

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)科

052319

以柔克剛—紙電鋸

學校名稱：新北市立北大高級中學

作者： 高二 黃品竣 高二 林文祺 高二 邱品諺	指導老師： 古正彬
---	------------------

關鍵詞：紙電鋸

摘要

將不同磅數 A4 的影印紙裁成圓形的紙片，將割好的圓形紙片裝置在可調轉速的角磨機上，讓紙片代替砂輪片，以類似桌鋸的方式切割物體，觀察並紀錄圓形紙片在不同狀態下切割物體的深度。以**磅數**、**堆疊張數**、**半徑**及**轉速**四種變因去設計各項實驗。藉由實驗結果推論出各個變因與紙張切割深度的關聯性，並找出紙張在何種條件下能夠將切割物體的能力發揮到最大。

壹、研究動機

大家在生活上都有被紙割傷的經驗，而如此輕薄的紙張卻能割傷人的皮膚，引起我們的好奇心，能割傷皮膚的紙張是否也能去切割其他物品呢？然而又在網路上看到一部影片，影片中將紙張裁成圓形的紙片，以桌鋸的方式切割物品，這成為了我們的實驗中參照的方法。而我們選擇使用角磨機，因為它能提供高轉速且能調整不同的轉速，於是我們選擇角磨機作為我們主要的實驗裝置。

貳、研究目的

我們以紙張切割，發現會有紙片晃動導致切割效果不佳的情況，所以需要改善紙片晃動的程度。而因為有不同轉速所以我們就想到有不同的變因能設計此實驗，所以我們以**磅數**、**堆疊張數**、**半徑**及**轉速**四種變因將其倆倆對照來做實驗，並且找出當磅數、張數、半徑、轉速分別為多少數據時會有最佳的切割效果。

參、研究設備及器材



(圖一)

角磨機



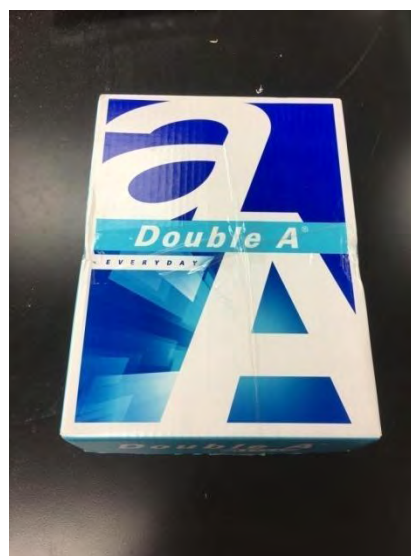
(圖二)

轉速計



(圖三)

光碟



(圖四)

70 磅影印紙



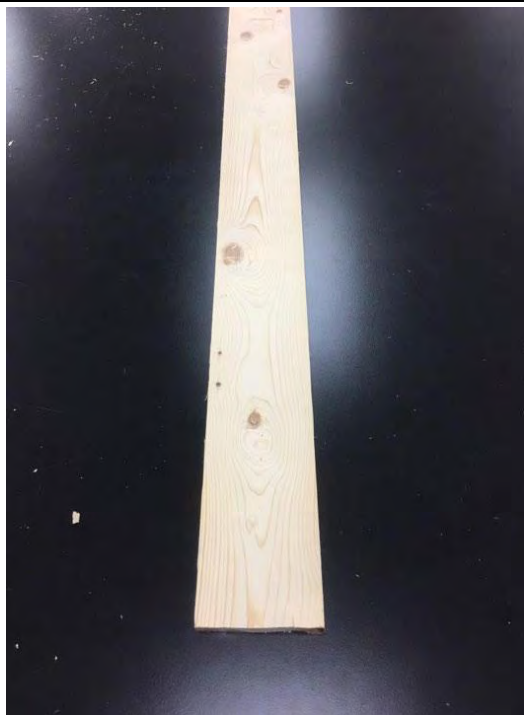
(圖五)

100 磅影印紙



(圖六)

130 磅影印紙



(圖七)

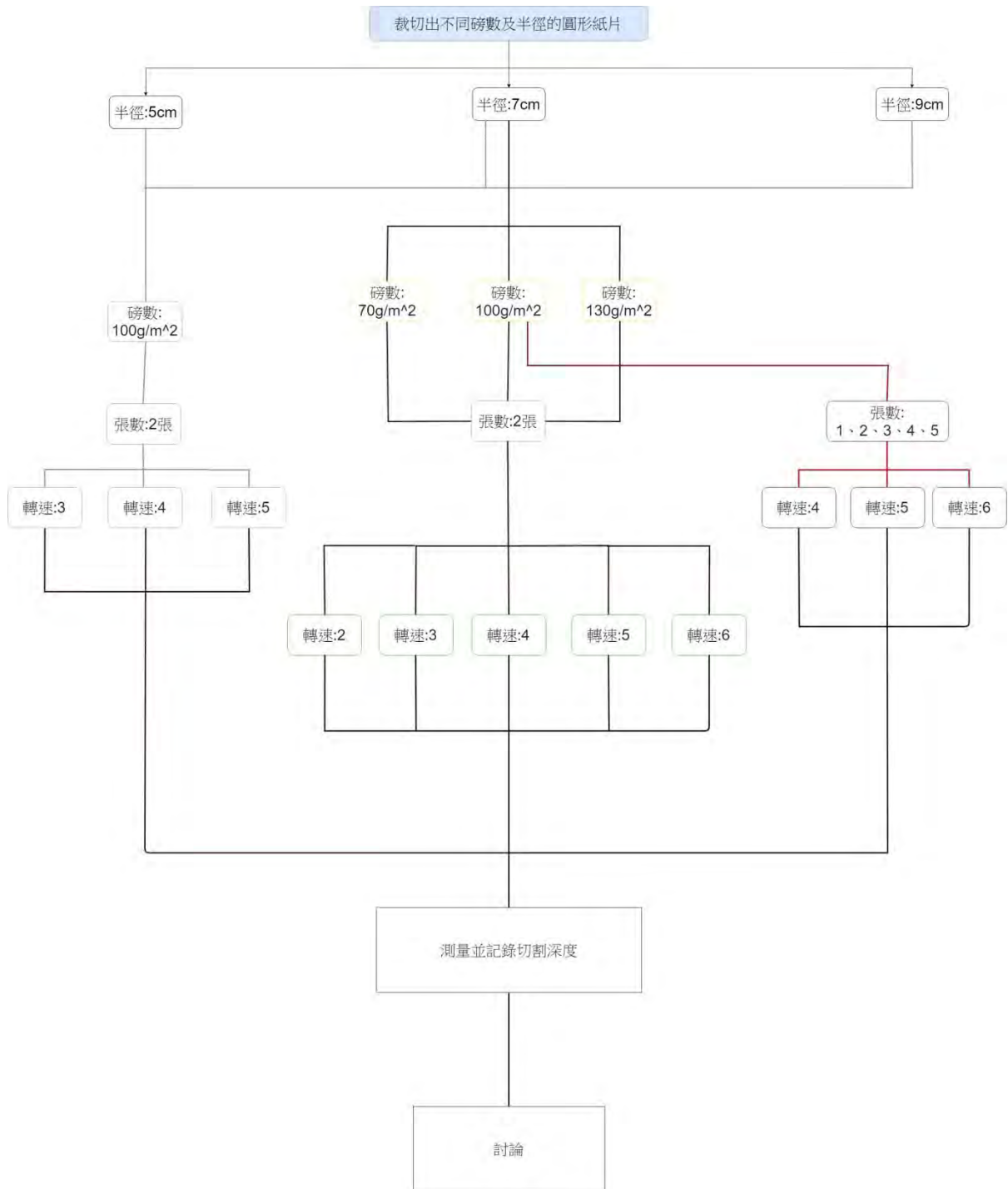
木板



(圖八)

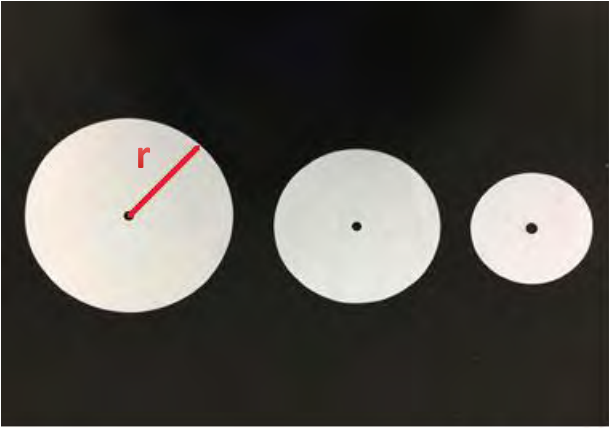
口紅膠

肆、研究過程或方法



一、實驗一進行步驟

(一) 將紙張裁成半徑 $r=5$ 、 7 、 9 cm 及中心空洞直徑 1 cm 的同心圓。



(二) 將紙片裝置在角磨機上，並且用光碟片將其固定。



(三) 切割待切割物。



(四) 測量待切割物被切割之深度。



實驗裝置



二、研究方法

(一) 測量角磨機轉速對於紙張切割深度的關聯：

固定半徑、紙張磅數及張數，並且以不同轉速切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出轉速跟切割深度的關聯。

(二) 測量紙張磅數對於切割深度的關聯：

固定半徑、角磨機轉速及紙張張數，並且以不同磅數的紙張切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出紙張磅數跟切割深度的關聯。

(三) 測量紙張堆疊張數與切割深度之關聯：

固定半徑、角磨機轉速及磅數，並且以不同張數的紙張切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出紙張張數跟切割深度的關聯。

(四) 測量紙張半徑與切割深度的關聯：

固定角磨機轉速、紙張張數及磅數，並且以不同半徑的紙張切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出紙張半徑跟切割深度的關聯。

三、實驗二進行步驟

(一)將半徑 5、7、9cm 的紙片以不同方式黏貼，分別為 $5\text{cm}+7\text{cm}+5\text{cm}$ 、 $5\text{cm}+9\text{cm}+5\text{cm}$ 、 $7\text{cm}+9\text{cm}+7\text{cm}$ 。



(二)將紙片裝在角磨機上。



(三)切割待切割物。



(四)測量待切割物之切割深度。



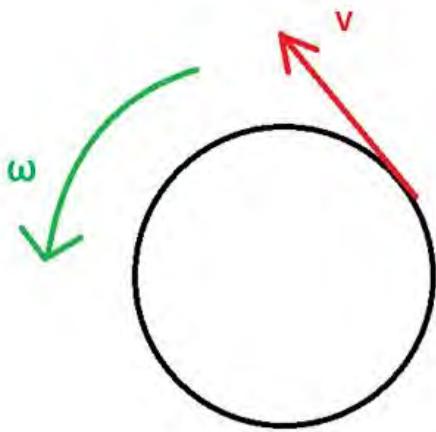
實驗原理

根據轉動和運動學原理，將圓形紙片最外側紙片部分當作圓周運動，並利用公式 $v = r\omega$ 和

$a_T = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 來分析實驗結果，其中 v 為切線速度； r 為圓形紙片中心點至最外側的半徑長；

ω 為角磨機的轉速； a_T 為切線加速度； Δv 為切線速度變化量； Δt 為圓形紙片與切割物體的接觸時間。

當固定半徑時，圓形紙片接觸到切割物體的瞬間，切線速度 v 變小，而因為角磨機為了維持原本的轉速，所以 Δv 變大因此 a_T 也變大。當切線加速度 a_T 變大時，切割能力也變佳，因此轉速越快切割能力越佳。



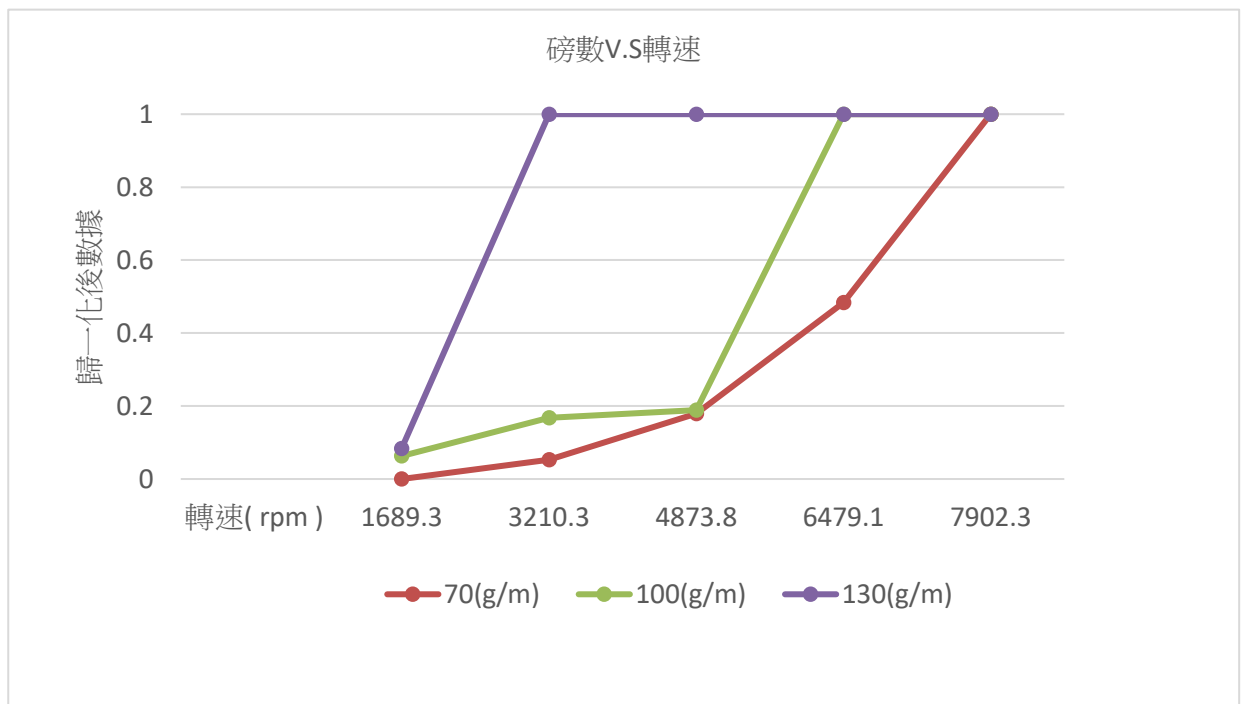
伍、研究結果

實驗一之實驗結果

(數據皆已歸一化)

● 磅數與轉速關係

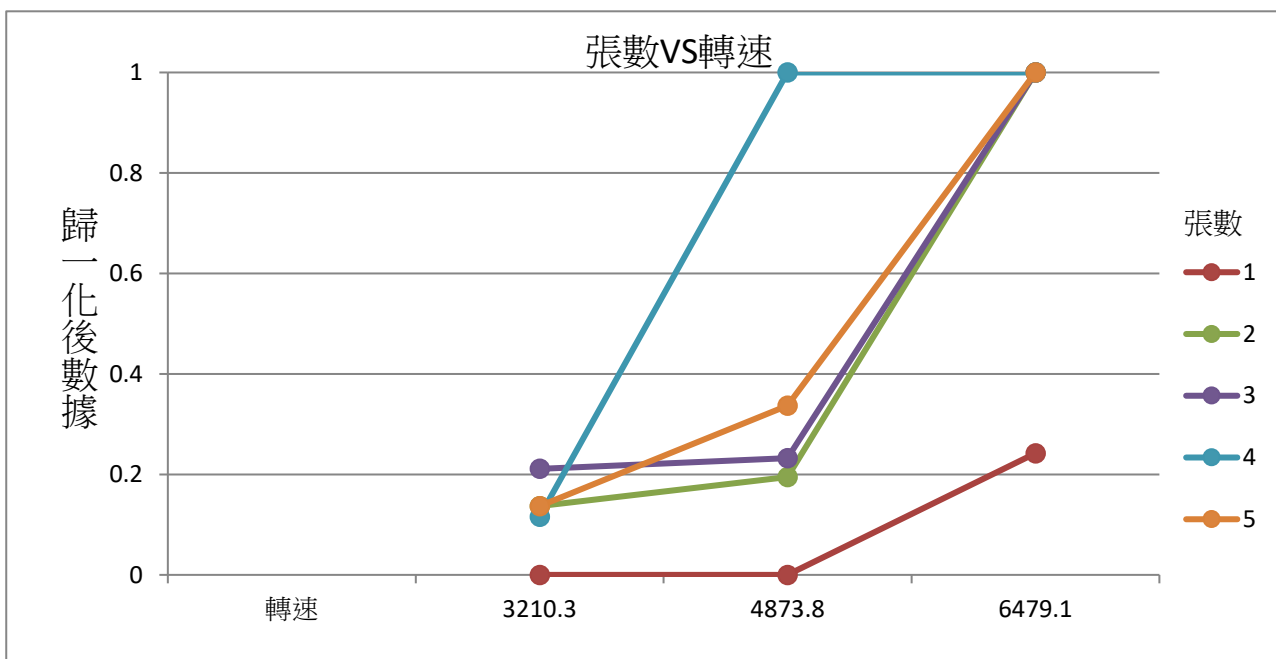
磅數(g/m)	$70\ g/m^2$	$100\ g/m^2$	$130\ g/m^2$
轉速(rpm)			
1689.3	0	0.063	0.084
3210.3	0.053	0.168	1
4873.8	0.179	0.189	1
6479.1	0.484	1	1
7902.3	1	1	1



- 當磅數固定時，轉速越**快**，能切割的深度越深。
- 當轉速固定時，磅數越**大**，能切割的深度也越深。

● 張數與轉速關係

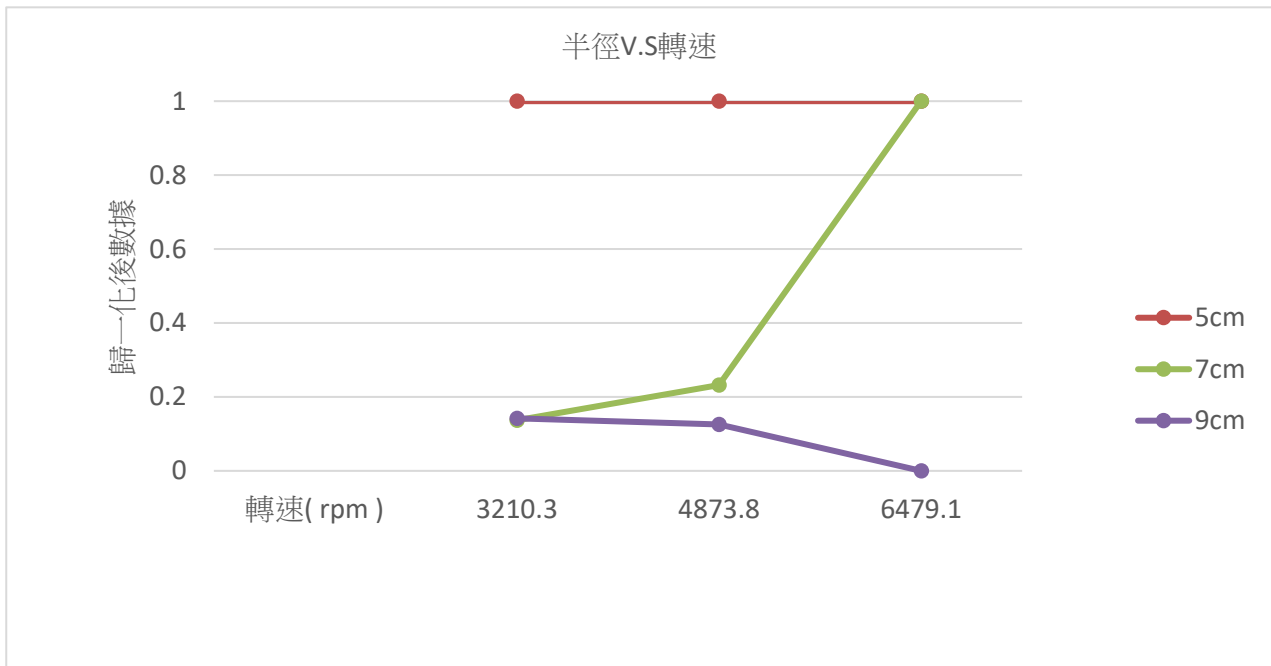
張數(張) \ 轉速(<i>rpm</i>)	1	2	3	4	5
3210.3	0	0.137	0.211	0.116	0.137
4873.8	0	0.195	0.232	1	0.337
6479.1	0.242	1	1	1	1



- 當轉速固定時，張數太少或太多，會導致切割效果不佳。
- 當張數固定時，轉速越快，切割效果越佳。

- 半徑與轉速關係

半徑(<i>cm</i>) \ 轉速(<i>rpm</i>)	5	7	9
3210.3	1	0.137	0.142
4873.8	1	0.232	0.126
6479.1	1	1	0

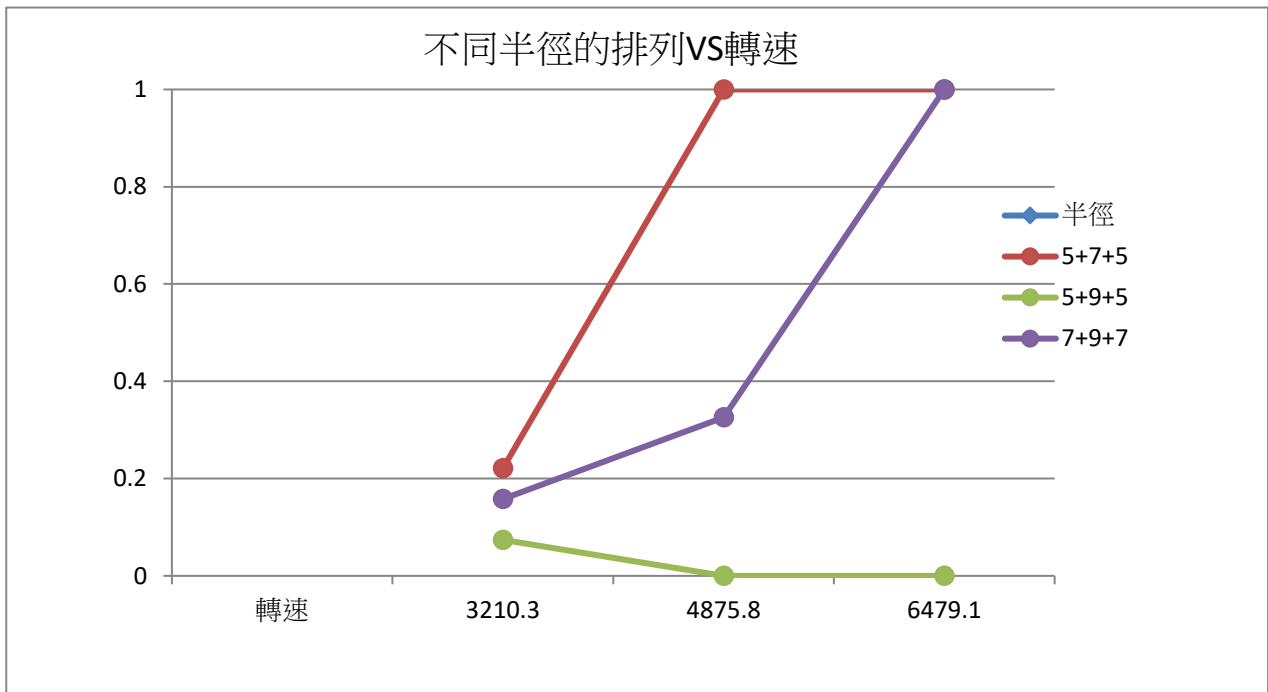


- 當轉速固定時，半徑越**大**，會導致紙片太大容易晃動切割效果不佳。
- 當半徑固定時，轉速越**快**，切割效果越不佳。

實驗二之實驗結果

(數據皆已歸一化)

半徑(cm)	5+7+5	5+9+5	7+9+7
轉速(rpm)			
3210.3	0.221	0.074	0.158
4875.8	1	0	0.326
6479.1	1	0	1



- 當轉速固定且半徑相近時，其穩定度會增加，切割效果較佳。
- 當轉速固定且半徑差距過大時，其穩定度不佳，切割效果不變。
- 當轉速越快且半徑差距過大時，因穩定度不佳，其切割效果越差。
- 當轉速越快且半徑相近時，其穩定度增加，切割效果越佳。

陸、討論

- 若紙片的邊緣固定的更加牢固，數據是否會更加準確，與我們的實驗數據有不同的結果。
- 使用不同材質的待切割物，是否會有更多完全切割或無法切割的情形。
- 裁切紙片的方法若能使用非人工切割等方法，使每張紙片誤差縮小，數據的誤差即能縮小。
- 改善黏貼紙片的方法，使紙片能保存為最原始的狀態。
- 若切割的方式改變，使用垂直切割等....，實驗數據是否與水平切割會有不同，未來也會針對這方面做實驗測試。
- 切割時會有晃動（圖八），若能固定的更牢固，實驗數據的誤差也能縮小。



(圖八)紙片的晃動

柒、結論

- 當磅數固定時，轉速越快，能切割的深度越深。
- 當轉速固定時，磅數越大，能切割的深度也越深。
- 當轉速固定時，張數太少或太多，會導致切割效果不佳。當張數介於 3-4 之間切割效果會最佳。
- 當張數固定時，轉速越快，切割效果越佳。
- 當轉速固定時，半徑越大，會導致紙片太大容易晃動切割效果不佳。
- 當轉速固定時，轉速越大，切割效果越不佳。
- 綜合以上結果，當磅數越大、轉速越快、半徑越小、張數介於 3 ~ 4 張之間時，切割效果會最佳。
- 當轉速固定且半徑相近時，其穩定度會增加，切割效果較佳。
- 當轉速固定且半徑差距過大時，其穩定度不佳，切割效果不變。
- 當轉速越快且半徑差距過大時，因穩定度不佳，其切割效果越差。
- 當轉速越快且半徑相近時，其穩定度增加，切割效果越佳。

捌、參考資料

<https://www.youtube.com/watch?v=ROjUvT62Jbs>

<https://www.youtube.com/watch?v=rYfkhdKcEiE>

玖、未來展望

- 設計快速裁切圓形紙片的方式或裝置。
- **安全**的應用在切割各項物體方面。ex:割草, 切割肉片.....

【評語】 052319

1. 本作品以實驗來驗證經驗法則，作法很有趣，若能討論應用的範圍為佳。
2. 文中定量的描述並不十分清楚，未深入了解其學理機制，應可再詳盡些。
3. 部分結果曲線呈明顯彎折(非線性)情形，未有合理分析或說明。

摘要

首先將不同磅數A4的影印紙裁成圓形的紙片，將割好的圓形紙片裝置在可調轉速的角磨機上，讓紙片代替砂輪片，以類似桌鋸的方式切割物體，觀察並紀錄圓形紙片在不同狀態下切割物體的深度。以紙張的**堆疊張數**、**磅數**、**半徑**及角磨機**轉速**四種變因去設計各項實驗。藉由實驗結果推論出各個變因與紙張切割深度的關聯性，並找出紙張在何種條件下能夠將切割物體的能力發揮到最大。

壹、研究動機

大家在日常生活中應該都有被紙割傷的經驗，觀察了這個現象我們發現紙張有割傷我的肌膚的能耐，那它是否也可以拿來切割比我們肌膚更堅硬的物體。後來我們看了一部網路上的影片，他所做的實驗，是將圓形紙片放置在能夠提供高轉速的角磨機上，再去進行切割物體的實驗。角磨機擁有高的轉速，而且它能夠調整成不同的轉速，價格也較能接受，於是我們就以角磨機作為我們主要切割的器械，經由影片給的靈感，我們的實驗也才能夠有具體的架構。

貳、研究目的

我們以紙張切割，發現會有紙片晃動導致切割效果不佳的情況，所以需要改善紙片晃動的程度。而因為有不同轉速所以我們就想到有不同的變因能設計此實驗，所以我們以**磅數**、**堆疊張數**、**半徑**及**轉速**四種變因將其兩兩對照來做實驗，並且找出當磅數、張數、半徑、轉速分別為多少數據時會有最佳的切割效果。

參、研究設備及器材



角磨機



轉速計



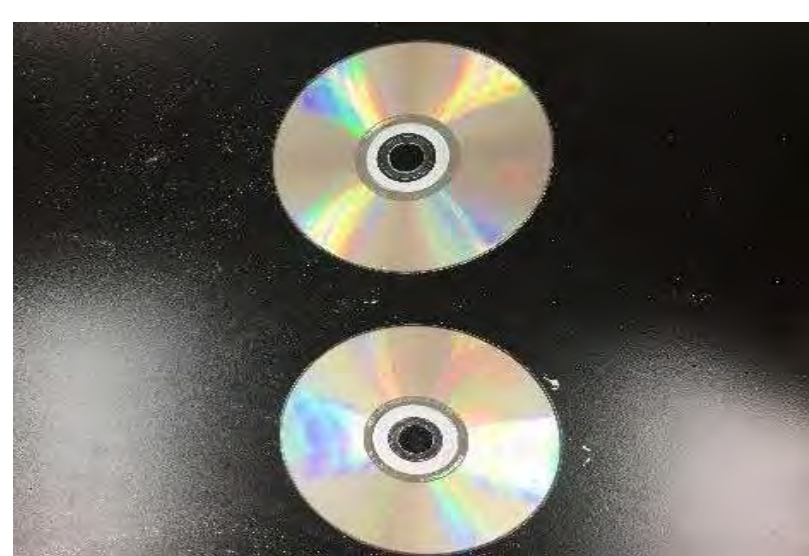
70磅影印紙



100磅影印紙



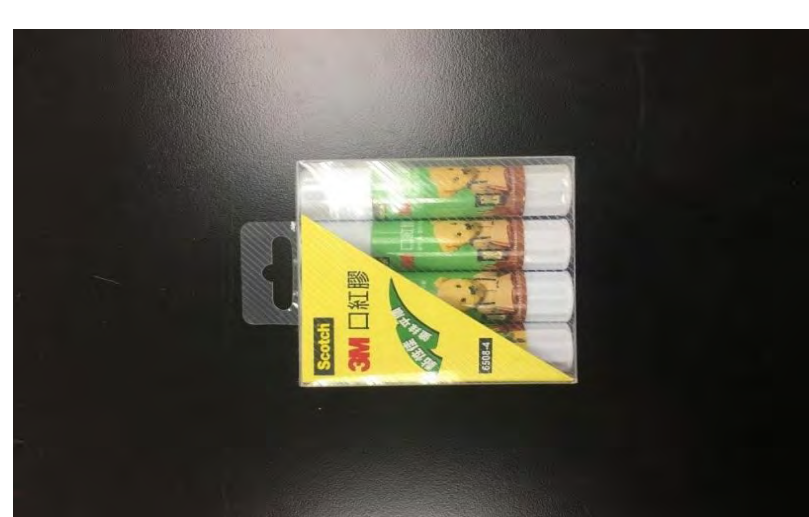
130磅影印紙



光碟



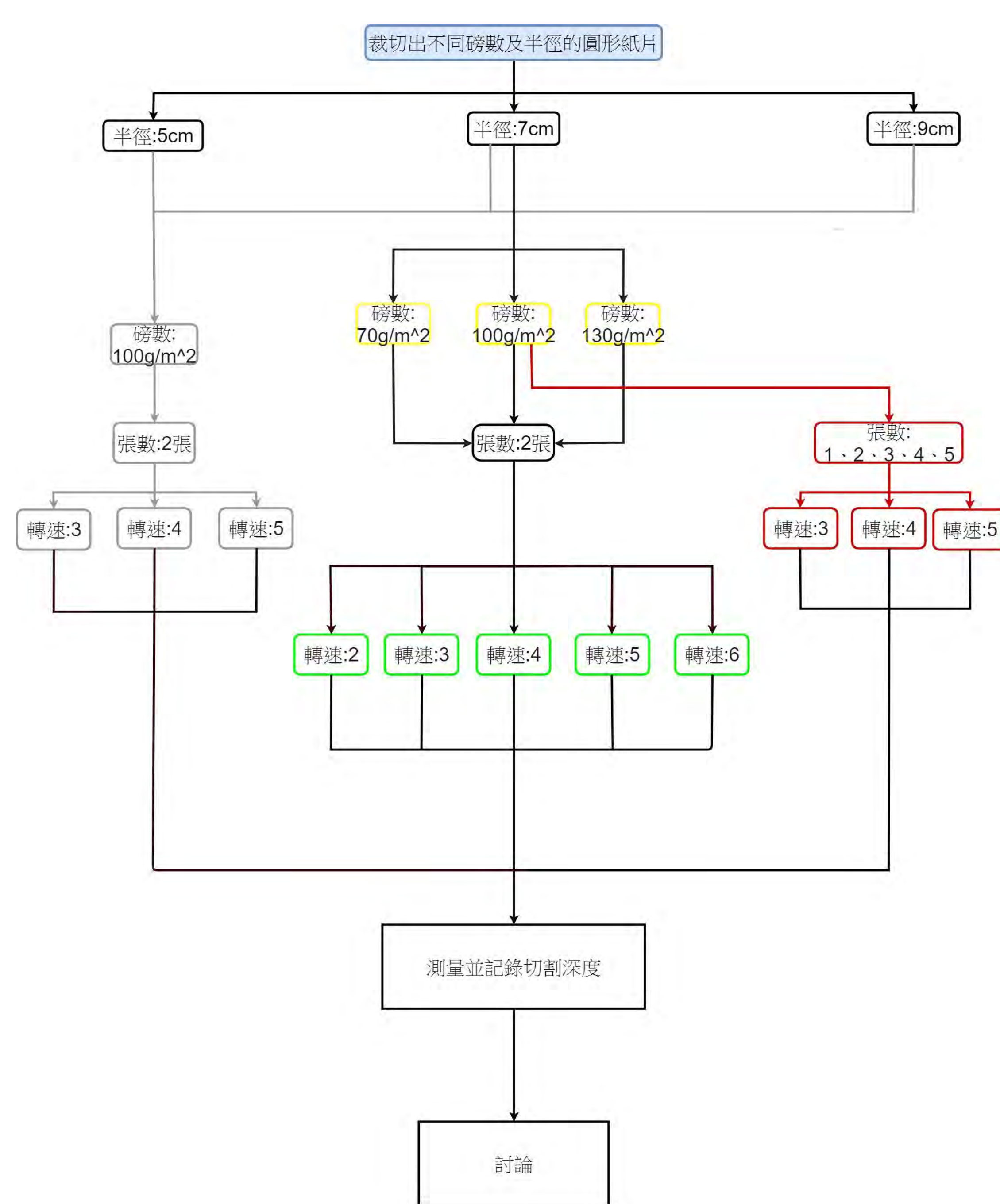
木棒



口紅膠

肆、研究過程或方法

一、實驗(一)流程圖



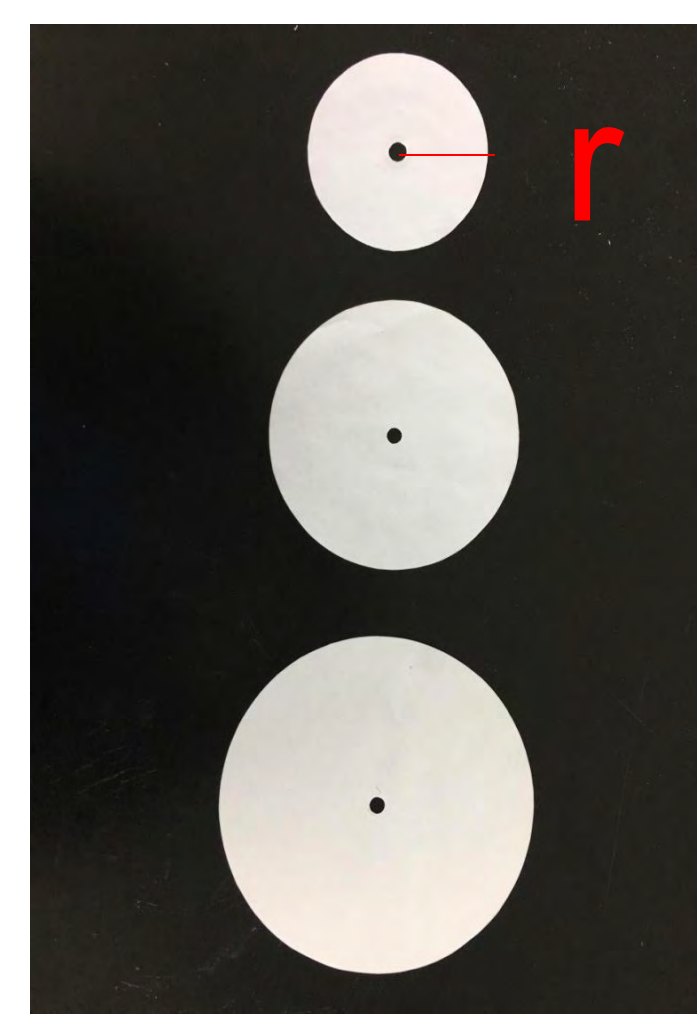
研究步驟



實驗裝置(一)



實驗裝置(二)



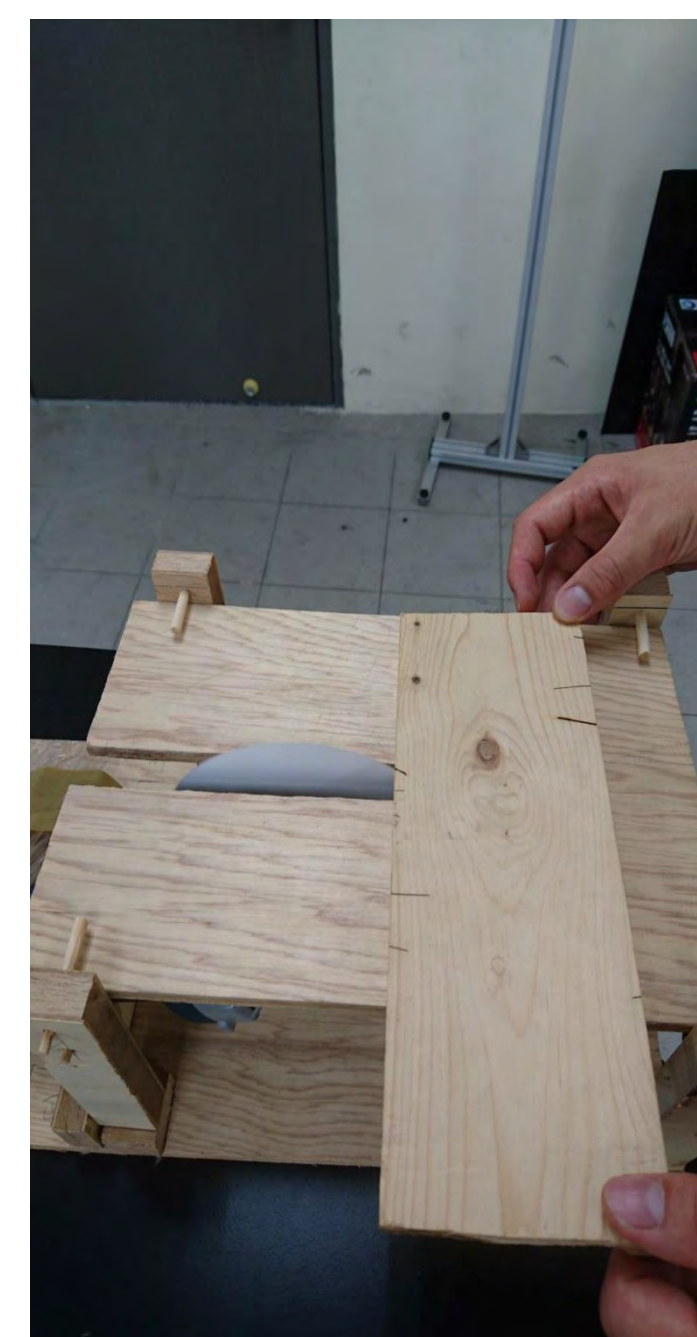
(一)

將紙張裁成半徑 $r=5$ 、 7 、 9 cm及中心空洞直徑 1 cm的同心圓。



(二)

將紙片裝置在角磨機上，並且用光碟片將其固定。



(三) 切割待切割物

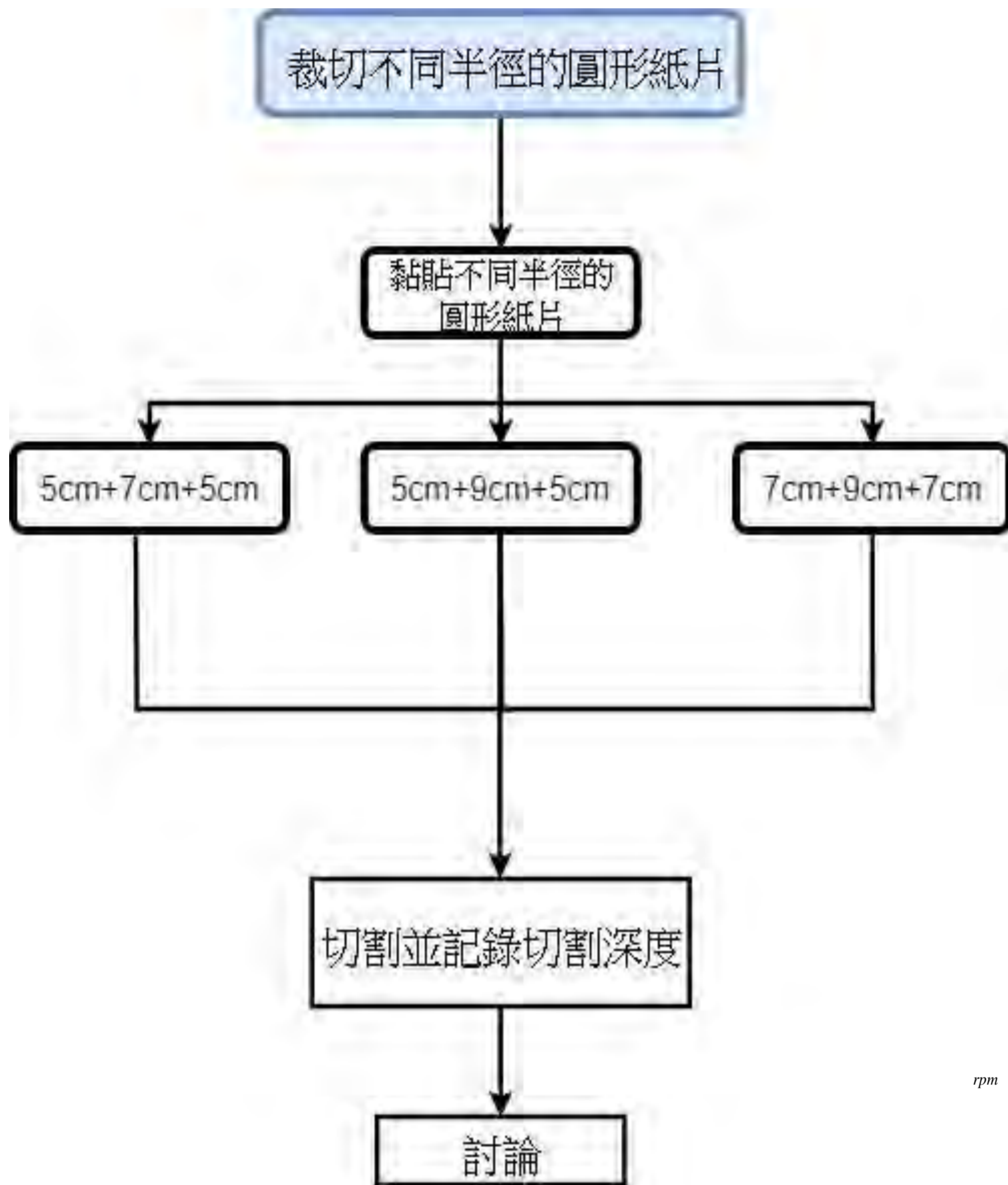


(四) 測量待切割物被切割之深度

研究方法

- 測量角磨機轉速對於紙張切割深度的關聯：
固定半徑、紙張磅數及張數，並且以不同轉速切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出轉速跟切割深度的關聯。
- 測量紙張磅數對於切割深度的關聯：
固定角磨機轉速、半徑及紙張張數，並且以不同磅數的紙張切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出紙張磅數跟切割深度的關聯。
- 測量紙張堆疊張數與切割深度之關聯：
固定角磨機轉速、半徑及磅數，並且以不同張數的紙張切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出紙張張數跟切割深度的關聯。
- 測量紙張半徑與切割深度的關聯：
固定角磨機轉速、堆疊張數及磅數，並且以不同半徑的紙張切割待切割物，觀察待切割物被切割的深度，製成圖表找出紙張半徑跟切割深度的關聯。

二、實驗(二)流程圖



研究步驟



(一)

將半徑5、7、9cm的紙片以不同方式黏貼，分別為 5cm+7cm+5cm、5cm+9cm+5cm、7cm+9cm+7cm。



(二)

將紙片裝在角磨機上。



(三)

切割待切割物。



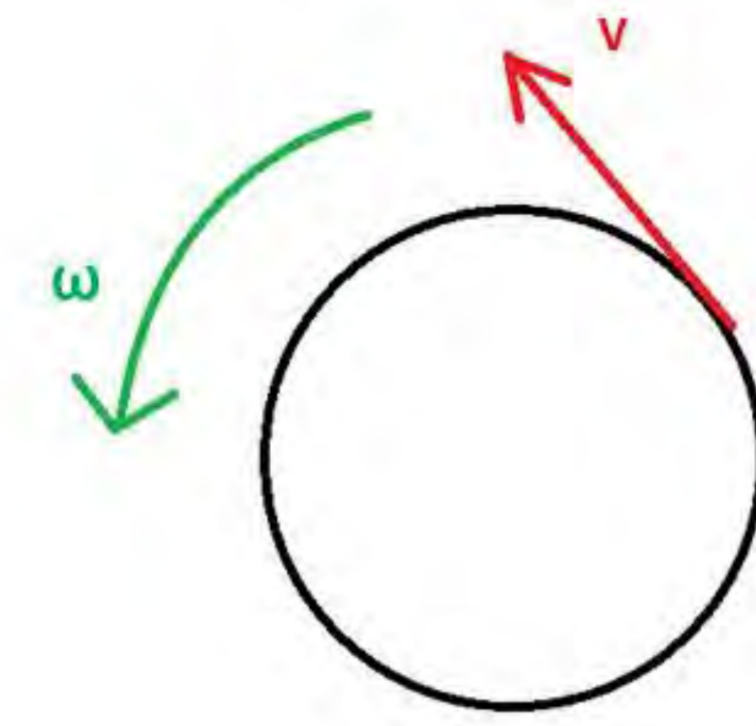
(四)

測量待切割物之切割深度。

伍、實驗原理

根據轉動和運動學原理，將圓形紙片最外側紙片部分當作圓周運動，並利用公式 $v = r\omega$ 和 $a_T = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 來分析實驗結果，其中 v 為切線速度； r 為圓形紙片中心點至最外側的半徑長； ω 為角磨機的轉速； a_T 為切線加速度； Δv 為切線速度變化量； Δt 為圓形紙片與切割物體的接觸時間。

當固定半徑時，圓形紙片接觸到切割物體的瞬間，切線速度 v 變小，而因為角磨機為了維持原本的轉速，所以 Δv 變大因此 a_T 也變大。當切線加速度 a_T 變大時，切割能力也變佳，因此轉速越快切割能力越佳。

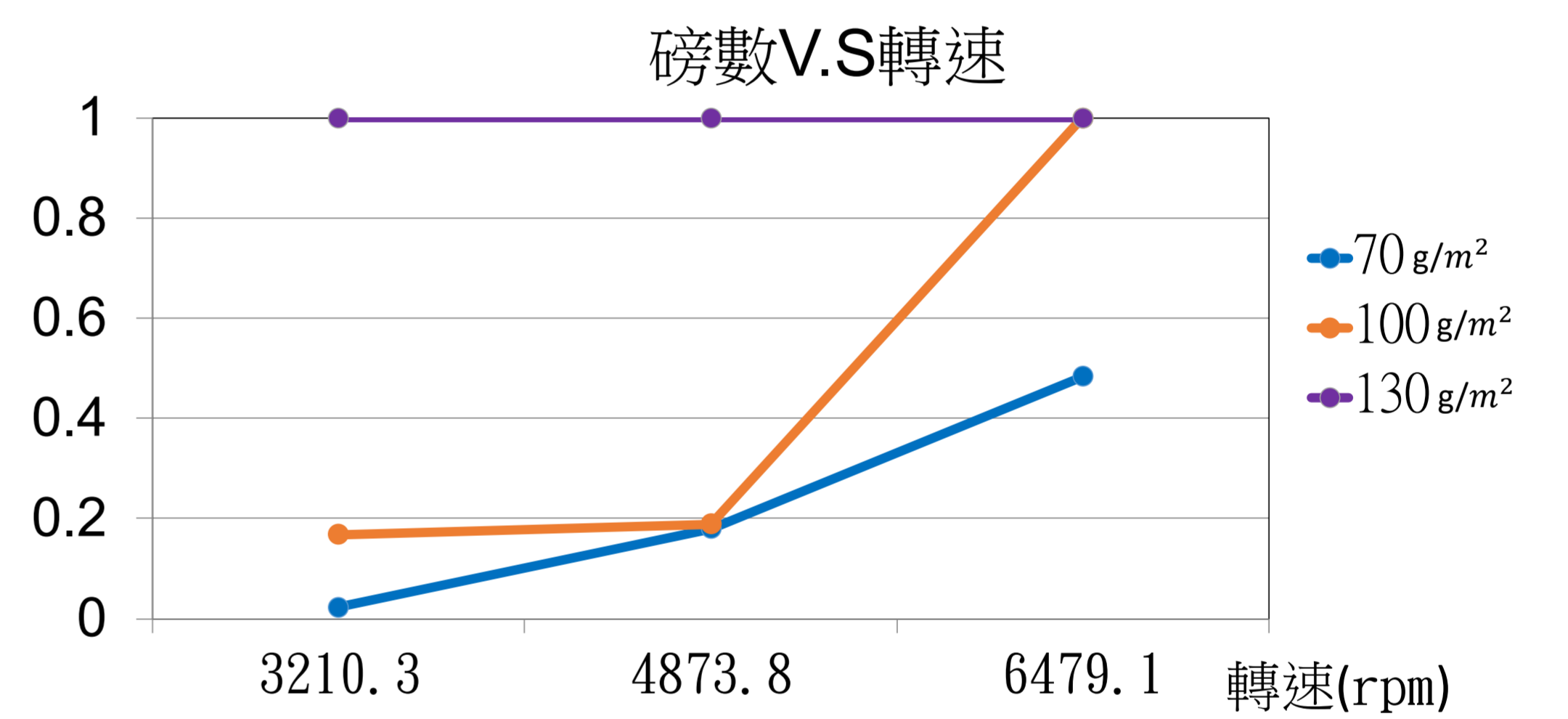


陸、研究結果

實驗(一)實驗數據 實驗數據皆已歸一化

• 磅數與轉速之關聯

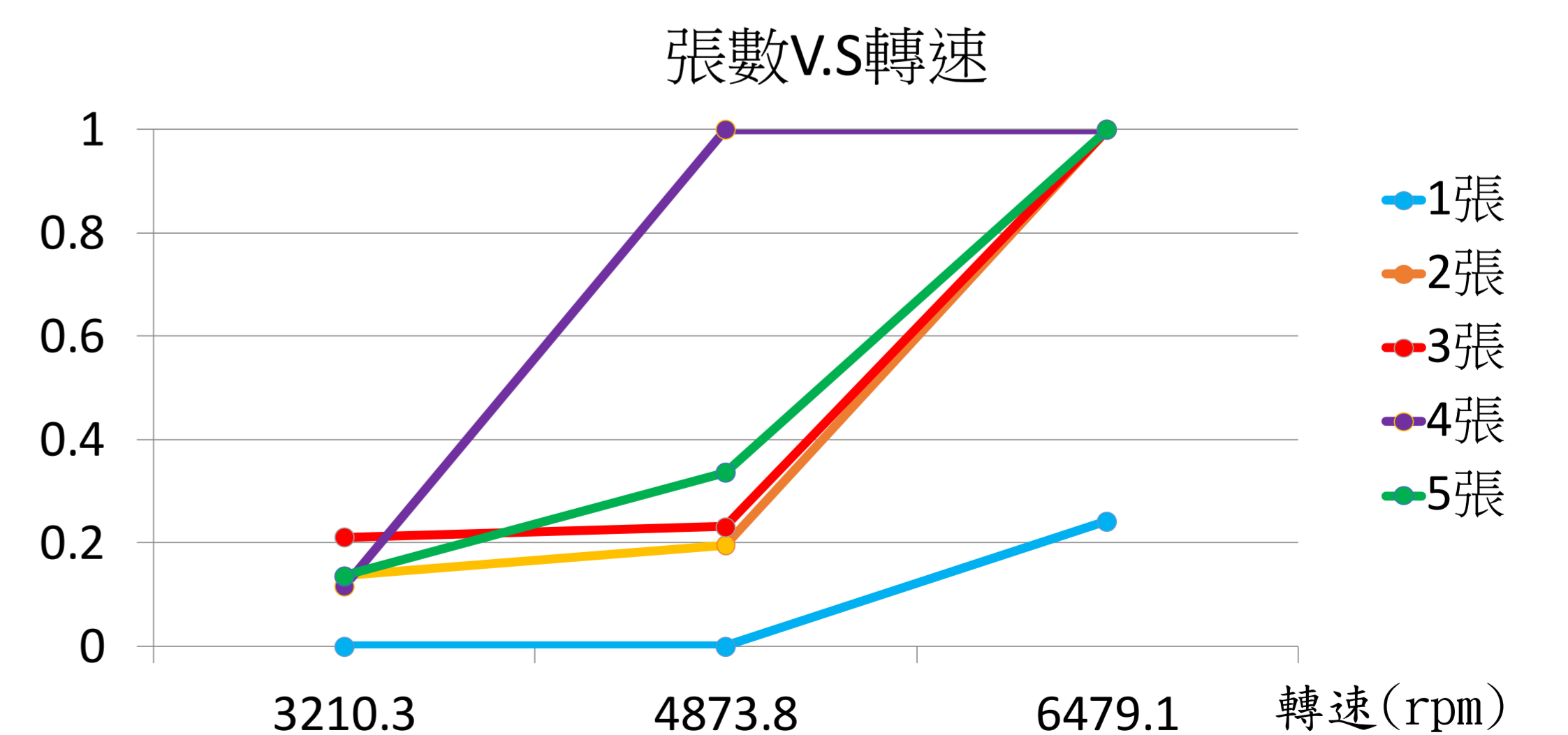
磅數 (g/m ²) \ 轉速 (rpm)	70 g/m ²	100 g/m ²	130 g/m ²
3210.3	0.053	0.168	1
4873.8	0.179	0.189	1
6479.1	0.484	1	1



- 當磅數固定時，轉速越**快**，能切割的深度越深。
- 當轉速固定時，磅數越**大**，能切割的深度也越深。

• 張數與轉速之關聯

張數 (張) \ 轉速 (rpm)	1	2	3	4	5
3210.3	0	0.137	0.211	0.116	0.137
4873.8	0	0.195	0.232	1	0.337
6479.1	0.242	1	1	1	1

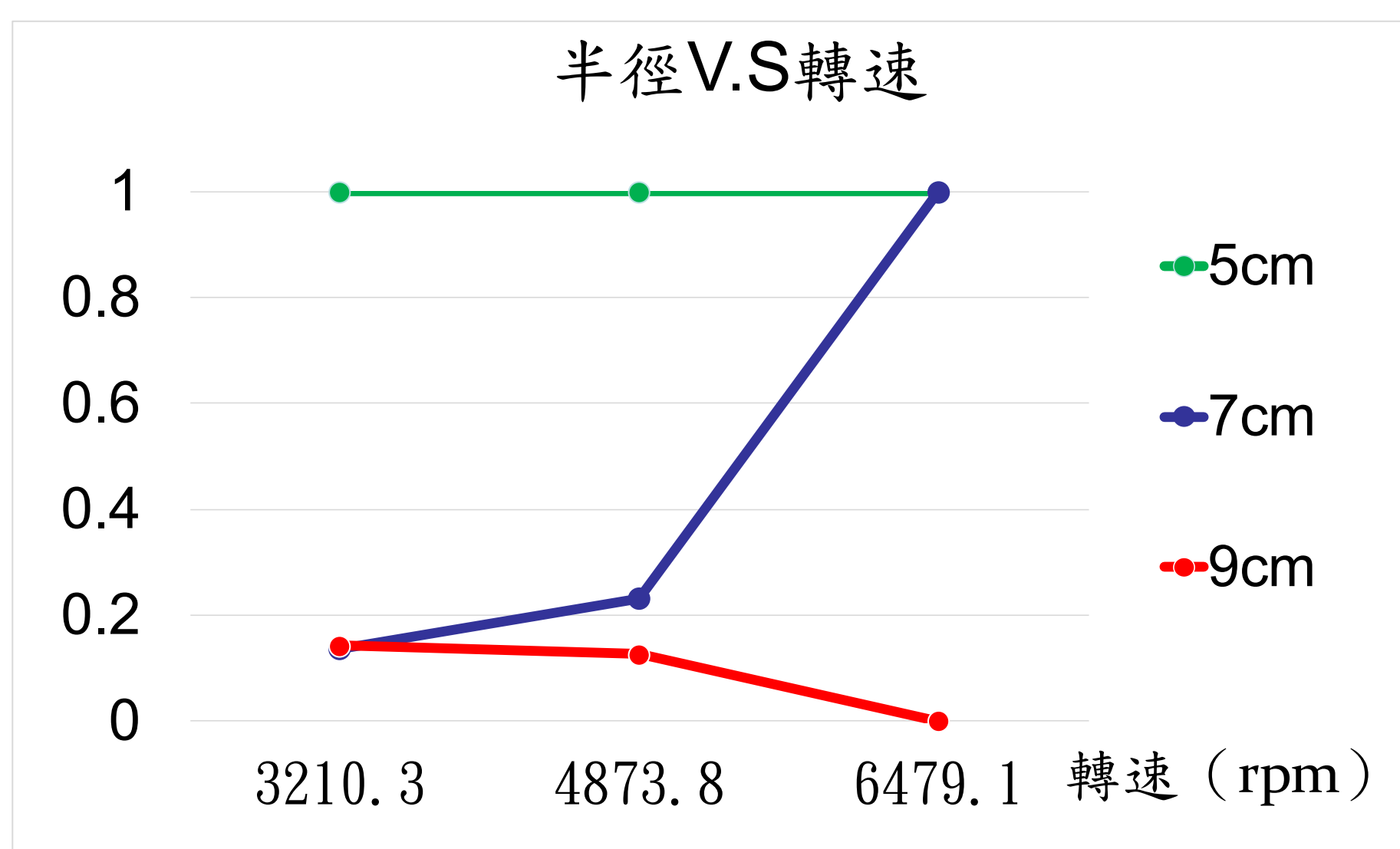


- 當轉速固定時，張數太**少**或太**多**，會導致切割效果不佳。
- 當張數固定時，轉速越**快**，切割效果越佳。

柒、討論

- 半徑對轉速關係

半徑(cm)	5cm	7cm	9cm
轉速(rpm)			
3210.3	1	0.137	0.142
4873.8	1	0.232	0.126
6479.1	1	1	0

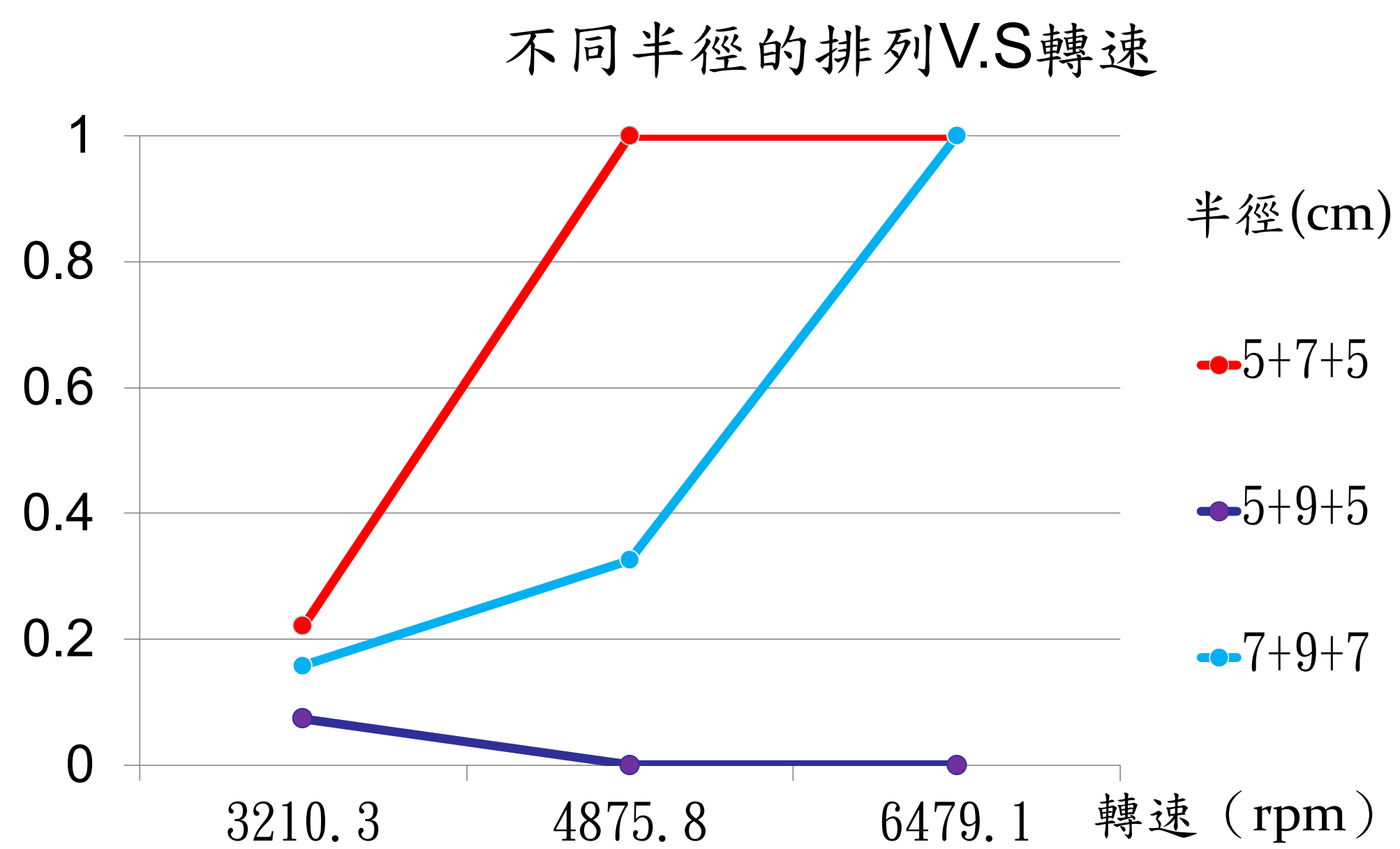


- 當轉速固定時，半徑越**大**，會導致紙片太大容易晃動切割效果不佳。
- 當半徑固定時，轉速越**快**，切割效果越不佳。

實驗(二)實驗數據 實驗數據皆已歸一化

- 不同半徑排列與轉速之關聯

半徑(cm)	5+7+5	5+9+5	7+9+7
轉速(rpm)			
3210.3	0.221	0.074	0.158
4875.8	1	0	0.326
6479.1	1	0	1

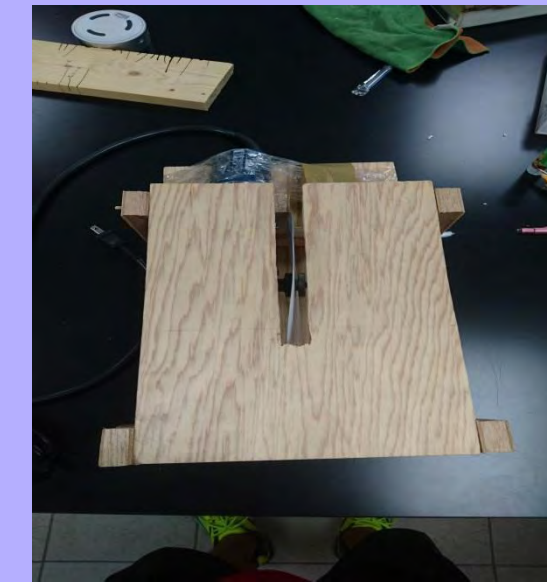


- 當轉速固定且半徑**相近**時，其穩定度會增加，切割效果較佳。
- 當轉速固定且半徑**差距過大**時，其穩定度不佳，切割效果不變。
- 當轉速越快且半徑**相近**時，其穩定度增加，切割效果越佳。
- 當轉速越快且半徑**差距過大**時，因穩定度不佳，其切割效果越差。

- 若紙片的邊緣固定的更加牢固，數據是否會更加準確，與我們的實驗數據有不同的結果。
- 使用不同材質的待切割物，是否會有更多完全切割或無法切割的情形。
- 裁切紙片的方法若能使用非人工切割等方法，使每張紙片誤差縮小，數據的誤差即能縮小。
- 改善黏貼紙片的方法，使紙片能保存為最原始的狀態。
- 若切割的方式改變，使用垂直切割等...，實驗數據是否與水平切割會有不同，未來也會針對這方面做實驗測試。
- 切割時會有晃動(圖一、二)，若能固定的更牢固，實驗數據的誤差也能縮小。



(圖一)紙張晃動



(圖二)紙張晃動

捌、結論

- 當磅數固定時，轉速越快，能切割的深度越深。
- 當轉速固定時，磅數越大，能切割的深度也越深。
- 當轉速固定時，張數太少或太多，會導致切割效果不佳。
- 當張數介於3-4之間切割效果會最佳。
- 當張數固定時，轉速越快，切割效果越佳。
- 當轉速固定時，半徑越大，會導致紙片太大容易晃動切割效果不佳。
- 當半徑過大時，轉速越大，切割效果越不佳。
- 綜合以上結果，當磅數越大、轉速越快、半徑越小、張數介於3~4張之間時，切割效果會最佳。
- 當轉速固定且半徑相近時，其穩定度會增加，切割效果較佳。
- 當轉速固定且半徑差距過大時，其穩定度不佳，切割效果不變。
- 當轉速越快且半徑差距過大時，因穩定度不佳，其切割效果越差。
- 當轉速越快且半徑相近時，其穩定度增加，切割效果越佳。

玖、參考資料

<https://www.youtube.com/watch?v=ROjUvT62Jbs>

<https://www.youtube.com/watch?v=rYfkhdKcEiE>

拾、未來展望

- 設計快速裁切圓形紙片的方式或裝置。
- 安全**的應用在切割各項物體方面。ex:割草，切割肉片……
- 使用雷射切割等等設備，使原形紙片能被完美切割。