使表面均勻且不易變形的紙漿板來做為考量。測試時，測定多個點為了解各紙漿板的平滑程度是否均勻。設定每塊紙漿板為九宮格有九個施測點。並以彈簧秤拖拉盒裝電池，若盒裝電池移動，則其達到施力上限，以測量各摩擦力大小。而摩擦力測試重物之總重量為 284g。



（三）**厚度測量**: 成品厚度的表現是想了解每塊紙漿板的側面薄厚度是否均一，也在測量是否變形之外，更為精細的探討變形差異。實驗以游標尺測量各試片之四邊厚薄度，量測時，同時測定多個點為了解各紙漿板的厚度是否均勻。設定每塊紙漿板每邊 4 點共 16 點，做為使用游標尺的施測點。



厚度量測點

↑	↑	↑	↑
←			→
←			→
←	↓	↓	↓

(四) **變形度測量:** 紙漿板表面平整，我們也才能放置物品達到「平穩」的功效。因此，我們也需了解它們是否平整；成品平整度的表現是想了解，六邊形的每個平面是否平整，也在手觸觀察之外，更為精細的探討差異。實驗以自製之平整度測量器來測量各式片之平整度以確認其變形程度。將測試板區分為 16 格，做為深度的施測點。同時測定多個點是為了解各紙漿板的平整度是否均勻。在測試平整度時，特將測量器鎖於桌邊，為了增加測量器的穩定性。



變形度測試點

<b>P1</b>	<b>P5</b>	<b>P9</b>	<b>P13</b>
<b>P2</b>	<b>P6</b>	<b>P10</b>	<b>P14</b>
<b>P3</b>	<b>P7</b>	<b>P11</b>	<b>P15</b>
<b>P4</b>	<b>P8</b>	<b>P12</b>	<b>P16</b>

(五) **耐應力試驗:** 成品的承載能力是我們關注的重點之一，畢竟最後放置物品時，能負荷的重量愈大愈佳。測量時，分別將各試片一端夾於桌緣，另一端吊以砝碼，測其彎曲 30 度角時，所需的重量，以判定其材料的耐應力。紙板條規劃為 4 格，在紙板條的 1/4 處壓住固定；並在紙板條的 1/2 處懸掛砝碼施測。每顆砝碼事先秤重確定其為 10g 重，並以傾斜 30 度為限制。設定傾斜 30 度，是我們經過討論，認為傾斜 30 度以內尚可放置物品；而傾斜超過 30 度，即便可以放置、紙漿板未破，但已過度傾斜不好放置物品，因此不再探討。

#### 實驗四：收內櫃模具設計及製作

因考慮收納櫃之承受應力問題及組合之方便性，經小組討論後，設計六邊形之收納櫃。為了製作一體成形的收納櫃，我們需要設計及製作符合需求的模具，操作程序如下。



### (一) 操作順序

1. 根據欲製作之收納櫃尺寸，先於紙上製圖，已確定各邊之角度與尺寸。
2. 考慮成品之耐應力問題，在模具的設計上，在六個內角加厚（內導角）以加強耐應力。
3. 本實驗之模具分內模具及外模具，模具圖面及尺寸確定後，以油性筆繪製於木板上。
4. 使用圓鋸機切割木板（考慮安全性，由指導老師操作），再將切下之木板進行研磨。
5. 將內模具各部分以釘子固定組合，外模具以軸承鉸鏈連結，以具有活動性。
6. 將內模具及外模具個別鑽透氣孔，以加快成品之乾燥時間。
7. 塗上亮光漆為防水及防止與白膠黏著，以方便脫模。



繪圖裁切



組裝內模具



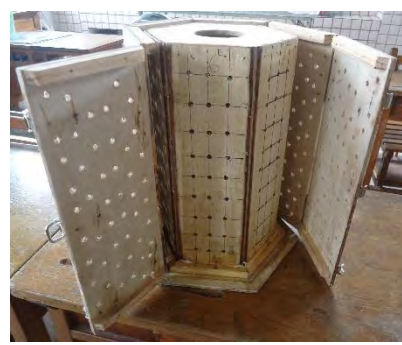
外模鑽洞成形



內模鑽洞成形



內外模具合併俯瞰



內外模具合併與展開

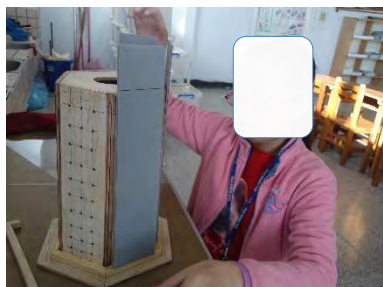
### 實驗五：自製紙漿板模櫃。

根據實驗一至實驗四所得的結果就可以著手製作紙漿收納櫃，將最佳比例的紙漿填入模具中，經過乾燥後拆模即可做出一個符合我們需求的產品，操作程序如下。

#### (一) 操作順序

1. 將內模具加上 6 塊隔板，並包覆保鮮膜。
2. 打開外模具，包覆一層保鮮膜，並推平以貼住外模具內側。

3. 填上碎紙與白膠之混和材料於外模子上。
4. 以滾筒將材料壓平，並維持 1.2cm 的厚度。
5. 將填好紙漿的外模具包覆在內模具上並扣緊之。
6. 使用自製簡易烘箱烤約 3 小時，以初步定型，接著自然風乾。
7. 自然風乾 10 小時後，拆外膜具並除去保鮮膜，再以吹風機吹乾成品表面後，自然風乾約 1 天（視氣候而定）。
8. 待成品結構具有支撐能力時，抽去隔板並取出內模具。
9. 待成品完全乾燥後即完成收納櫃之製作程序。
10. 為了增加防水性及美觀塗上油漆於成品表面上。
11. 若需更牢固組合，可於成品上以電鑽鑽洞並以束帶固定之。



內模具加分離板



內模具包保鮮膜



外模具包覆一層保鮮膜



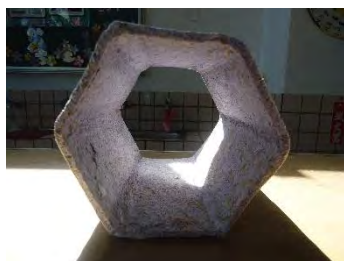
填上碎紙與白膠之混和紙漿



滾筒將材料壓平



外模包覆在內模上並扣緊風乾



成品正面



成品側面



成品組合圖

..

## 伍、研究結果與討論

### 一、探討紙漿製作過程差異，所產生的結果。

將 19-1、19-2、19-3 每塊紙板邊緣變形裁切掉，保留中間正方形測量。其簡要測量紀錄結果如下。

編號	19-1	19-2	19-3
狀態	水煮一小時，晾乾一週	泡水一週，晾乾一週	直接泡水軟化擰乾
晾乾後板模重量(g)	68	54	67
失重率(%)	77%	82%	78%
成品變化	已乾，可撕膜。 眼觀變形程度尚均。 手觸均勻，稍有凹凸	已乾，可撕膜。 眼觀變形程度尚均。 手觸粗糙，凹凸明顯	已乾，可撕膜。 眼觀變形程度尚均。 手觸稍粗，稍有凹凸
摩擦力(g)	107.78	65.56	80.00
成品收縮量(厚度)(cm)	3.84	4.41	4.50
成品耐應力(承載力)(g)	360	720	880

不同的紙漿板製作方法均會讓其最後重量損失，但失重率相距不大。水煮漿法 (19-1) 讓成品變形成度最少，其表面摩擦力、收縮量、變形度的均質性最好。然而水煮漿法卻是讓厚度最薄而影響其耐應力最差。反觀，直接泡水軟化擰乾拌膠 (19-3) 法所得到的成品最厚，且應力最好。雖然在摩擦力和收縮量（厚度）的均質性上雖未最佳，但可克服以防止其變形。

考量製作初衷，節能環保，在製作時間、省時省能上的綜合考量，我們決定以直接泡水軟化擰乾拌膠法做為探討的下一步驟。

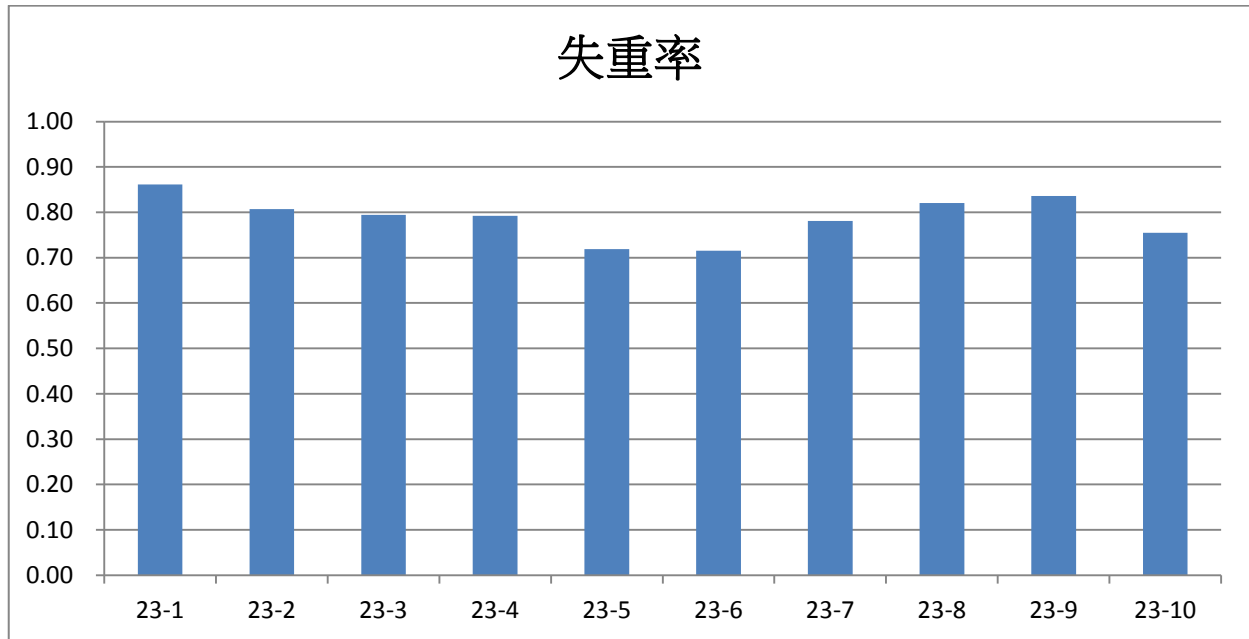
### 二、探討不同比例白膠的紙漿板所測得的特性

將 23-1~23-10 逐一每塊紙板邊緣嚴重變形部分裁切掉，保留中間正方形測量。另外，23 系列共有 10 片，為避免資料龐大、圖形複雜，因此我們採取三片 (23-1~23-3)、三片 (23-4~23-6)、四片 (23-7~23-10) 逐一比較則優其一。其中，若有資料接近難以取捨者，則保留再討論。

### (一) 失重率量測結果

無論製作方法為何，成品水分皆會大量耗損，重量減輕許多。其測量紀錄結果如下。

	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
原重	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330
後重	83	110	111	106	135	128	92	70	59	81
失重	517	460	429	404	345	322	328	320	301	249
失重率	0.86	0.81	0.79	0.79	0.72	0.72	0.78	0.82	0.84	0.75



由上圖表得知，失重率最少為 23-5 和 23-6，而 23-10 排名第二。重量減少較多，其失重率高，耗損率也高，同樣也對應出成品較易變形，如 23-9 由外觀亦可觀察到其變形程度最高。失重率小至大依序為 23-5、23-6、23-10、23-7、23-3、23-4、23-2、23-8、23-9、23-1。本實驗就失重率評分，失重率最小者給予 10 分，第二者給予 9 分，依此類推，評分統計如下表所示。

	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
失重率	0.86	0.81	0.79	0.79	0.72	0.72	0.78	0.82	0.84	0.75
評分	3	6	7	7	10	10	8	5	4	9

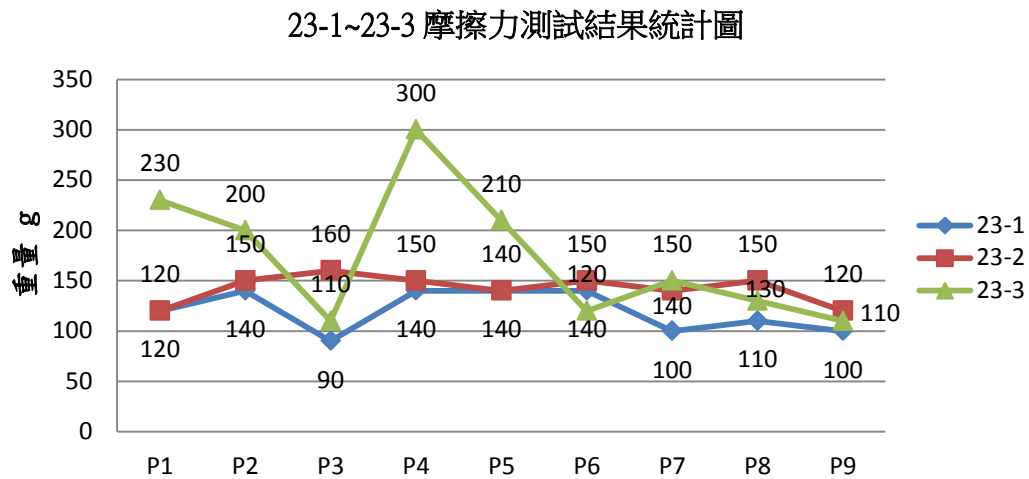
### (二) 摩擦力試驗結果

1. 統計 23-1~23-10 各試片的摩擦力測試值，含最小值 (Min.)、最大值 (Max.)、平均值 (Avg.) 等，資料統計如下表所示。

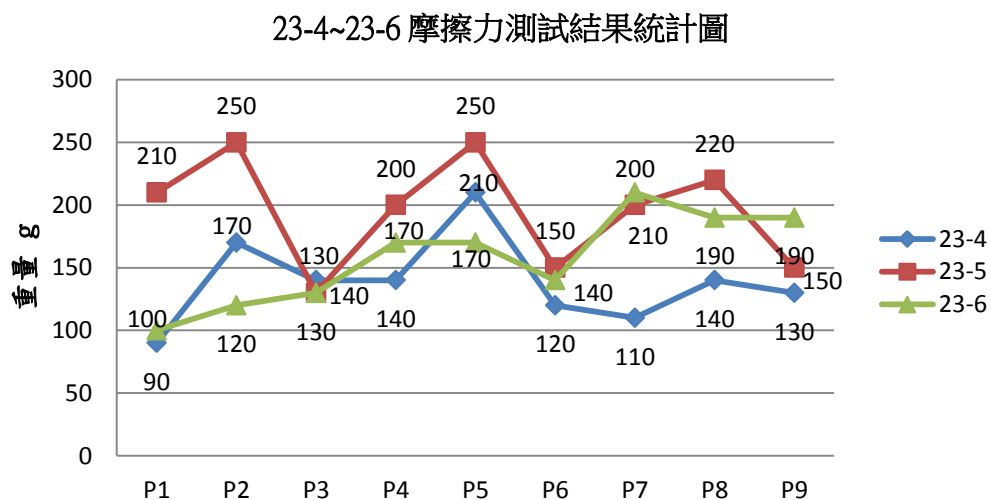
	摩擦力測試											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Min.	Max.	Avg.
23-1	120	140	90	140	140	140	100	110	100	90	140	120.00
23-2	120	150	160	150	140	150	140	150	120	120	160	142.22

	摩擦力測試											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Min.	Max.	Avg.
23-3	230	200	110	300	210	120	150	130	110	110	300	173.33
23-4	90	170	140	140	210	120	110	140	130	90	210	138.89
23-5	210	250	130	200	250	150	200	220	150	130	250	195.56
23-6	100	120	130	170	170	140	210	190	190	100	210	157.78
23-7	150	200	190	180	270	150	130	160	110	110	270	171.11
23-8	50	70	80	60	50	70	100	60	70	50	100	67.78
23-9	80	100	80	130	120	120	90	90	110	80	130	102.22
23-10	70	50	60	60	90	60	80	100	100	50	100	74.44

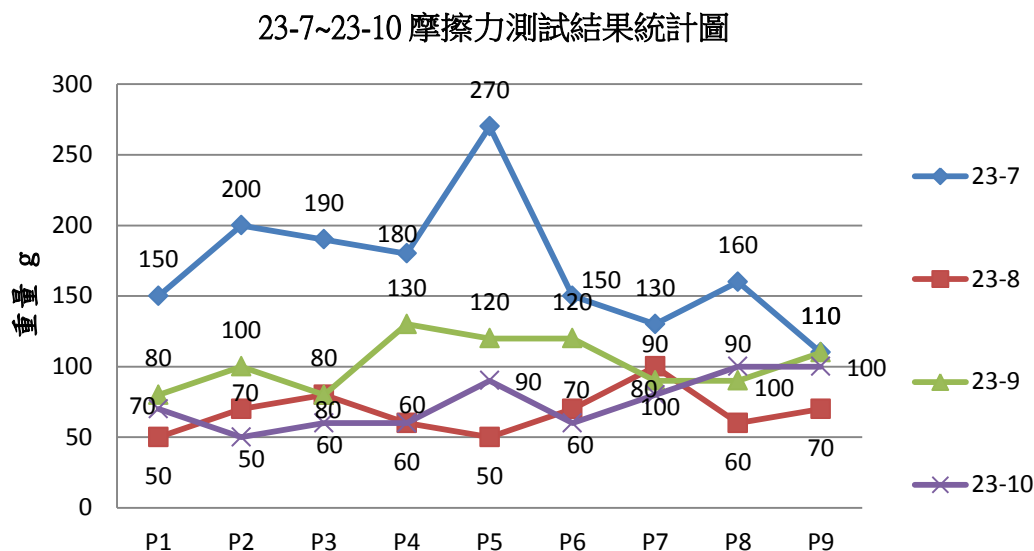
2. 測試片 23-1~23-3 的摩擦力測試值的統計圖如下圖所示。



3. 測試片 23-4~23-6 的摩擦力測試值的統計圖如下圖所示。



4. 測試片 23-7~23-10 的摩擦力測試值的統計圖如下圖所示。



由上列圖表得知，各點中摩擦力平均值最佳者（值最小）依序是 23-8、23-10、23-1、23-4、23-2、23-6、23-7、23-3、23-5。

本實驗就摩擦力評分，摩擦力最小者給予 10 分，次之給予 9 分，依此類推，評分統計如下表所示。

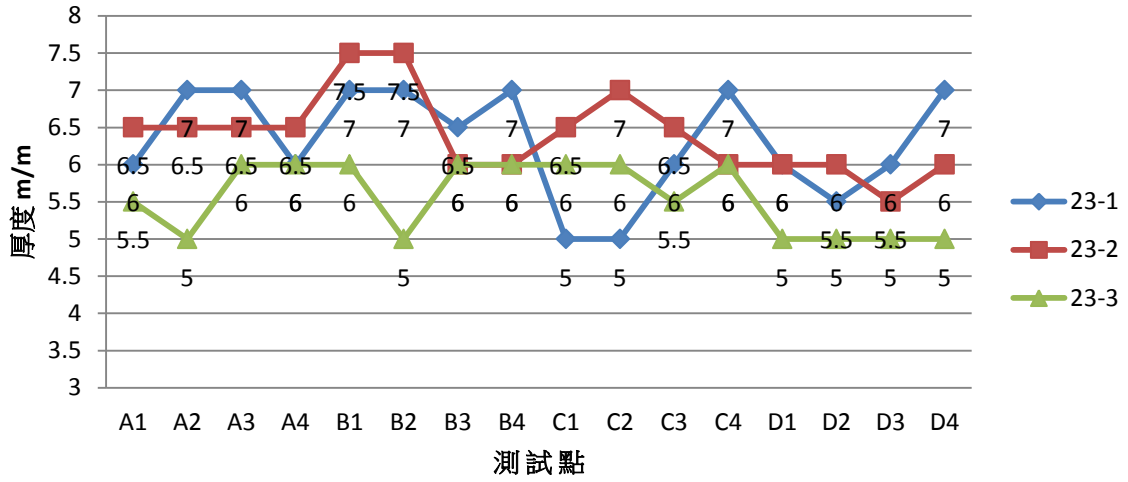
	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
摩擦力 (Avg.)	120	142.22	173.33	138.89	195.56	157.78	171.11	67.78	102.22	74.44
評分	7	5	2	6	1	4	3	10	8	9

### (三) 厚度測量結果

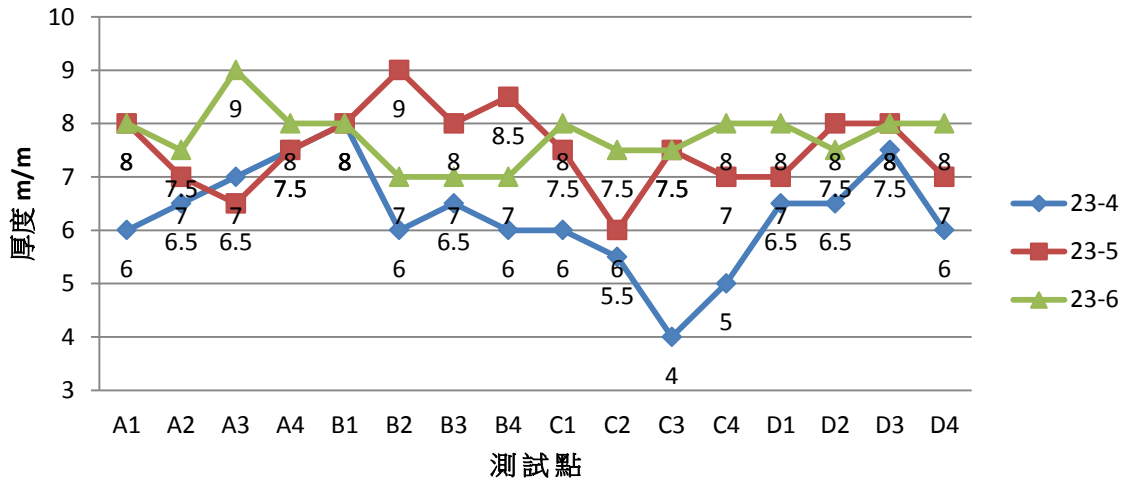
1. 統計 23-1~23-10 各試片 16 個測試點的厚度測試值，以及計算厚度平均值 (Avg.)，資料統計如下表所示。

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	Avg.
23-1	6	7	7	6	7	7	6.5	7	5	5	6	7	6	5.5	6	7	6.31
23-2	6.5	6.5	6.5	6.5	7.5	7.5	6	6	6.5	7	6.5	6	6	6	5.5	6	6.41
23-3	5.5	5	6	6	6	5	6	6	6	6	5.5	6	5	5	5	5	5.56
23-4	6	6.5	7	7.5	8	6	6.5	6	6	5.5	4	5	6.5	6.5	7.5	6	6.28
23-5	8	7	6.5	7.5	8	9	8	8.5	7.5	6	7.5	7	7	8	8	7	7.53
23-6	8	7.5	9	8	8	7	7	7	8	7.5	7.5	8	8	7.5	8	8	7.75
23-7	6	6	5.5	5.5	7.5	6.5	6.5	6	5.5	6	6	7	7	6	6.5	5	6.16
23-8	5	6	4	5	4	4.5	5	4.5	4	5.5	4	4.5	3.5	4	4	5	4.53
23-9	2.5	2.5	4.5	4.5	4	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	5	3.5	4	3.5	4	3.81
23-10	5.5	5.5	7	8	7	7	7	5	5	5	5.5	5.5	5	6	6.5	5.5	6

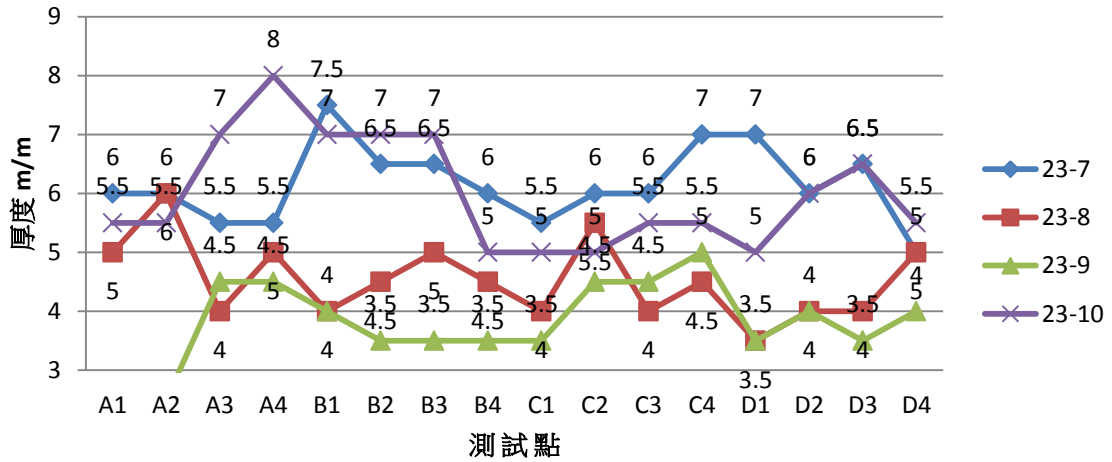
厚度測試結果統計圖 23-1~23-3



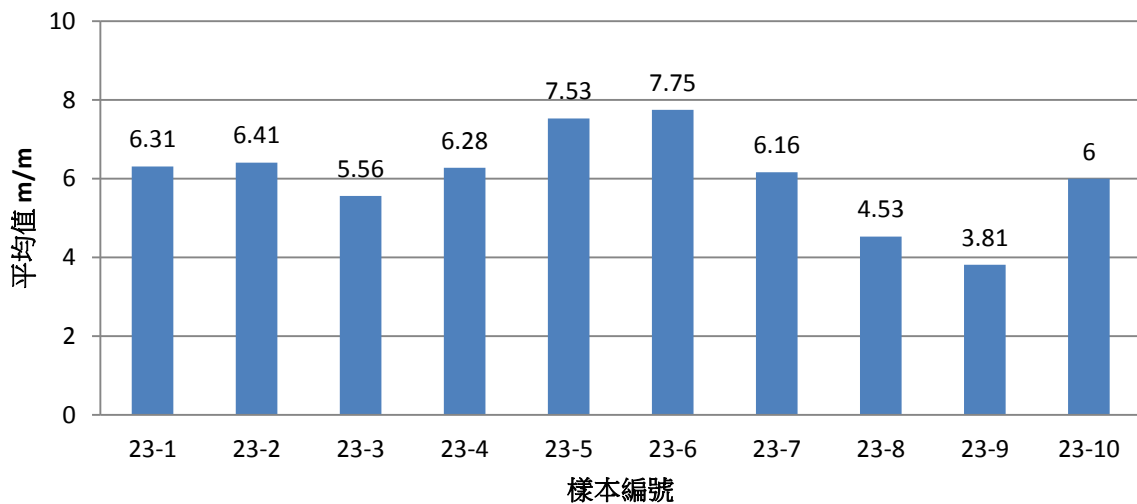
厚度測試結果統計圖 23-4~23-6



厚度測試結果統計圖 23-7~23-10



## 厚度平均值



本實驗就平均厚度評分，厚度最大者給予 10 分，第二小者給予 9 分，依此類推，評分統計如下表所示。

	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
平均厚度 (Avg.)	6.31	6.41	5.56	6.28	7.53	7.75	6.16	4.53	3.81	6
評分	7	8	3	6	9	10	5	2	1	4

經由測量，平均厚度最佳（最厚）者為是 23-6 其次為 23-5、23-2、23-1、23-4、23-7、23-10、23-3、23-8、23-9。厚度薄者表示收縮量大，這在平整度的表現上可能是較為差的。

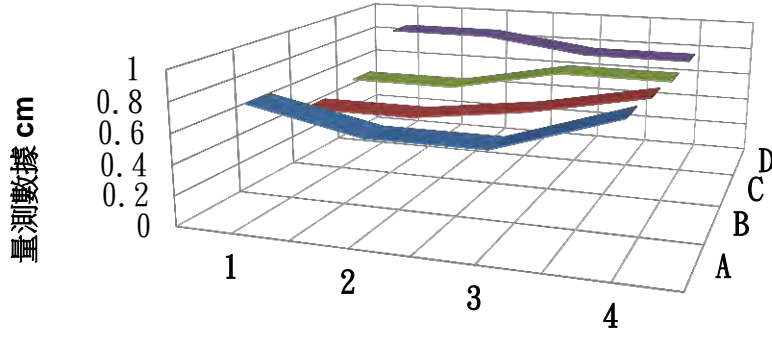
### (四) 變形度測量結果

1. 統計 23-1~23-10 各試片 16 個測試點的變形度測量值，以及計算每一片的平均值 (Avg.)，資料統計如下表所示。

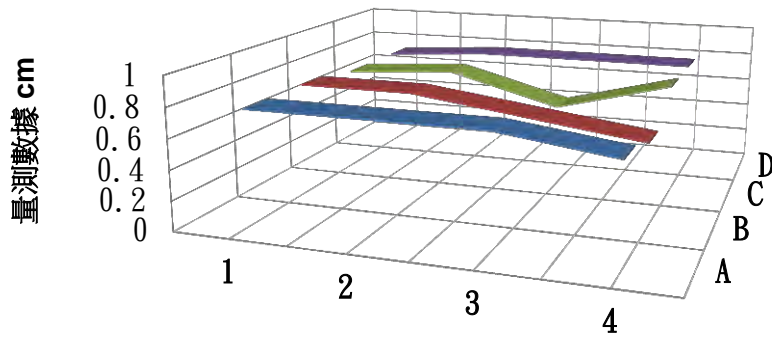
測試點 測試片	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	Avg.
23-1	0.77	0.62	0.62	0.87	0.57	0.57	0.67	0.82	0.62	0.62	0.77	0.77	0.87	0.87	0.77	0.77	0.72
23-2	0.77	0.77	0.77	0.67	0.77	0.77	0.67	0.57	0.72	0.77	0.57	0.77	0.72	0.77	0.77	0.77	0.73
23-3	0.67	0.67	0.57	0.67	0.67	0.77	0.57	0.77	0.67	0.62	0.57	0.47	0.67	0.67	0.67	0.77	0.65
23-4	0.62	0.67	0.67	0.67	0.47	0.62	0.62	0.57	0.47	0.57	0.97	0.67	0.77	0.77	0.87	0.97	0.69
23-5	1.07	0.87	0.87	0.97	0.97	0.97	0.87	1.07	0.87	0.77	0.67	0.97	0.97	0.87	0.87	0.87	0.91
23-6	0.77	0.87	0.72	0.72	0.87	0.87	0.87	0.72	0.77	0.77	0.72	0.87	0.77	0.77	0.72	0.87	0.79
23-7	0.77	0.77	0.62	0.97	0.62	0.52	0.67	0.77	0.82	0.72	0.62	0.67	0.92	0.72	0.77	0.67	0.73
23-8	0.77	1.17	0.83	0.52	0.67	0.87	0.77	0.47	0.77	0.87	0.87	0.67	0.77	1.07	0.67	0.67	0.78
23-9	1.07	1.27	0.57	0.77	0.77	0.77	0.77	0.87	0.57	0.67	0.62	0.57	0.87	0.77	0.67	0.57	0.76
23-10	0.67	0.82	0.77	0.87	0.77	0.77	0.77	0.87	0.77	0.67	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.97	0.79



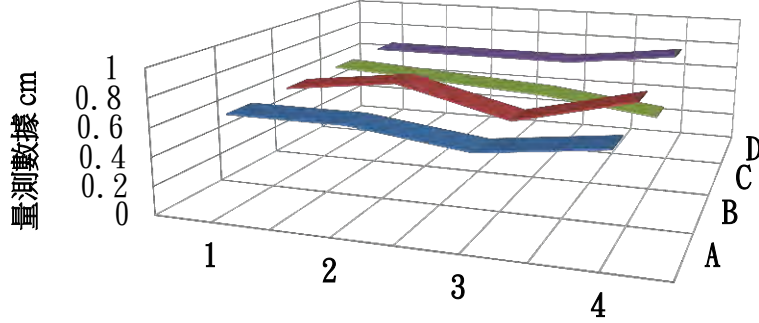
23-1 變形度測量數據統計圖



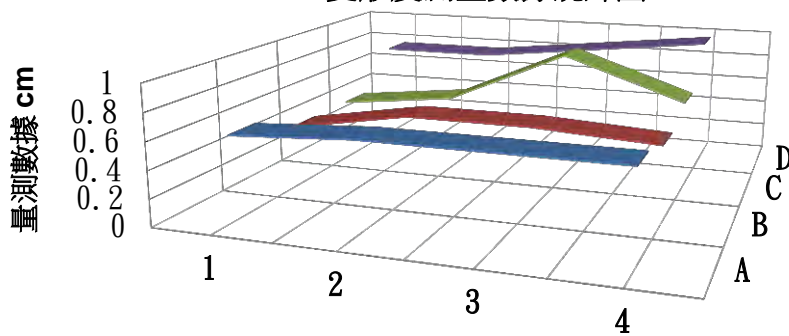
23-2 變形度測量數據統計圖



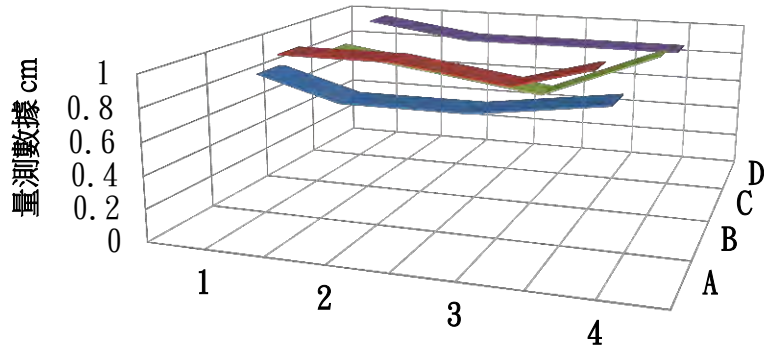
23-3 變形度測量數據統計圖



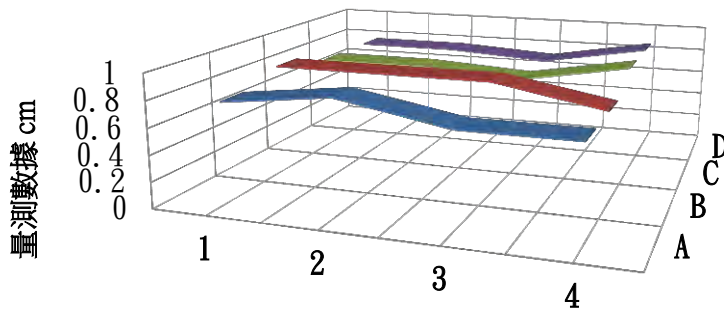
23-4 變形度測量數據統計圖



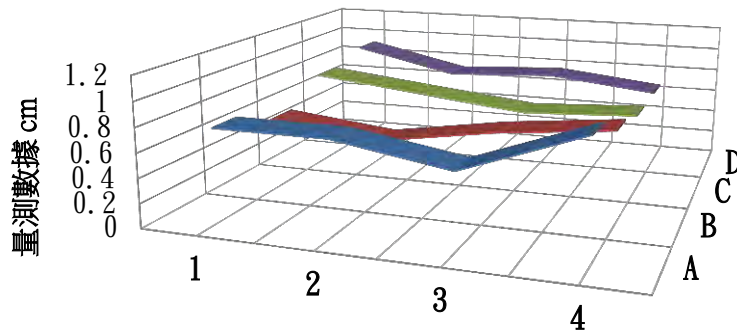
23-5 變形度測量數據統計圖



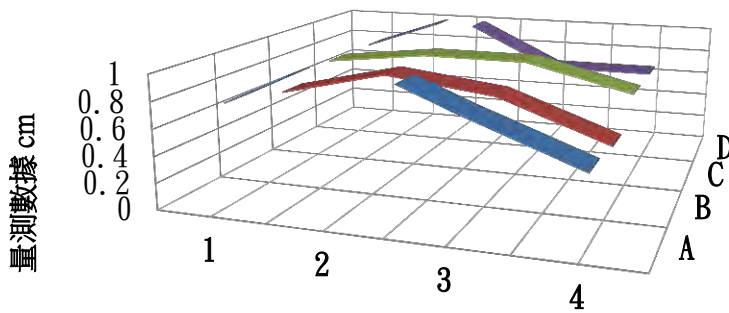
23-6 變形度測量數據統計圖



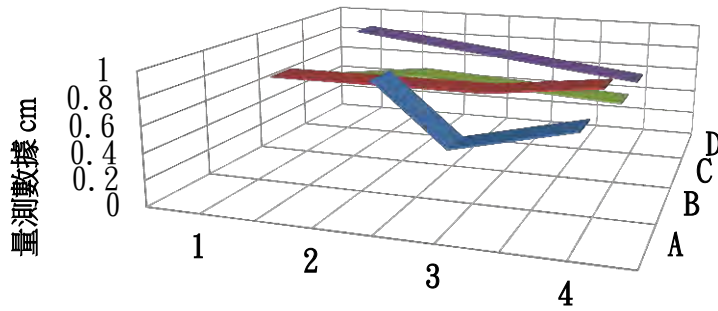
23-7 變形度測量數據統計圖



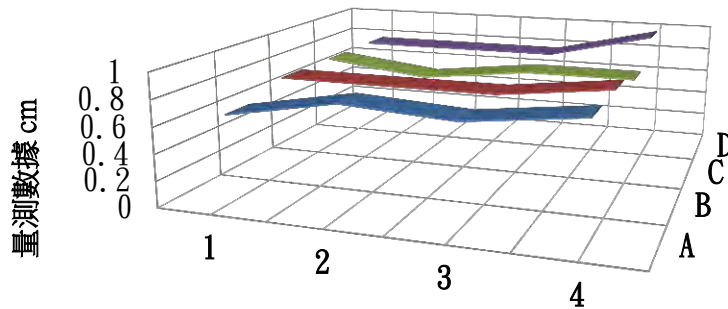
23-8 變形度測量數據統計圖



23-9 變形度測量數據統計圖



23-10 變形度測量數據統計圖



對照以上各試片之變形度測量數據統計圖，以及根據各試片之平均值作為評分標準，變形度平均值越小者，表示測試面起伏越小、平整度越佳，給予的評分越高，反之，平均值越高者，表示平整度越差，評分越低。

	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
變形度平均值(Avg.)	0.15	0.16	0.18	0.22	0.24	0.07	0.21	0.31	0.19	0.12
評 分	8	7	6	3	2	10	4	1	5	9

(五) 耐應力試驗

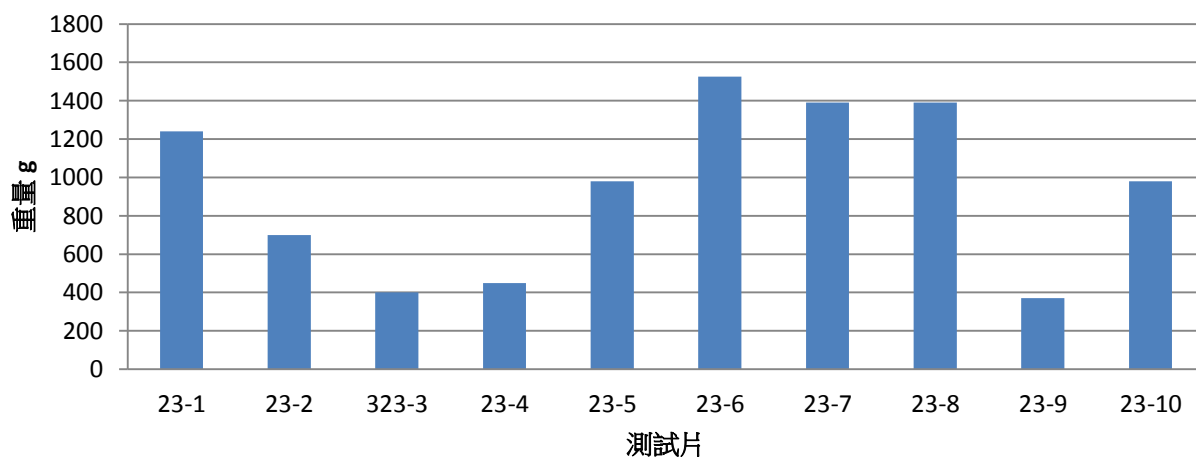
統計 23-1~23-10 各試片耐應力試驗的結果，耐應力越佳放置物品時，能負荷的重量愈大，資料統計如下表所示。

	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
吊掛砝碼數	124	70	40	45	98	139+8	139	139	37	98
總重量(g)	1240	700	400	450	980	1526	1390	1390	370	980

註1:30度之應力。每顆砝碼10克重。砝碼用盡不足時，以3號電池加掛。每顆電池17克重。

註2: +8是為增加8顆電池以測重。

23-1~23-10 耐應力試驗數據統計圖



由結果得知，23-6 表現最佳，而 23-9 因為太薄而其承受重力最小；而白膠比例太多也沒有增加韌度承載最大。膠的比例在 50% (23-6) 表現最好，而膠的比例在 40% (23-7)、30% (23-8) 亦有不錯表現。承接成品收縮量厚度的討論，更加明確得知不論白膠添加比例多寡，成品紙漿板的薄厚度也著實影響著成品的載重能力。

對照以上各試片之耐應力試驗數據，耐應力越高者，承載能力越佳，反之，耐應力越低者，承載能力越差，此項目的評分就越差。評分以 1~10 分為標準，最佳者評以 10 分，以此類推，評分表如下所示。

	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
耐應力 (g)	1240	700	400	450	980	1526	1390	1390	370	980
評 分	7	4	2	3	6	10	9	8	1	5

## (六)小結

本研究根據各實驗結果，整理成總表，如下表所示:

	失重率	摩擦力(Avg.)	厚度 (Avg.)	變形度(Avg.)	耐應力	評分
23-1	3	7	7	8	7	32
23-2	6	5	8	7	4	30
23-3	7	2	3	6	2	20
23-4	7	6	6	3	3	25
23-5	10	1	9	2	6	28

	失重率	摩擦力 (Avg.)	厚度 (Avg.)	變形度 (Avg.)	耐應力	評分
23-6	10	4	10	10	10	44
23-7	8	3	5	4	9	29
23-8	5	10	2	1	8	26
23-9	4	8	1	5	1	19
23-10	9	9	4	9	5	36

根據以上總表所示，依評分高低分排序是 23-6、23-10、23-1、23-2、23-7、23-5、23-8、23-4、23-3、23-9，因此，23-6 的各項特性為最佳。

綜合上述討論結果，決定以 23-6 的條件作為製作成品的依據。而 23-6 製作條件是，碎紙泡水後擰乾水分，以紙 300g，白膠 150g 的比例，也就是紙和膠的比例為 2:1，得到較佳的製作紙漿的比例。

### 三、成品製作與測試

經過紙漿版的各項測試，最後決定紙漿之只與白膠的最佳比例為 2:1，並在兩次的模具實驗中，選擇 1.2mm 為每邊塑型的厚度，並且在六邊形的每個內角加導角以增強應力。模具在經過多次改良後，具備容易填紙漿、方便拆模、加強風乾的功能。在各種製作條件及方法確定後，進行成品的製作，結果如下所示。

#### (一) 成品（收納櫃）的外觀



## (二) 成品耐應力測試

實驗所得之紙和膠最佳比例所做出的收納櫃經實際測試，側面（橫向）承受應力經單人重量坐壓不變形，約可承受 50Kg，正面（縱向）承受應力更大，甚至數個人的重量仍人未變形。因此，承載力（耐應力）無虞，因為，收納櫃所放置的物品皆為小物品，重量約數 10g 至 3Kg 之間，所以，50Kg 之耐壓力已經超過需求十數倍，可以符合收納櫃的乘載力的需求。

## (三) 製作成本分析

收納櫃的成本與市售小收納櫃比較，不但材料較環保、乘載力強且成本較低。我們就白膠成本、碎紙成本、油漆、電費、模具等成本計算。

1. 白膠成本：33 元／個
2. 碎紙成本：2 元／個（回收價）
3. 油漆成本：30 元／個
4. 電費成本：13.5 元／個（4.5 度電，每度電 3 元）
5. 模具（攤提）成本：167 元／個（模具總成本約 1000 元，共製作 6 個成品）

根據以上估算，每個收納櫃成本約 242.5 元，但是，因為模具是可重複使用，所以可以按照製作成品的數量攤提，因此，數量越多，模具成本越低，若製作 50 個成品，模具成本將降為 20 元。另外，電費亦會因製作的季節改變，若在夏天製作，可省去烘乾的電費，以自然乾燥方式即可。

綜合上計算，若製作數量較多且於夏天乾燥的氣候中製造成品，估算收納櫃成品成本約控制在 100 元以下。查詢市面上的收納櫃商品，沒有製作六角形的產品，若是塑膠或木頭之四邊形收納櫃，價格多高過於 100 元。所以，回收紙製成的紙漿收納櫃實為環保且省成本的方式。

## 陸、結論

- 一、實驗以各項物理特性測試並評分，23-6 之失重率、厚度、變形度及耐應力等各項物理特性最佳，因此，得到紙和膠的比例為 2:1 為較好的製做紙漿板比例。
- 二、紙漿板具有輕盈、環保、韌性、耐壓等特性，除了使用紙和膠最佳的比例上外，紙漿板的厚度需符合成品需求才不至於變形。
- 三、在整個實驗的操作過程，不論增減白膠比例，水分都會有散失的現象。因此若做為收納櫃等家具，製作時，其紙漿的壓填必須更為紮實、緊密，並加壓、鎖緊模具使其紙漿更為紮實，以減少乾燥後因收縮而變形。
- 四、灌紙漿的模具設計的精密度及其壓模的緊實度皆是避免變形的考慮因素；同時也須考量通風、乾燥和脫模等的功能。
- 五、在模具設計上，將成品六個內角加厚（導角）亦達到增加耐應力的預期效果。
- 六、紙漿製作時若是先煮過再製作，那麼其摩擦力、平整度及薄厚度更佳，變形程度最小，也最好塑形，但製作耗時、耗能為是其缺點，因此，我們採取浸泡後加入白膠的方式。
- 七、成品的乾燥除了考量到通風外，天氣因素也是一大考量。在濕冷的冬天，為使成品乾燥需要再烘乾。若是乾燥的夏天，則可節省此一手續，也更節能。
- 八、實驗所得之紙和膠最佳比例所做出的收納櫃經實際測試，可承受 50Kg 的重量，因此，承載物品的能力（耐應力）確實能夠符合收納櫃的標準。

## 柒、後續研究

本次實驗已告一段落，研究結果也終將呈現。在研究過程中，我們仍有許多想法，尚待更多的後續研究，將我們的製做收納櫃初衷與精神，更上一層樓的結果呈現。

- 一、我們看到不同碎紙機出來的碎紙不同，有長條、小碎片以及紙末狀。不同的紙形，是否因為紙張纖維破壞多寡而有不同的承載力量等表現？
- 二、若在紙漿中加入其他纖維，如棕櫚葉或其他長纖維的材料，是否能增加耐應力？或者將纖維交錯排列是否更有韌性？值得再探討。
- 三、校園中有許多枯枝、落葉堆肥<sup>3</sup>；更有教室中的大量粉筆灰及實驗所剩的少量石灰粉末；甚至現今最多的沖泡咖啡後的咖啡渣。若把它們加入紙漿中會如何？是否能增強其特

---

<sup>3</sup> 落葉堆肥原意用於堆肥成為營養的土壤滋養花木。但老校園中，樹大、樹多每日落葉量亦可觀，其所形成的堆肥也多。因此，以多餘的堆肥來充當沙土增加承載硬度，同時也是利用校園中多餘材料、就地取材。取材同時也必須顧及堆肥中生物(雞母蟲等)生存，因此必須把生物留在堆肥中，不傷及生物生命。

性？以及生活中還有什麼東西是可添加再利用？也值得用心觀察與探討。

- 四、在成本的考量上，成品的乾燥除了考量到通風外，天氣因素也是一大考量。在濕冷的冬天，為使成品乾燥需要再烘乾。若是乾燥的夏天，則可節省此一手續，也更節能。
- 五、製作方法以能達到環保、節能、省時間、易操作且低成本為努力的目標。
- 六、在成品用途的上，可考慮使用在不同用途的家具或用具，以取代常用的塑膠或木板等材料，為達到環保的目的。

## 捌、參考資料及其他

- 一、王美芬（2015）·力與運動·五上自然與生活科技(68-89頁)，臺北市：康軒。
- 二、嘉義市西區興嘉國民小學·紙（漿）磚實用嗎？·嘉義市第 29 屆中小學科學展覽會·  
取自<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080809.pdf>
- 三、廢紙變藝術·凝紙漿好好玩貼愈多層愈堅固(2016 年 11 月 23 日) ·取自蘋果日報  
<http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article/supplement/20100909/32798638/>
- 四、環保 DIY-再生紙製作(2016 年 11 月 23 日) ·取自  
<http://www.adcs.tn.edu.tw/check/student/environment1/034.pdf>



## 【評語】 080833

由回收的紙類，一路研製作成符合需求、美觀且耐應力強的收納櫃。從原料到產品，研究項目完整確實。可藉由此科展呈現其研究成果，並推廣至公司企業於廢紙回收再利用的行動。應注意成品會不會有發霉的問題，也可以進行更長時間的測試。

## 壹、研究動機

隨著文明及科技的進步，帶來嚴重的環境問題，環境保護成為大家關注並努力的目標。在我們的生活中，許多的日常用品使用後丟棄常會產生環境汙染問題，所以大家都希望這些廢棄物能夠回收再利用，也為了減少原料的開發。

校園中常見的廢棄物有塑膠、鐵類、紙類、木頭、落葉等，皆可以進行回收再製的研究，本研究特別針對回收的廢紙，研究如何藉著可行的製程，將校園內的廢紙製做出符合使用之耐應力強、收納能力佳、堆疊性好而且美觀的收納櫃來，以達到珍惜資源、環境保護、愛護地球的目標。

## 貳、研究目的

本研究依據研究主題，逐步找出合適製作收納櫃紙漿板模的製作條件、過程及方法，以做出符合需求之收納櫃為本研究之目的。

- 一、探討廢棄碎紙製作紙漿板的製作過程及方法。
- 二、嘗試找出製作紙漿之碎紙與白膠的最佳比例，以符合收納櫃之特性需求。
- 三、測量各紙漿模板的失重率、摩擦力、厚度(收縮量)、變形度、耐應力等特性。
- 四、探討符合校園或生活中使用之收納櫃的外形與尺寸規格。
- 五、設計並製作符合收納櫃之木製模具，需達到結構堅固、容易填料、快速乾燥、方便拆模等需求。

## 參、研究設備及器材

電子磅秤、碎紙機、電鋸、電鑽、攪拌機、定時器、電控設備、電磁爐、鍋具、游標尺、角尺、製圖用具、砝碼、簡易表面平整度量試器、簡易烤箱、刮刀、滾輪、砂紙、保鮮膜、3號電池(測重)、彈簧秤。

## 肆、研究過程及方法

### 實驗一：研究碎紙與白膠之比例

在相同質量形塑碎影印紙紙漿中添加不同比例的白膠，探討其承載與紙漿板的變化。

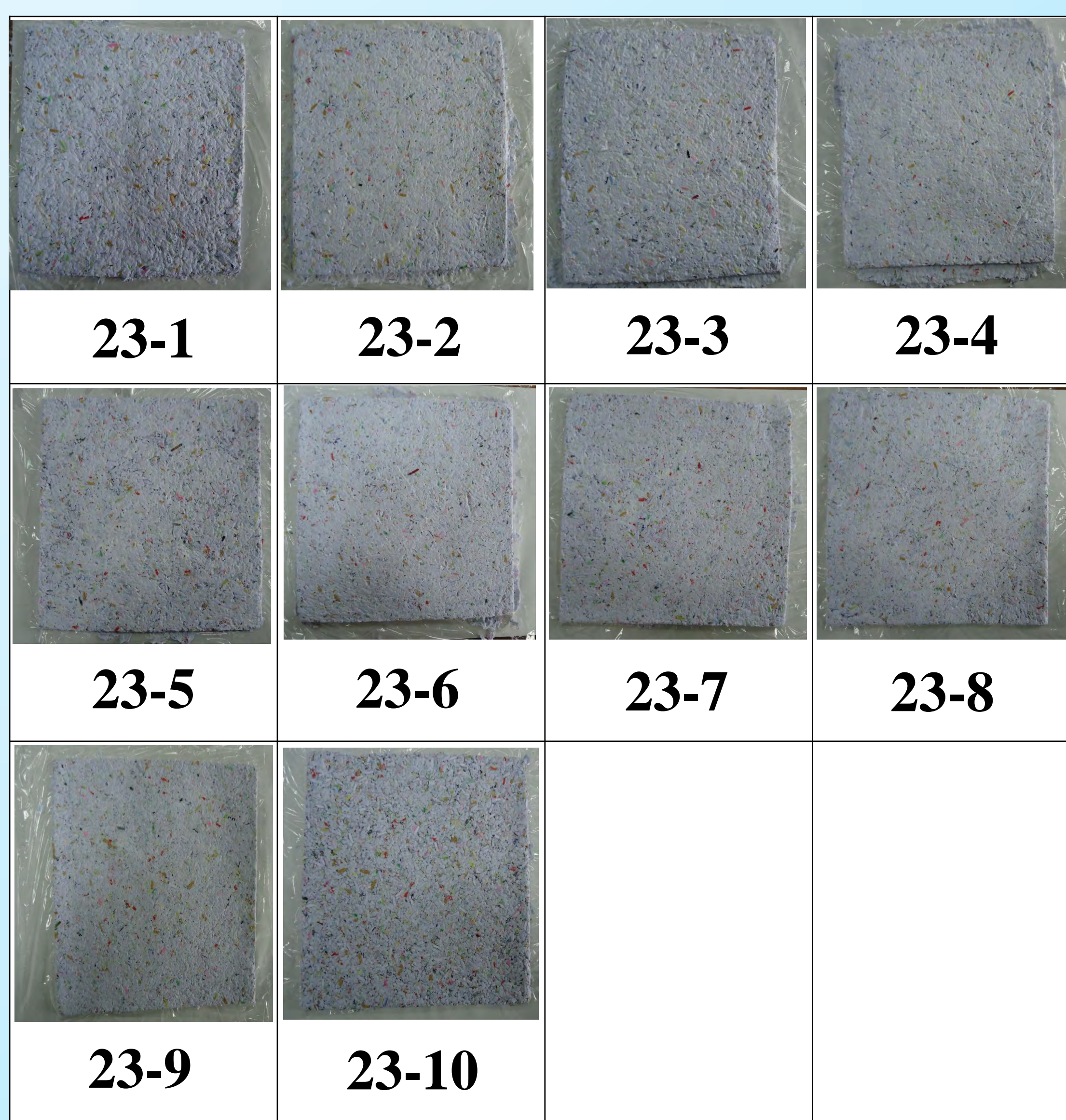
### 操作順序

- (一)先將碎紙用水浸溼、軟化及擰乾。
- (二)以溼碎紙秤重300公克，分別將白膠以300g、270g、240g、210g、180g、150g、120g、90g、60g、30g，製作紙漿高度1.2 cm之測試模板。
- (三)紙漿鋪板晾乾二週後觀察其變化。
- (四)再逐一探討紙漿板之失重率、厚度、摩擦力、變形度、耐應力等。

表1 測試用紙漿板紙膠比例

編號	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
白膠重(g)	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30
白膠比例	50%	47%	44%	41%	38%	33%	29%	23%	17%	9%

表2 測試用紙漿板照片



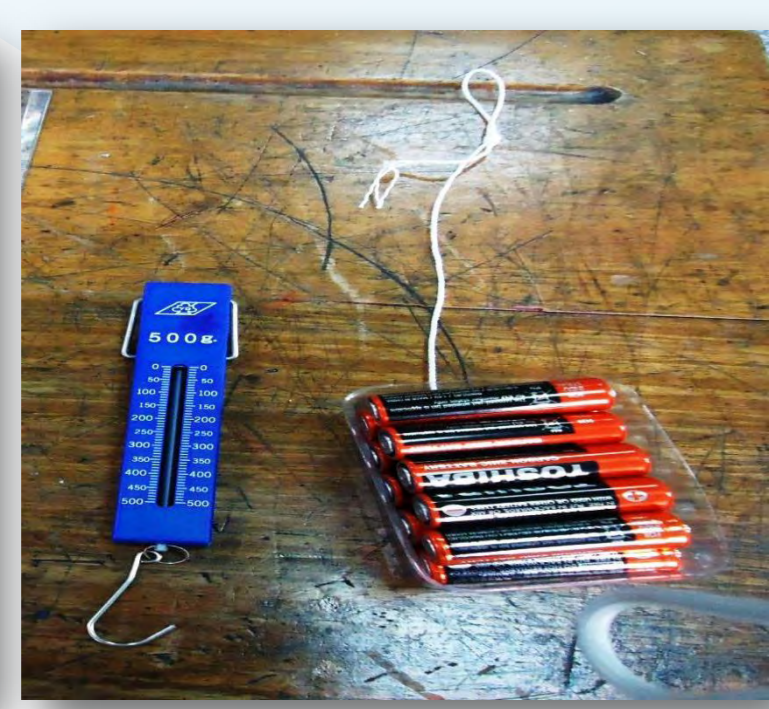
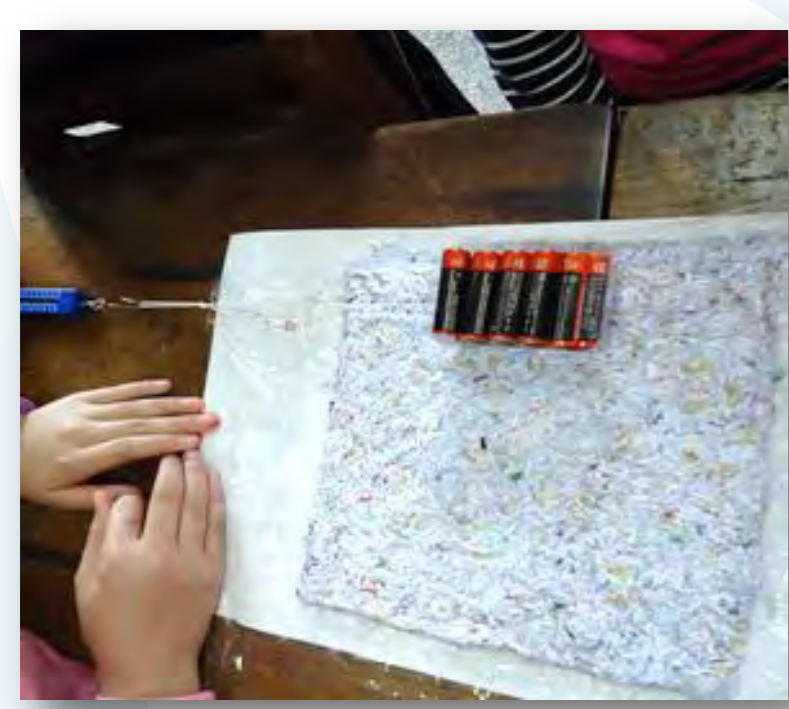
### 實驗二：紙漿測試模板的失重率、厚度、摩擦力、變形度、耐應力實驗

根據以上所製作之模板，依序測試各模板之厚度、失重率、摩擦力、變形度及耐應力程度，欲驗證各試片之平整度及耐應力，為找出適合的紙漿比例，最終要填入模具內組合成六角形收納櫃。

### 操作順序

- (一)失重率計算: 使用電子磅秤測量模板成品之乾燥前及乾燥後之重量的差異，為了解其平整度，以做為變形量的參考。

(二) 摩擦力實驗: 以摩擦力實驗測量各試片之表面粗糙度。



摩擦力測試點

P1	P2	P3
P4	P5	P6
P7	P8	P9

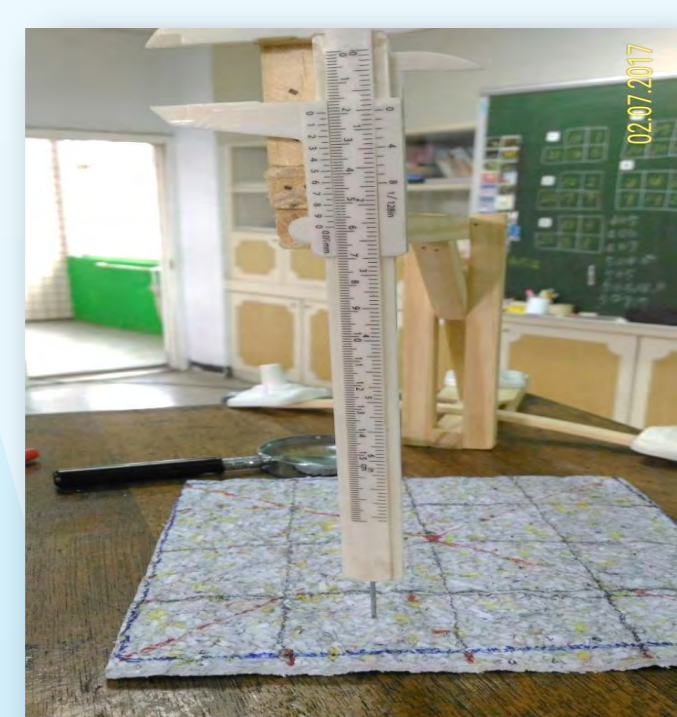
(三) 厚度量測: 使用游標卡尺測量各測試模板的厚度，為了解每塊紙漿板的薄厚度是否均一，以更為精細的探討變形差異。設定每塊紙漿板每邊各 4 點共 16 點，做為使用游標尺的施測點。



厚度量測點

↖	↖	↖	↖
↔			↔
↔			↔
↔			↔
↔			↔
↘	↘	↘	↘

(四) 變形度試驗: 以自製之平整度測量器來測量各式片平整度以確認其變形程度。



變形度測試點

P1	P5	P9	P13
P2	P6	P10	P14
P3	P7	P11	P15
P4	P8	P12	P16

(五) 耐應力試驗: 將模板切割成實驗試片(5cm×19cm)，分別將各試片一端夾於桌緣，另一端吊以砝碼，測其彎曲 30 度角時，所需的重量，以判定其材料的耐應力。

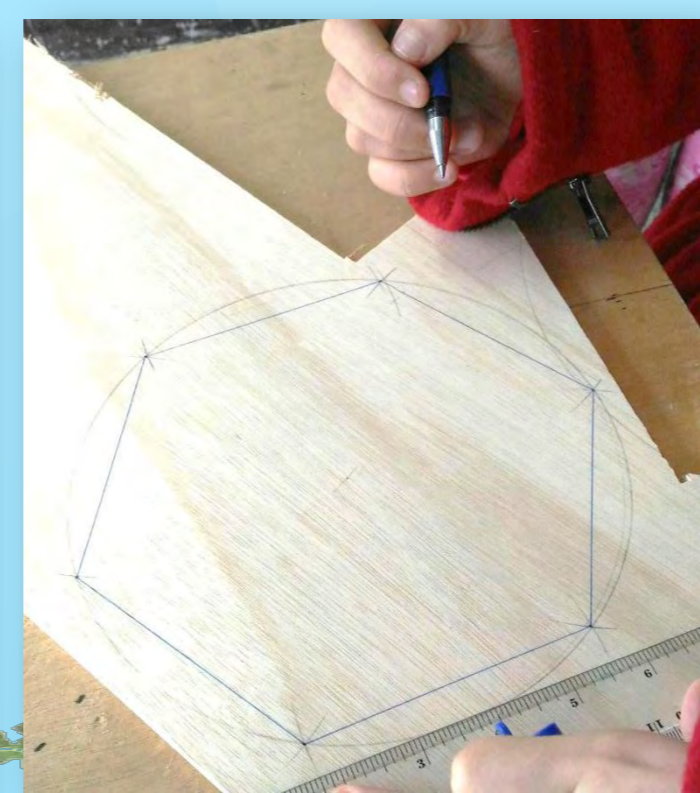
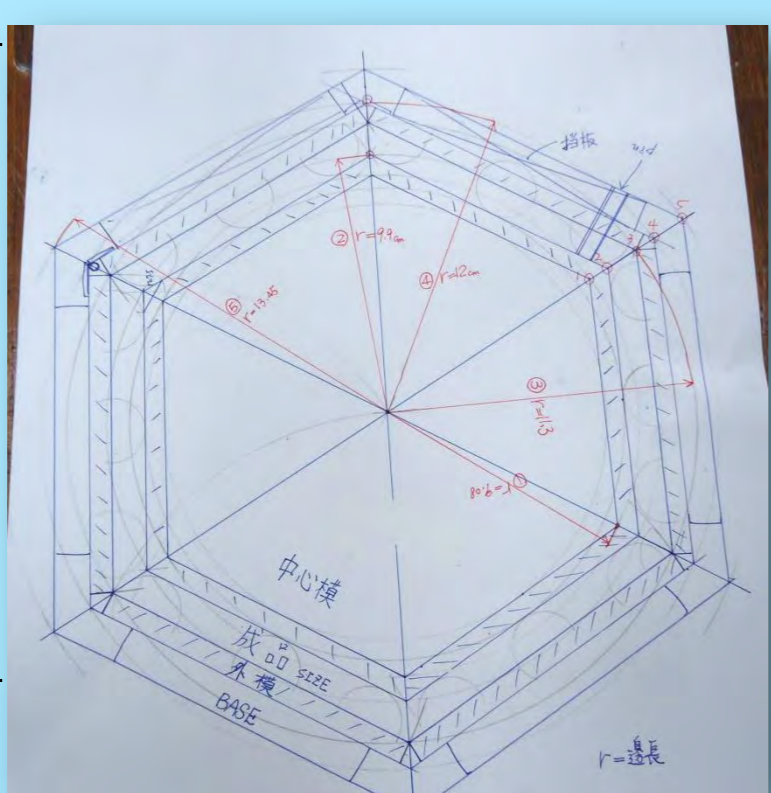
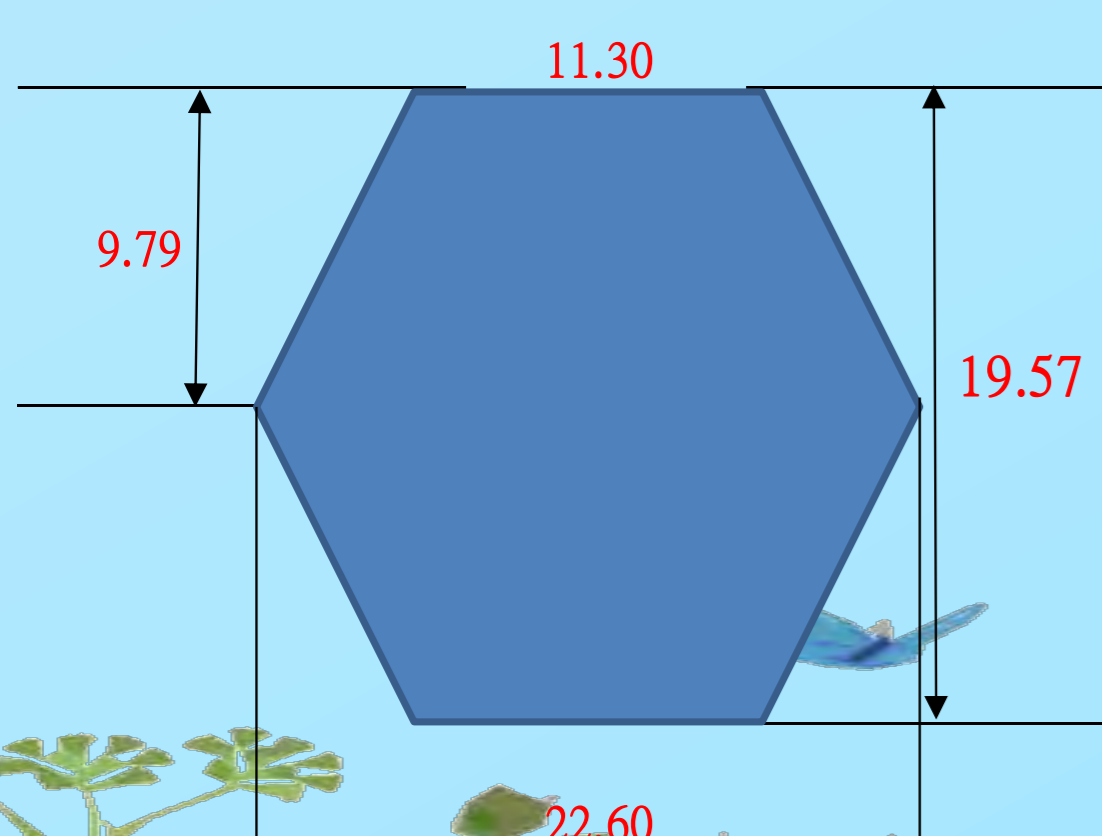


### 實驗三：設計紙漿板模櫃。

針對本實驗作品之實用性，設計收納櫃之模具，為製作可以放置物品的收納櫃。模具設計為求成型性、堅固性及可重複使用性為目標。

#### 操作順序

- (一) 考慮收納櫃之承受應力問題及組合之方便性，經小組討論後，決定設計六邊形之收納櫃。
- (二) 考慮成品之耐應力問題，在模具的設計上，在六個內角加厚(內導角)以加強耐應力。
- (三) 根據欲製作之收納櫃尺寸，先於紙上製圖，以確定各邊之角度與尺寸。
- (四) 本實驗之模具分內模具及外模具，模具圖面及尺寸確定後，以油性筆繪製於木板上。

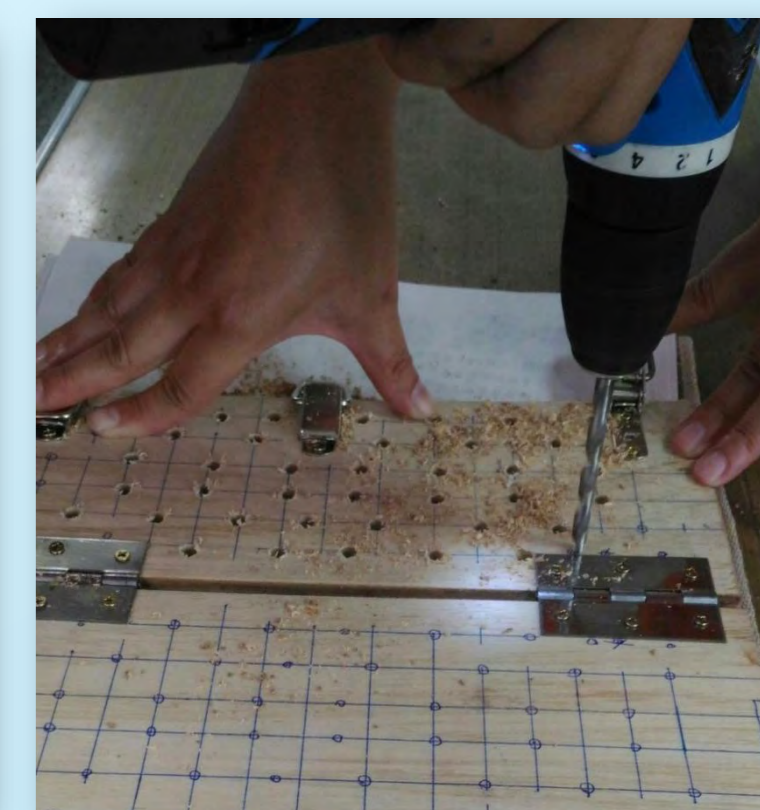
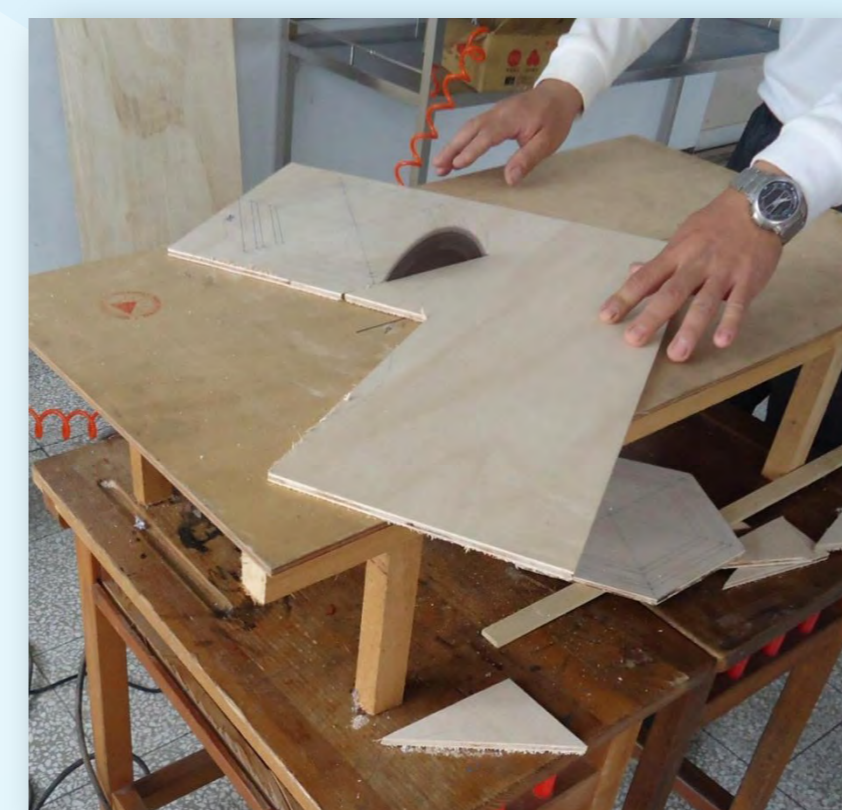


(五) 使用電鋸切割木板(考慮安全性，由指導老師操作)，再將切下之木板進行研磨。

(六) 將內模具各部分以釘子固定組合，外模具以軸承鉸鏈連結，以具有活動性。

(七) 將內模具及外模具個別鑽透氣孔，以加快成品之乾燥時間。

(八) 塗上亮光漆為防水及防止與白膠黏著，以方便脫模。



### 實驗四：收納櫃填模及製作

#### 操作順序

- (一) 將外模具及內模具包覆一層保鮮膜。
- (二) 填上混和紙漿材料填於外模具上。
- (三) 以滾筒將材料壓平，並維持1.2 cm的厚度。
- (四) 將填好紙漿的外模具包覆在內模具上並扣緊之。



(五) 使用自製簡易烘箱烤約3小時，以初步定型，接著自然風乾，待成品結構具有支撐能力時，打開外模具，繼續自然風乾，接著抽去內模具，風乾到完全乾燥為止。

(六) 為增加防水性及美觀，可塗上油漆於成品表面。若需組合，於成品上鑽洞並以束帶固定之即可組合。



## 伍、研究結果與討論

### 一、失重率試驗結果

實驗結果經統計如圖1所示:

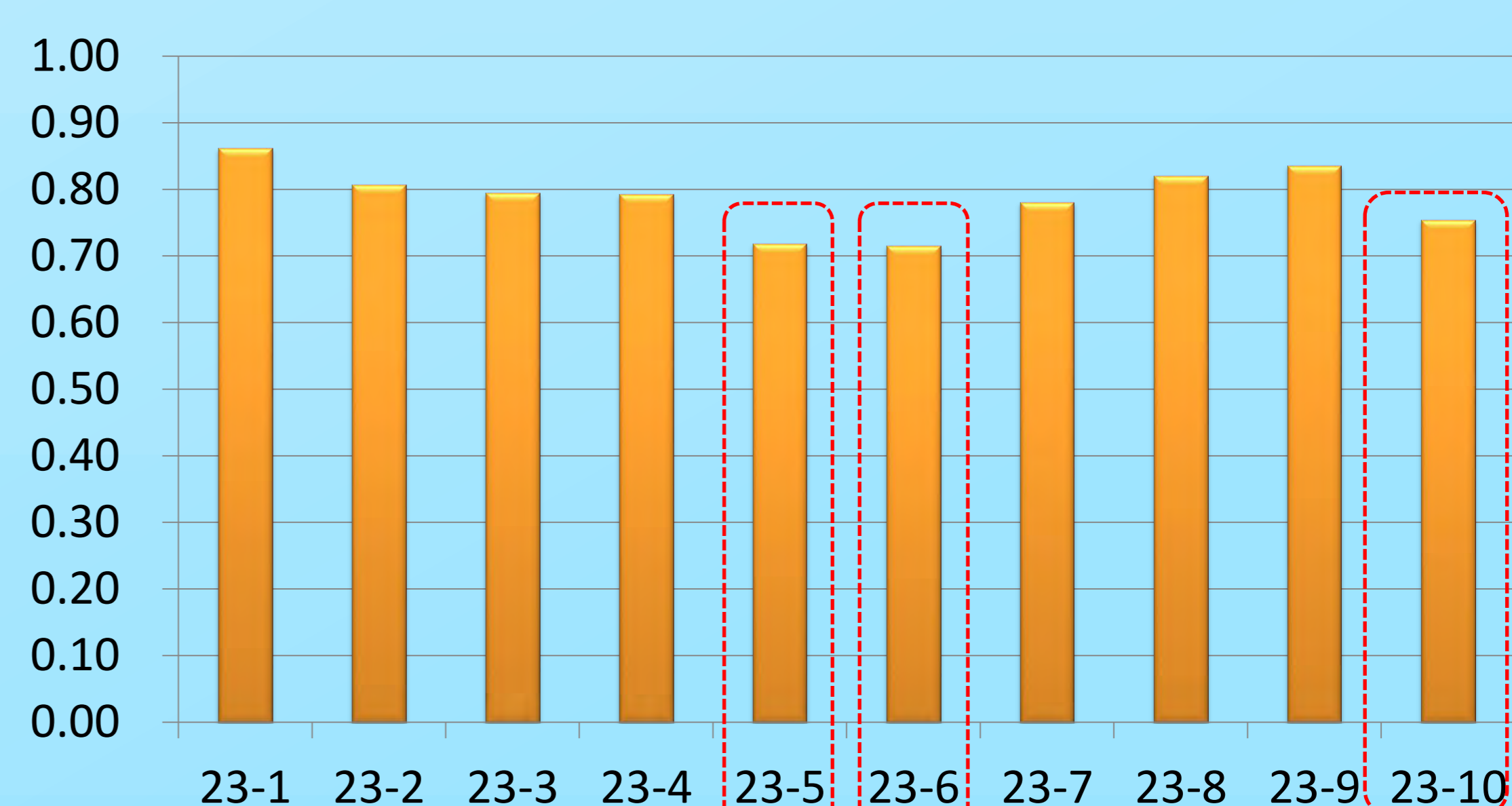


圖1 失重率測試結果

重量減少越多，其失重率越高，耗損率也高，同樣也對應出成品較易變形。失重率取較少的，**23-5**、**23-6** 及 **23-10** 為最少的。

## 二、摩擦力試驗結果

以摩擦力實驗結果如表3 所示:

表3 平均摩擦力測試結果

編號	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
成品平均摩擦力(g)	120	142	173	139	196	158	171	68	102	74

摩擦力越小表示成品表面越光滑。根據實驗結果顯示，摩擦力較小者為 **23-10**、**23-8**、**23-9**。

## 三、厚度量測結果

厚度量測結果經統計如表4 所示:

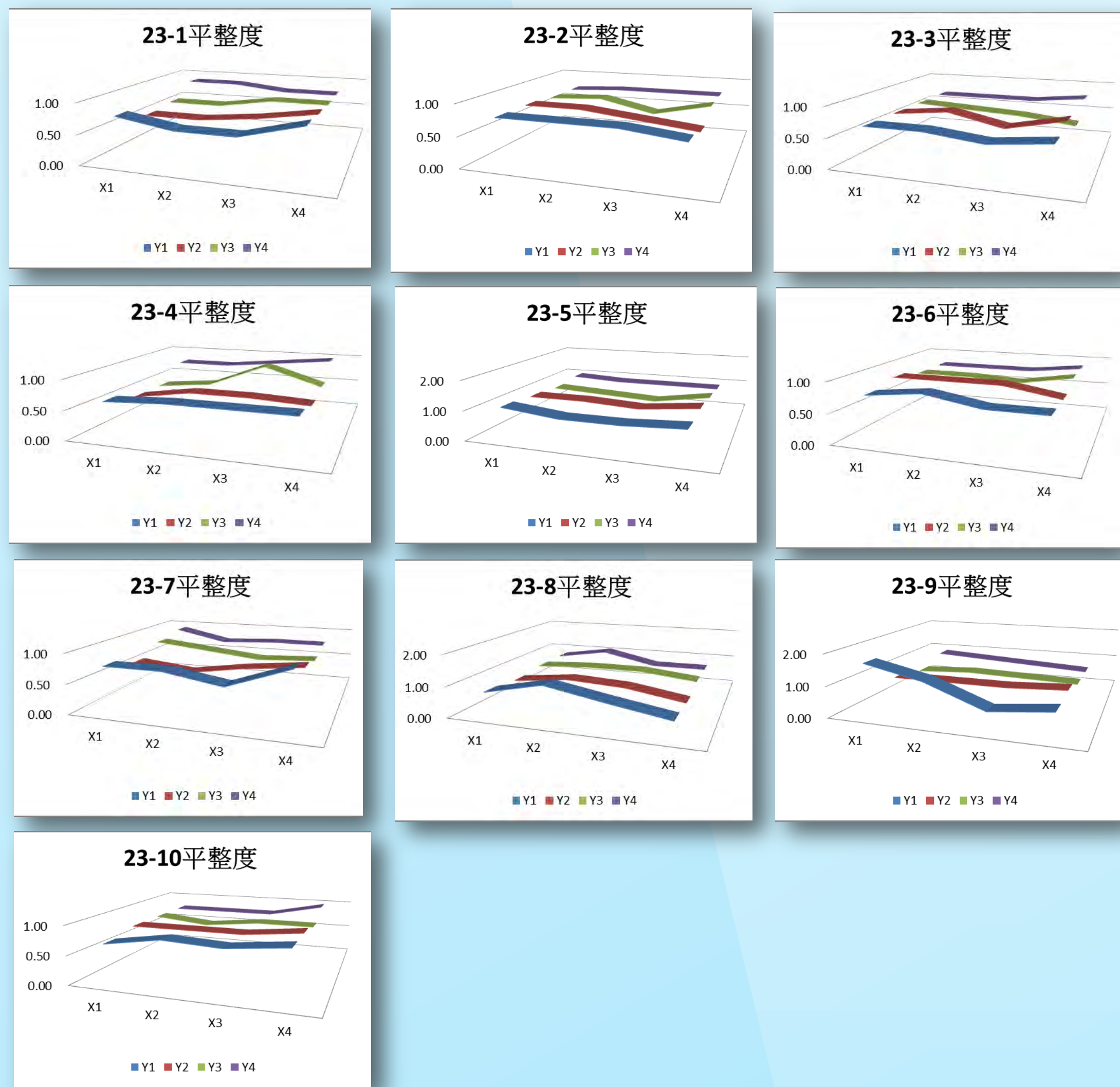
表4 厚度測量結果

編號	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
平均厚度(m/m)	6.31	6.41	5.56	6.28	7.53	7.75	6.16	4.53	3.81	6.00

經由測量結果顯示，平均厚度最佳為**23-6**、**23-5**、**23-2**，厚度越厚表示收縮量越少，變形程度越少。

## 四、變形度(平整度)試驗結果

各模板平整度測試結果如以下各圖所示:



根據23-1~23-10之分析圖顯示，可以發現 **23-6** 和 **23-10**、**23-1** 變形度較小。

## 五、耐應力試驗結果

各實驗試片(5cm×19cm)測其彎曲30度角時的承受力如表 5 所示。

表5 耐應力試驗結果

編號	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10
成品應力(g)	1240	700	400	450	980	1526	1390	1390	370	980

由測試結果顯示，耐應力最佳的是**23-6**、**23-7**、**23-8**，耐應力為本實驗最重要特性。

## 六、各項特性測試評分結果

各模板之特性測試評分結果如以下各圖所示:

	失重率	摩擦力 (Avg.)	厚度 (Avg.)	變形度 (Avg.)	耐應力	評分
23-1	3	7	7	8	7	32
23-2	6	5	8	7	4	30
23-3	7	2	3	6	2	20
23-4	7	6	6	3	3	25
23-5	10	1	9	2	6	28
<b>23-6</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>44</b>
23-7	8	3	5	4	9	29
23-8	5	10	2	1	8	26
23-9	4	8	1	5	1	19
23-10	9	9	4	9	5	36

### 小結:

綜合上述討論，發現 **23-6** 的各項特性測試總評分最高。而 23-6 製作方式是，碎紙**300g** 泡水後擰乾，加入 **150g** 白膠，因此，紙與膠的比例是 2:1 為最佳製作紙漿之比例。

## 陸、結論

一、實驗以各項物理特性測試並評分，得到紙和膠的比例為 **2:1** 為較好的製做紙漿板比例。其重量、失重率、平整度及厚度等各項物理特性最佳。

二、實驗所得之紙和膠最佳比例所做出的收納櫃經實際測試，可承受 50Kg 的重量，因此，承載物品的能力（耐應力）確實能夠符合收納櫃的標準。

三、紙漿模具設計的精密度及其壓模的緊實度皆是避免變形的考慮因素；同時也須考量通風、乾燥和脫模等的功能。另外，將成品六個內角加厚（導角）亦達到增加耐應力的預期效果。

四、在整個實驗的操作過程中，紙漿的壓填必須紮實、緊密，並加壓、鎖緊模具使其紙漿更為紮實，以減少乾燥後因收縮而變形。

五、成品的乾燥除了考量到通風外，天氣因素也是一大考量。在濕冷的冬天，為使成品乾燥需要再烘乾。若是乾燥的夏天，則可簡化此一手續，也更節能。

## 柒、後續研究

一、若在紙漿中加入其他纖維，如棕櫚葉或其他長纖維的材料，是否能增加耐應力？或者將纖維交錯排列是否更有韌性？

二、在製作方法以方面，希望更能達到環保、節能、省時間、易操作且低成本為努力的目標。

三、校園中有許多枯枝、落葉、粉筆灰、咖啡渣等，可否加入紙漿中？特性有何改變？值得研究與探討。

四、在成品用途的上，可考慮使用在不同用途的家具或用具，以取代常用的塑膠或木板等材料，以達到環保的目的。