

第十八屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA18-504

作品名稱：軟性防禦力場—論非牛頓流體性質與手機殼應用

姓名：陳家葦

關鍵字：非牛頓流體

摘要

本研究主要觀察物體碰撞具有脹流性質的非牛頓流體，並分析其短時間受力情形，進以使用實驗結果進行應用設計，本實驗非牛頓流體為玉米粉加水依固定比例調製而成，流體在不受力時呈液體狀，但在受力時會呈現固體的特性。實驗使用測力平台觀察流體在不同變因下受力表現，並推算出不同變因下力量吸收公式，進而運用最佳參數設計手機殼，以達到保護物體之功效。其特性可應用於生活中需要撞擊防護的用品上，依物體大小及受力性質進行產品改良或研發，達到最佳衝擊吸收效果。

壹、研究題目

軟性防禦力場—論非牛頓流體性質與手機殼應用

Collision Avoidance — The Application of non-Newtonian fluid

貳、研究動機

當時在網路上看到了一則新聞：[波蘭](#)正在研發用特殊非牛頓流體製造防彈背心，且宣稱比固體還要更加堅固。這篇新聞讓我們開始好奇非牛頓流體的物理性質要如何達到最好的防碰撞、防衝擊效果，更思考如此的特性是否可以應用日常生活易因碰撞而損壞的物品。由於組員在國中時曾做過與非牛頓流體相關的研究，對非牛頓流體特性擁有基礎知識，更了解如何減少誤差的調製實驗溶液、裝入待測容器中，使我們更能在此主題上仔細鑽研發揮。

參、研究目的

為了分析非牛頓流體最佳吸收力量狀況，我們改變流體的濃度及厚度和重物的重量及截面積四種變因，藉以探討不同變因下非牛頓流體吸收衝擊的表現。本次實驗運用 PASCO 儀器進行量測，知悉流體不同實驗物理量，推算力量吸收公式。蒐集以上數據後，得出最佳吸收效果的非牛頓流體，並應用於相關防撞用品上，以下為四大實驗研究主軸。

- (一) 在不同變因下探討非牛頓流體吸收力量效果
- (二) 在不同變因下探討重物落於非牛頓流體之最大凹陷量
- (三) 使用不同種類粉狀固體減輕非牛頓流體重量以利應用
- (四) 運用實驗結果設計手機殼，並應用於生活上其他防撞物品

研究設備及器材

1. 實驗數位量測儀器

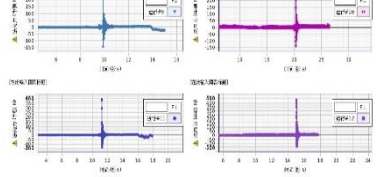
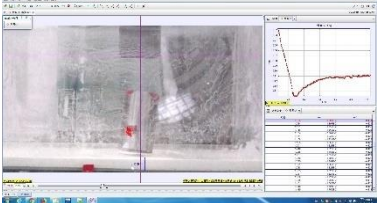
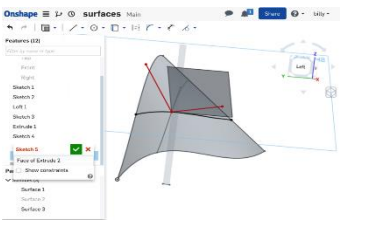

器材名稱(附圖)	規格	用途/功能
 PASCO 測力平台	量測範圍：-1100N ~ +4400N 取樣頻率最高可達 2000 Hz 尺寸：35 cm x 35 cm 儀器四角皆有力量感測器	測量重錘掉落經流體吸收力量後所得力數據(實驗組)，以及測量重錘直接撞擊平台所得力數據(對照組) <i>(實驗一及實驗二力量測量儀器)</i>
 PASCO 力感測器	量測範圍：±50 N 取樣頻率最高可達 20000 Hz	將細繩兩端綁於儀器感測部分，繞經水缸底部，運用槓桿原理得出撞擊後力量分布。 <i>(本器材之實驗由於數據誤差過大，故無紀錄於本次研究成果中，原因於討論部分說明)</i>
 PASCO 850 實驗主機	PASCO 系列實驗器材 數據蒐集主機	以上兩種儀器(測力平台及力感測器)所測得資料皆須經本主機處理後傳至電腦上作業。
 高速攝影機	SONY-RX100 960fps 高速攝影 內備高光圈	由於實驗一及實驗二力作用時間極短，故使用高速攝影機進行拍攝，並運用 Tracker 軟體進行影片分析。
 PASCO 無線智慧滑車	一維運動物理量測量工具 力量感測範圍：±100 N 位置誤差：±0.2 mm 速度最大量測值：±3 m/s 最高採樣率：500 Hz	本實驗滑車為模擬車輛高速行駛撞擊到物體時短時間狀況，改變撞擊之物體，觀察各項物理量變化。
 PASCO 滑車軌道	放置於滑車上運動 使滑車行進時近無摩擦力 (軌道長度：120cm)	滑車於軌道上行進實驗。

2. 掉落實驗器材

器材名稱(附圖片)	規格	用途/功能
 載重容器	本器材共有 3 種尺寸 由左而右分別為小、中、大 (小)底面積 19.63cm^2 (中)底面積 33.17cm^2 (大)底面積 44.16cm^2	承載各指定數量之砝碼，載重容器內有嵌入一鐵管供重物可旋入固定，藉以改變載重容器質量。直徑大小與掉落軌道(水管)內徑相同
 砝碼	每個砝碼重量為 25g，單一載重容器可旋入最多 5 個砝碼	此設計易於改變重錘重量。
 水管(掉落軌道)	本器材共有 3 種不同尺寸，內徑大小與載重容器底面直徑相同 (小)內徑 5cm (中)內徑 6.5cm (大)內徑 7.5cm	掉落重物經水管軌道後，由於水管為直線軌道，故可確保運動軌跡近似於垂直撞擊接觸面。
 掉落軌道支架	本器材提供水管(掉落軌道)於垂直部分連接	器材垂直部分有凹槽，供掉落軌道黏著
 鉛錘線	於掉落軌道支架最高點綁線，確保實驗主體與地面成垂直狀態，使掉落軌道也呈垂直狀態	確保實驗精準並降低數據誤差。
 水平儀	放於玻璃箱上方確保玻璃箱於實驗前呈水平狀態	確保實驗精準並降低數據誤差。

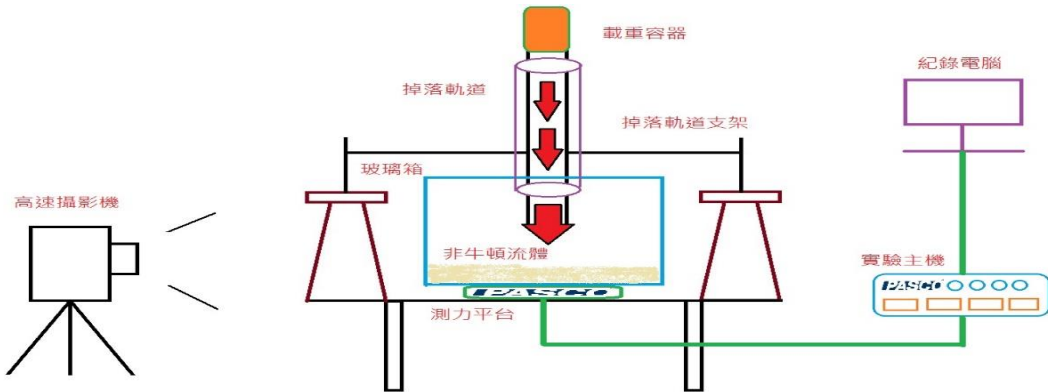
 <p>玉米粉</p>	<p>每包 25kg 玉米澱粉，本次實驗 共使用 4 包，共 100kg</p>	<p>配置非牛頓流體之原料</p>
 <p>玻璃箱</p>	<p>玻璃箱尺寸 (長 60cm/寬 30cm/高 45cm) 玻璃厚度 0.5cm 由於玻璃屬於透明材質，高速 攝影機故可在旁拍攝紀錄物體 掉落情形</p>	<p>容器填裝玉米粉溶液</p>

3. 實驗數據分析軟體

器材名稱(附圖)	規格	用途/功能
 <p>PASCO Capstone</p>	<p>紀錄實驗主機傳回數據</p>	<p>可將數據以 Excel 表格式輸出，也可在 程式內製作圖表分析，但由於圖表呈現 方式選擇較少，故本次實驗程式只用於 數據輸出，圖表分析部分由 Excel 進行</p>
 <p>Tracker</p>	<p>物理運動分析軟體</p>	<p>在實驗二中，可由軟體偵測出重錘掉落 過程中各種物理量</p>
 <p>Onshape</p>	<p>3D 模型繪圖軟體</p>	<p>進行手機殼 3 D 繪圖</p>
 <p>saprkvue</p>	<p>PASCO 儀器行動裝置 APP</p>	<p>可於手機或平板上採集實驗數據</p>

肆、研究過程

(一)實驗器材安裝位置圖



(二)實驗裝置

1、非牛頓流體的製備

- (1)先取固定質量玉米粉
- (2)將水加入玉米粉中並攪拌均勻

2、重錘：載重容器+1~5個砝碼

- (1)在鋼杯裡焊接一不銹鋼細管
- (2)將數個砝碼旋入細管中藉以改變重物質量

3、鉛錘掉落軌道

- (1)三種不同管徑之水管皆有對應之載重容器
- (2)固定於支架上，並調整角度直到呈現鉛直狀態

4、玻璃箱

將非牛頓流體填入玻璃箱中，在玻璃箱外圍黏上皮尺，方便觀察裝入之流體高度，並以水平儀確認流體是否成平面狀態。

(三)實驗方法

- 1、調整重錘釋放高度，每次實驗重錘掉落高度皆相同，若非牛頓流體厚度增加導致落下距離減少，將掉落管道提高維持固定掉落高度，以確保重錘撞擊非牛頓流體前速度一致
- 2、開啟測力平台並連接實驗數據主機，實驗前進行儀器歸零
- 3、以高速攝影全程紀錄實驗過程，以利後續運動過程分析及揀選誤差過大之實驗項次

(四)變因設計

依照上方實驗方法，完成下方不同實驗變因的實驗

1. 重錘重量變因:載重容器依加入之砝碼數量決定重量，由加入一個到加入五個，總重量依序分別為 220g、270g、320g、370g、420g。
2. 重錘底部面積變因:實驗不同鋼杯底部面積對非牛頓流體衝擊影響，共有 3 個不同底面積尺，由小到大為： 19.63cm^2 、 33.17cm^2 、 44.16cm^2
3. 玉米粉溶液濃度:探討玉米粉溶液濃度高低是否影響吸收力量效果，濃度計算公式為：(玉米粉質量/總重 x100%)，由稀至濃依序分別為:55%、57.5%、60%、62.5%、65%

4. 玉米粉溶液厚度:探討玉米粉裝於玻璃箱中的厚度是否影響吸收力量效果，厚度由小到大依序分別為:2cm、2.5cm、3cm、3.5cm、4cm

	重量(gw)	底面積(cm^2)	濃度(%)	厚度(cm)
實驗變因(重量)	220/270/320/370/420	33.17 cm^2	60%	2cm
實驗變因(底面積)	420gw	19.63/33.17/44.16	60%	2cm
實驗變因(濃度)	420gw	33.17 cm^2	55/57.5/60/62.5/65	2cm
實驗變因(厚度)	420gw	33.17 cm^2	60%	2/2.5/3/3.5/4

(五)實驗目的說明

實驗一、在不同變因下探討非牛頓流體吸收力量效果

此實驗是為了要檢測非牛頓流體在何種情況下可吸收最高比例的力量，藉由改變落下的重物重量及接觸面截面積，以及改變粉漿的濃度及厚度，探討何種變因組合可以達到非牛頓流體最佳吸收力量效果。為了測試到吸收力的多寡，我們採用的計算公式：(重錘落下未接觸非牛頓流體的撞擊力力—測力平台所偵測之力=非牛頓流體吸收之力)

進階研究：為更深入了解力量與非牛頓流體性質關係，於上述變因全數實驗完成後，特別挑出重物及非牛頓流體性質兩者各取一項其影響最明顯之變因進行交叉變因實驗。

實驗二、測量在不同變因下探討重物落於非牛頓流體之凹陷情形

此實驗是為了要檢測非牛頓流體在重物撞擊的不同變因下表面凹陷程度，藉由改變落下的重物重量及接觸面截面積，以及改變粉漿的濃度及厚度，探討表面凹陷情形與吸收力量狀況是否有關。

實驗三、使用不同種類粉狀固體減輕非牛頓流體重量以利應用

此實驗是為了找出不同類型的非牛頓流體，由於日後應用手機殼有許多限制因素，重量即是一大考量因素。選擇了以下幾個常見食用粉末進行配水調製，檢查是否具備玉米粉加水一樣的非牛頓流體脹流性質，並適當調整比例以得出最近似狀態。

※選擇的食用粉類：玉米粉、太白粉、地瓜粉、低中高筋麵粉、在來米粉

為了深入探討非牛頓流體特殊性質成因，運用顯微鏡觀察粉漿分子連續數日聚合情形。

※選擇的食用粉類：玉米粉、太白粉、糯米粉

(一)分別配置相同濃度(50%)玉米粉漿、太白粉漿、糯米粉漿，分別取適量放置於在玻上，並在其上方放置蓋玻片，準備進行觀測。

(二)將所需觀測的粉漿載玻片放置於顯微照相機(Digital microscope measurement)進行拍照，每種粉漿連續拍攝五天。(顯微照相機的放大倍數為500)

(三)再以 Amcap 軟體算出各種粉漿連續七天的澱粉粒子大小的變化情形，以做比較

實驗四、運用實驗結果設計手機殼，並應用於生活上其他防撞物品

★手機殼研發設計構想

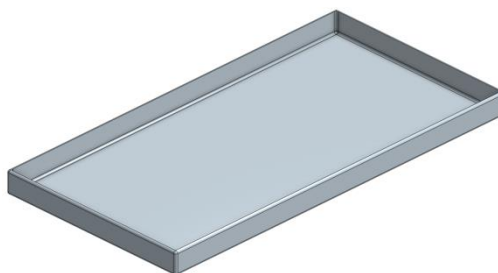
1. 先在家人、親友、同學間與網路上進行調查，統計後得知大多數人所拿的手機尺寸為何，得知基礎尺寸。
2. 藉由 3D 繪圖程式(本次使用的程式為網路上的免費程式 Onshape)進行手機殼設計圖繪製，利用前面各項實驗的數據結果，設計出一個適合我們進行實驗的手機殼模型。
3. 利用 3D 列印機用最常見手機殼材質(使用最接近橡膠材質的 TPE)列印，確定可以達成我們所需的效果後，開始主實驗。
4. 用玻璃代替手機，在不同情況下調製不同的非牛頓流體，將玻璃至於手機殼模型中央，在玻璃與手機殼模型中灌入非牛頓流體，實驗主體(之後報告以類手機模擬體稱之)完成。

手機殼規格

長：154.4mm

寬：80.4mm

高：11.4mm



★其他防撞物品研發設計構想

※生活中防撞物品：汽車保險桿、安全帽、行李箱外殼、鎮暴警察防護(彈)裝

非牛頓流體其特殊性質可運用於生活上防撞物品，小至保護手機的手機殼，大至保護整台車的保險桿，應用可塑性相當廣泛。因此，在進行手機殼研究時，研究也針對不同物品進行撞擊防護試探，設計各種簡單狀況測試非牛頓流體於該物品上的防護作用，了解各物品之特殊撞擊需求，以利後日做產品改良及研發能有基礎研究背景知識及經驗。

(六)研究實驗用名詞說明

重錘直接撞擊力量：指重錘未接觸非牛頓流體，直接撞擊於測力平台，儀器所偵測到力量值，此目的為了解不同的重錘重量及掉落高度掉落後應產生的力量值，作為對照組，往後研究成果資料改用「**直接撞擊力量 F_1** 」代替之

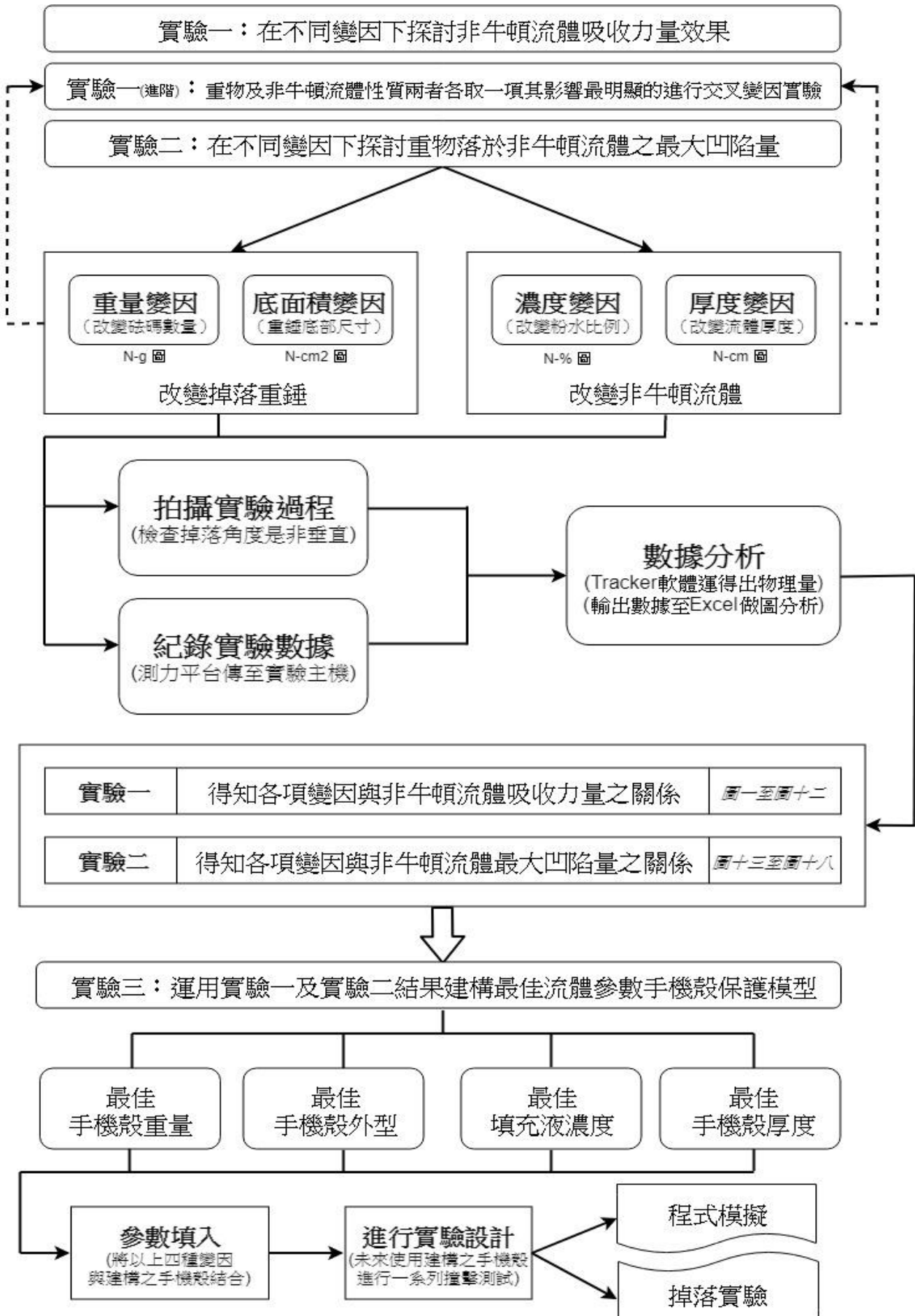
重錘掉落於非牛頓流體後測力平台所測得力量：指重錘掉落於非牛頓流體上，經流體吸收力量後，測力平台所測得之最終力量值，往後研究成果資料改用「**儀器測得力量 F_2** 」代替之

非牛頓流體吸收力量：指「直接撞擊力量」減去「儀器測得力量」的差值，有助於直接了解流體在不同變因下力量吸收值，往後研究成果資料改用「**流體吸收力量 $\Delta F = F_1 - F_2$** 」代替之

流體吸收力量百分比為 $\frac{\Delta F}{F_1} \times 100\%$

凹陷量：指重錘掉落於非牛頓流體表面起算下降的距離，而最大凹陷量是當重錘速度趨近於零時，此時非牛頓流體表面下降的距離。

(七)實驗流程圖示



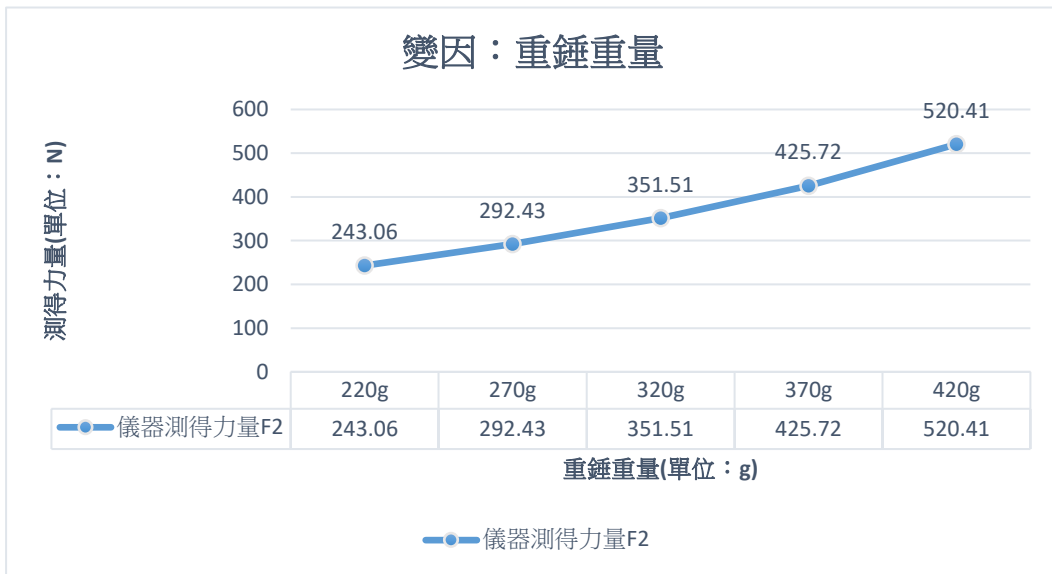
研究結果

一、改變不同變因探討非牛頓流體吸收力量效果

(一)改變重錘重量

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.842
重錘重量(gw)	220/270/320/370/420	重錘底面積(cm ²)	33.17
非牛頓流體濃度(%)	60	非牛頓流體厚度(cm)	2

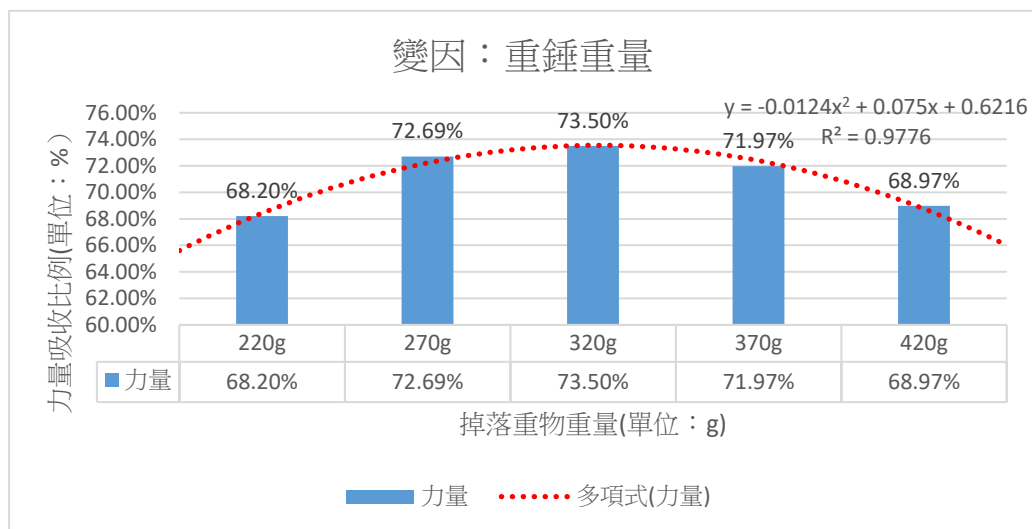
1.改變重錘重量下，非牛頓流體底部最大受力情形



(圖一)

由圖一可知：在此區間內，隨著重錘的重量增加，撞擊非牛頓流體所造成的力，明顯比直接撞擊平台來的緩和。

2.改變重錘重量下，非牛頓流體吸收力量比例情形



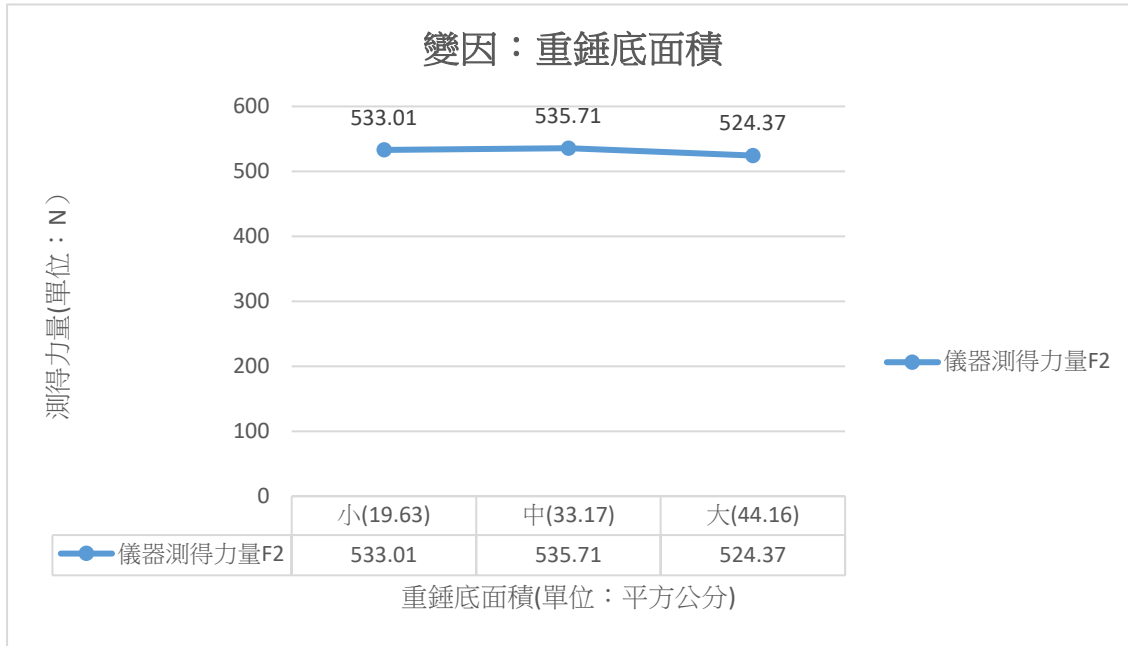
(圖二)

由圖二可知：在此區間內，重錘重量與其對應的力量吸收比例呈現二次函數關係。

(二)改變重錘底面積

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.839
重錘重量(gw)	420	重錘底面積(cm^2)	19.63/33.17/44.16
非牛頓流體濃度(%)	60	非牛頓流體厚度(cm)	2

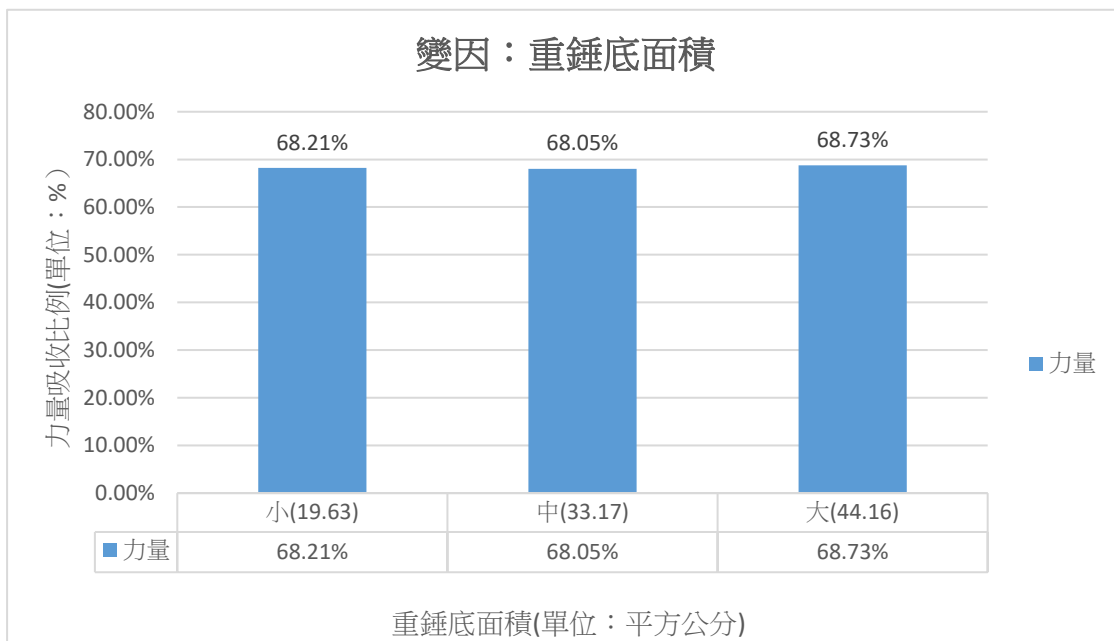
1.改變重錘底面積下，非牛頓流體底部最大受力情形



(圖三)

由圖三可知：在此區間內，重錘底面積的改變對力量的吸收幾乎沒有影響。

2.改變重錘底面積下，非牛頓流體吸收力量比例情形



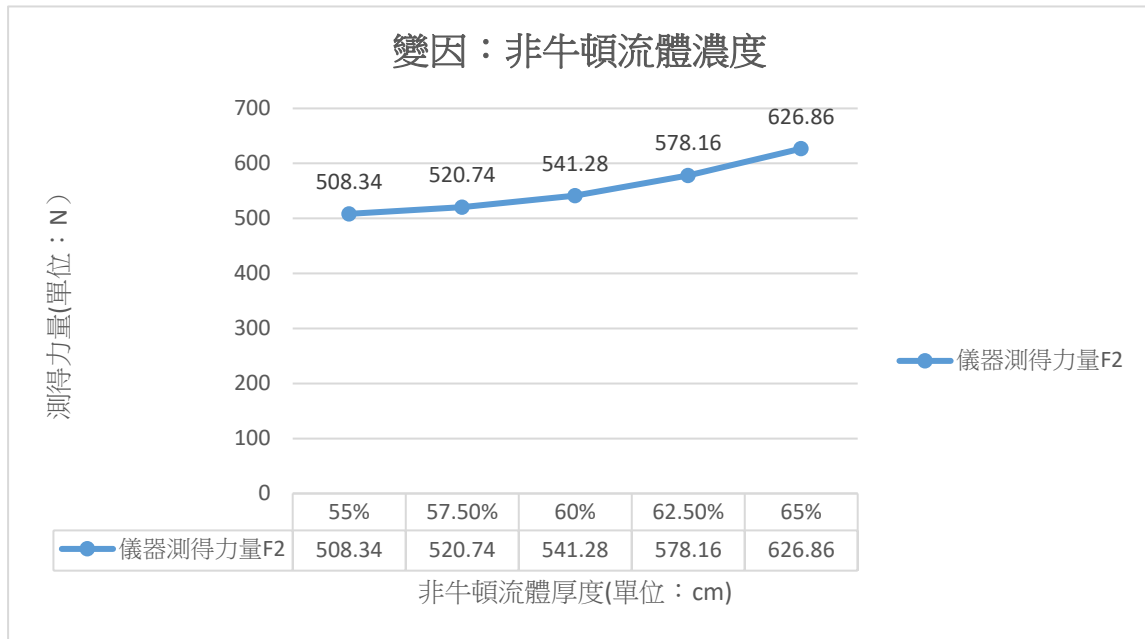
(圖四)

由圖四可知：在此區間內，重錘底面積的改變對力量的吸收幾乎沒有影響。

(三)改變非牛頓流體濃度

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.842
重錘重量(gw)	420	重錘底面積(cm ²)	33.17
非牛頓流體濃度(%)	55/57.5/60/62.5/65	非牛頓流體厚度(cm)	2

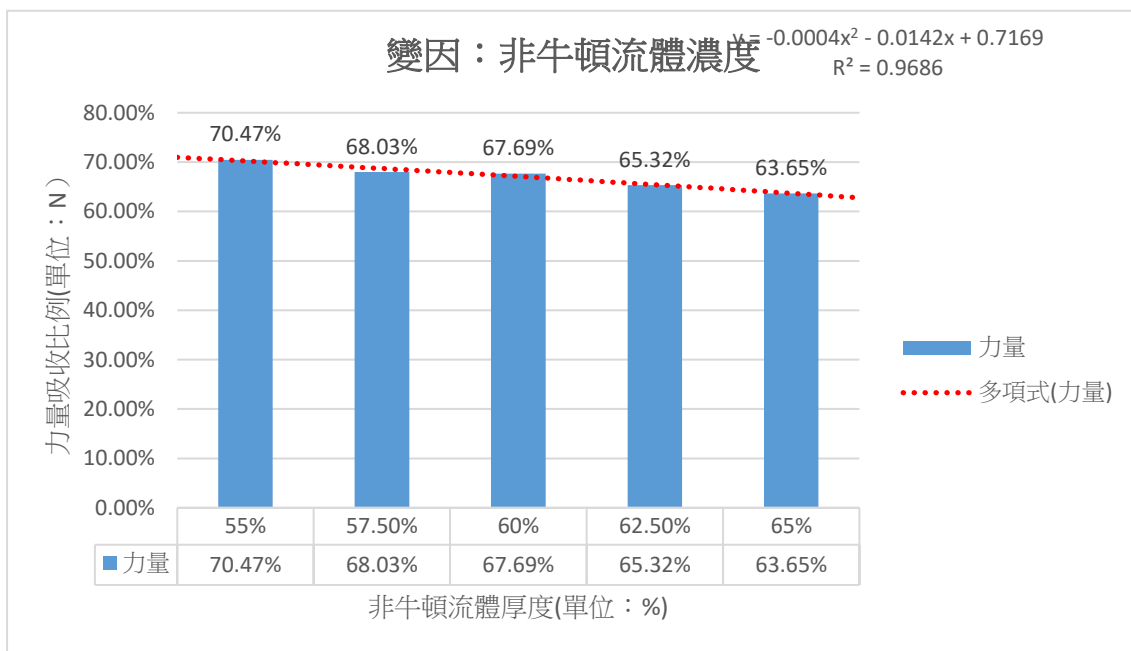
1.改變非牛頓流體濃度下，非牛頓流體底部最大受力情形



(圖五)

由圖五可知：在此區間內，所測的之力隨著流體濃度增加而增加。

2.改變非牛頓流體濃度下，非牛頓流體吸收力量比例情形



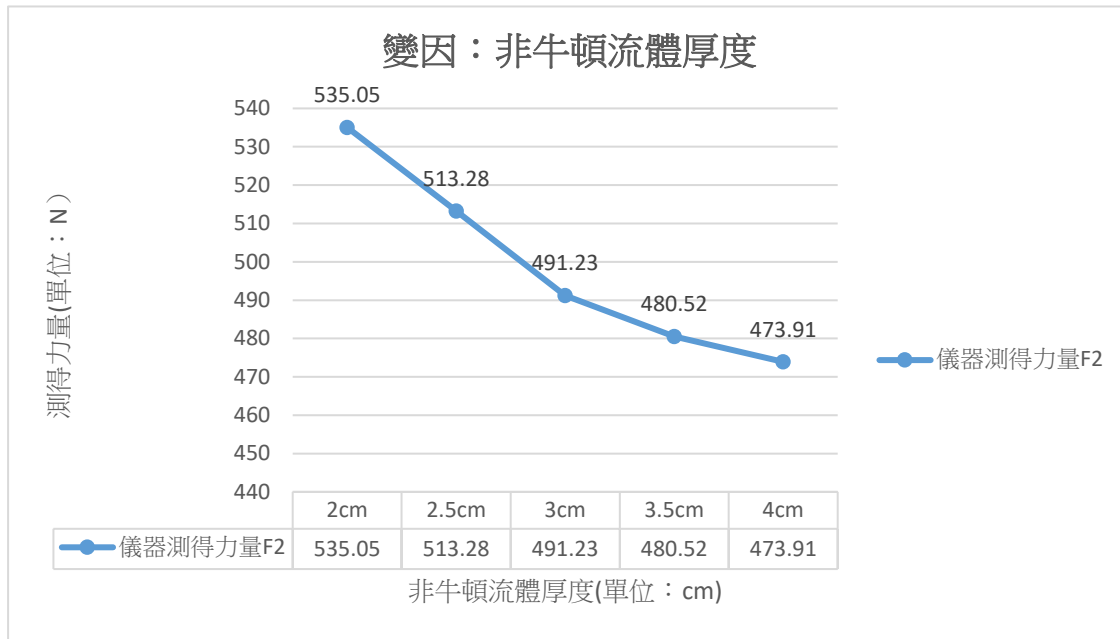
(圖六)

由圖六可知：在此區間內，隨著流體濃度愈高，力量吸收的比例愈小，且減少量漸大。

(四)改變非牛頓流體厚度

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.84
重錘重量(gw)	420	重錘底面積(cm ²)	33.17
非牛頓流體濃度(%)	60	非牛頓流體厚度(cm)	2/2.5/3/3.5/4

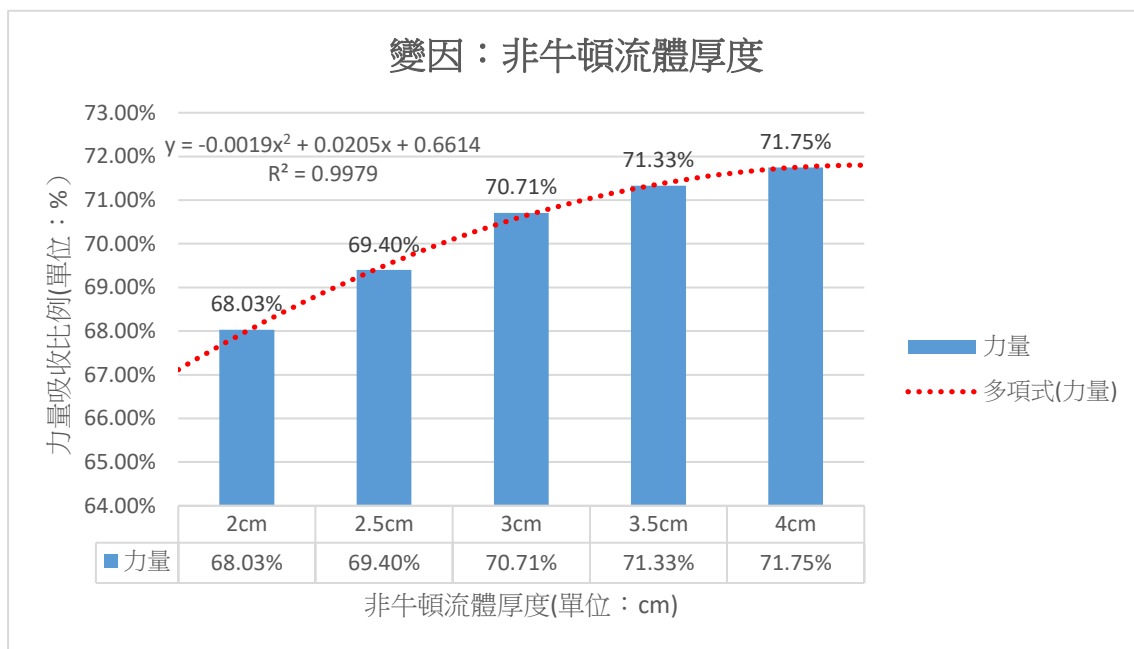
1.改變非牛頓流體厚度下，非牛頓流體底部最大受力情形



(圖七)

由圖七可知，在此區間內，所測得之力隨著流體厚度漸增而減少。

2.改變非牛頓流體厚度下，非牛頓流體吸收力量比例情形



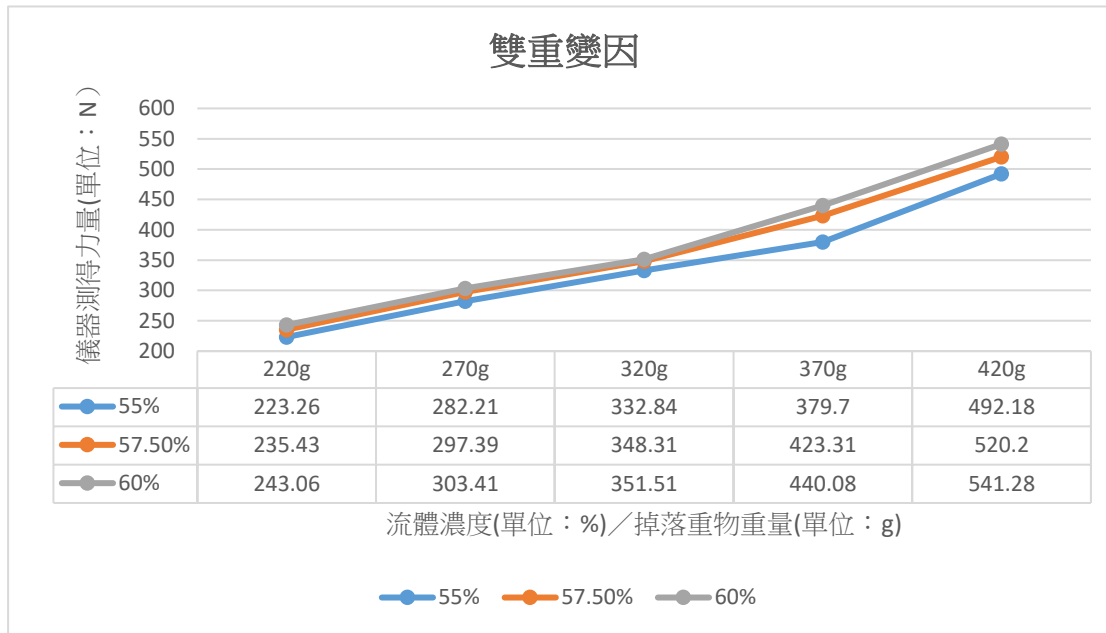
(圖八)

由圖八可知，在此區間內，隨著流體厚度愈厚，力量減少的吸收比例愈大，但比例增幅縮小

(五)綜合分析-雙重變因(濃度&重量)

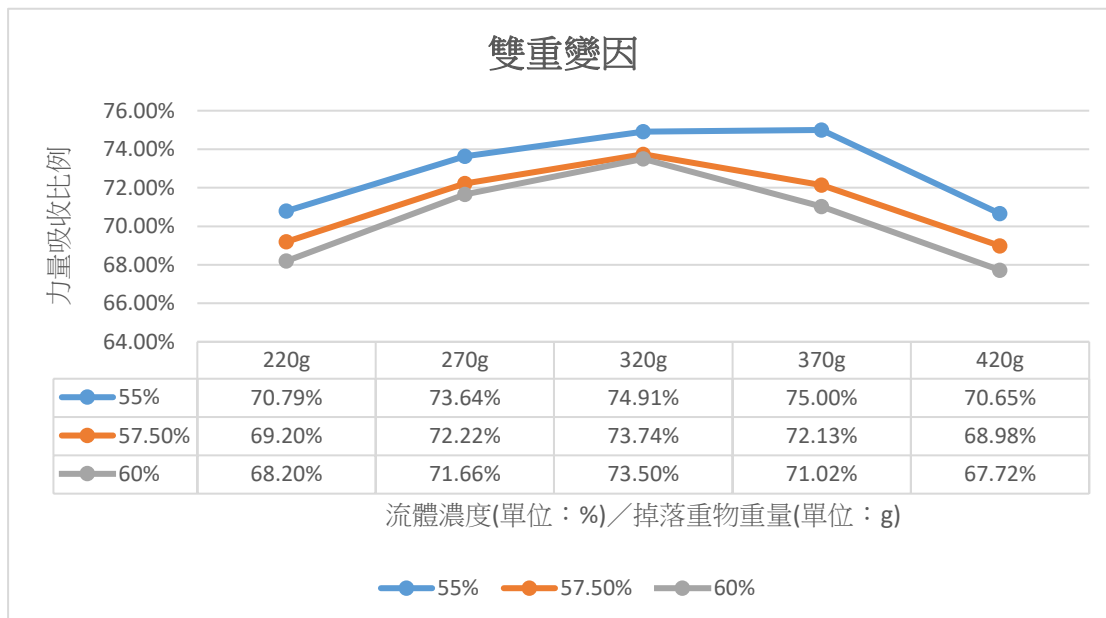
實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.795
重錘重量(gw)	220/270/320/370/420	重錘底面積(cm ²)	33.17
非牛頓流體濃度(%)	55/57.5/60	非牛頓流體厚度(cm)	2

1.改變非牛頓流體濃度及重錘重量雙重變因下，非牛頓流體底部最大受力情形



(圖九)

2.改變非牛頓流體濃度及重錘重量雙重變因下，吸收力量比例情形



(圖十)

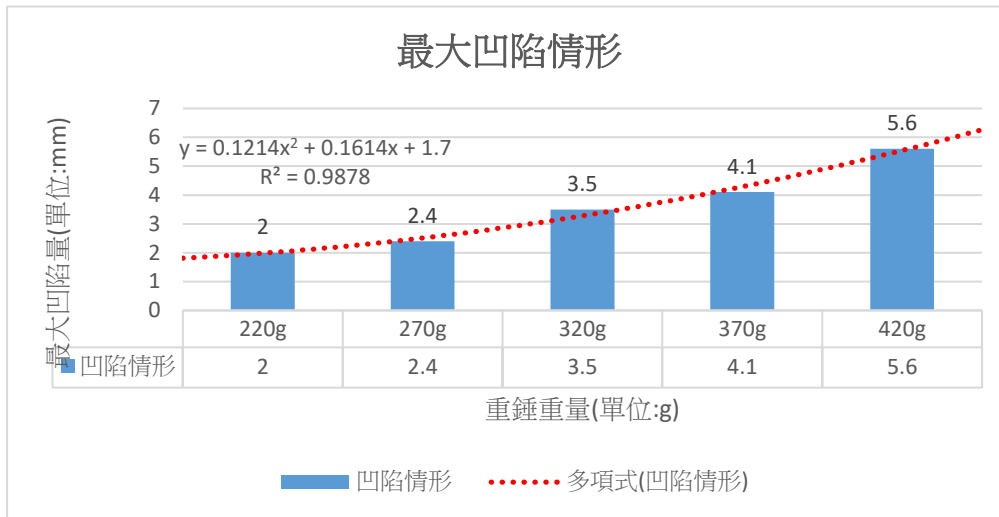
由圖九及圖十可知，在此區間內，在不同的濃度下測量重力變因，其力量吸收比例最大值在趨勢上對應知重錘重量沒有太大的改變，且低濃度的流體吸收力的能力，在各情況下皆比高濃度來的好。

二、改變不同變因探討重物落於非牛頓流體之凹陷情形

(一) 改變重錘重量

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.832
重錘重量(gw)	220/270/320/370/420	重錘底面積(cm ²)	33.17
非牛頓流體濃度(%)	60	非牛頓流體厚度(cm)	2

1. 改變重錘重量，非牛頓流體撞擊後凹陷情形



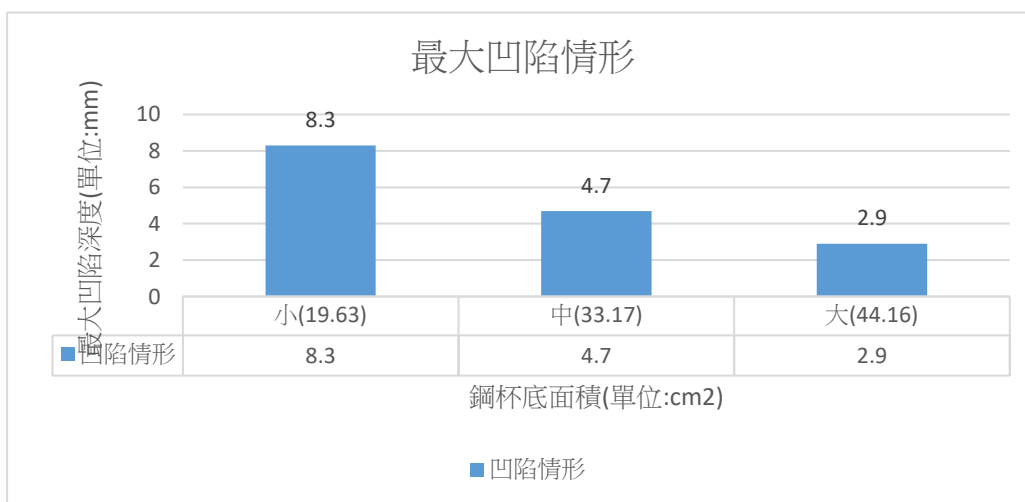
(圖十一)

由圖十一可知：隨著重錘重量增加，流體最大凹陷量也有明顯的增加，但是明顯非成正比。

(二) 改變重錘底面積

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.845
重錘重量(gw)	420	重錘底面積(cm ²)	19.63/33.17/44.16
非牛頓流體濃度(%)	60	非牛頓流體厚度(cm)	2

2. 改變重錘底面積，非牛頓流體撞擊後凹陷情形



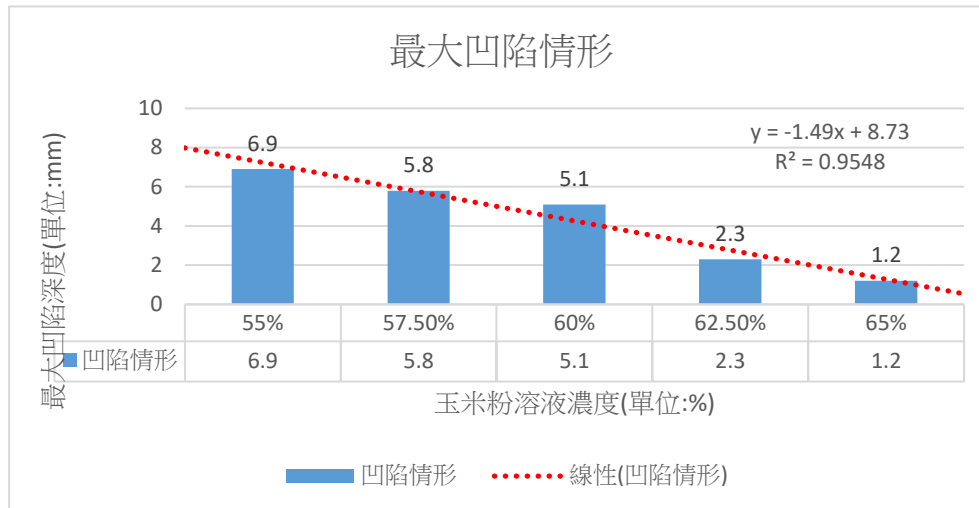
(圖十二)

由圖十二可知，在相同條件下，較小的面積會造成較大的凹陷量。

(三)改變非牛頓流體濃度

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.826
重錘重量(gw)	420	重錘底面積(cm ²)	33.17
非牛頓流體濃度(%)	55/57.5/60/62.5/65	非牛頓流體厚度(cm)	2

3.改變非牛頓流體濃度，流體撞擊後凹陷情形



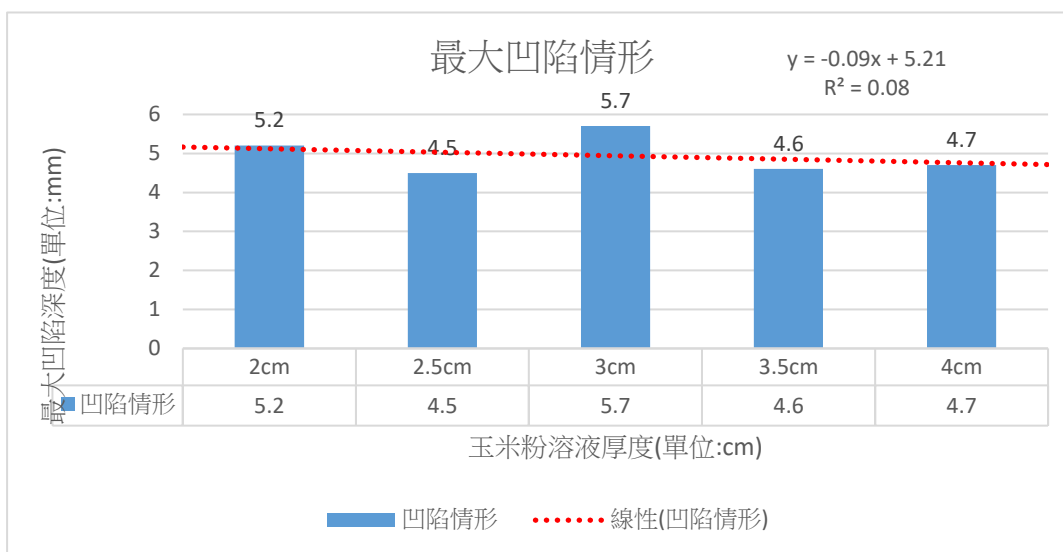
(圖十三)

由圖十三可知，隨著流體的濃度增加，流體之最大凹陷量也有明顯的下降，其中以 60%至 62.5%的減少量最大。

(四)改變非牛頓流體厚度

實驗物理量變因資料			
掉落高度(cm)	108	撞擊速度(m/s)	3.845
重錘重量(gw)	420	重錘底面積(cm ²)	33.17
非牛頓流體濃度(%)	60	非牛頓流體厚度(cm)	2/2.5/3/3.5/4

4.改變非牛頓流體厚度，流體撞擊後凹陷情形


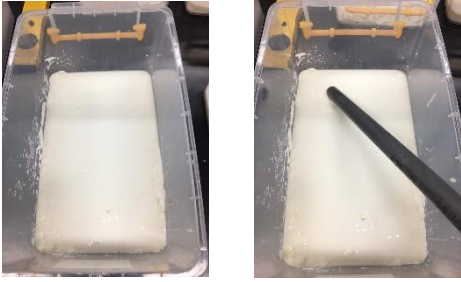
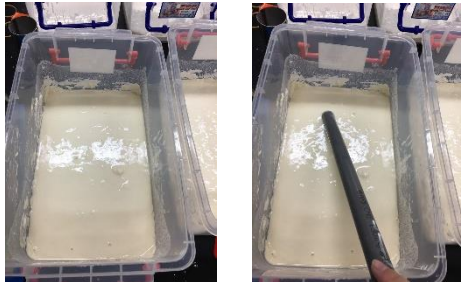
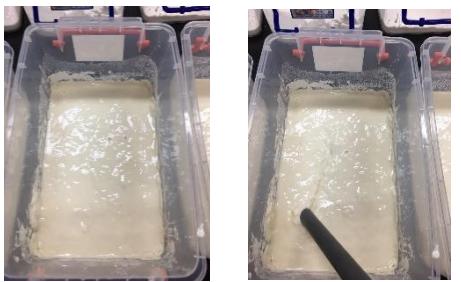
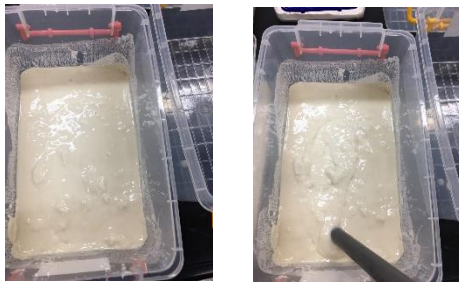
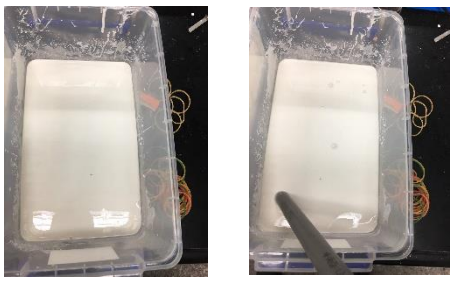




(圖十四)

由圖十四可知，隨著流體的厚度增加，流體之最大凹陷量並沒有明顯的變化

三、使用不同種類粉狀固體減輕非牛頓流體重量以利應用

(一) 檢測其他粉漿種類是否有非牛頓流體性質

粉漿種類	玉米粉(50%)	玉米粉(60%)
		
脹流性質	粉過於淡稀，液化快速	固化液化轉換速度正常
粉漿種類	低筋麵粉(X%)	中筋麵粉(X%)
		
脹流性質	呈現糊狀，施力無任何改變	呈現糊狀，施力無任何改變
粉漿種類	高筋麵粉(X%)	樹薯/地瓜粉(X%)
		
脹流性質	呈現糊狀，施力無任何改變	粉近乎完全溶解於水中
粉漿種類	在來米粉(X%)	太白粉(50%)
		
脹流性質	呈現糊狀，施力無任何改變	細顆粒狀非牛頓流體

(二)探討非牛頓流體特殊性質成因，運用顯微鏡觀察粉漿分子連續數日聚合情形。

※玉米粉漿 50%顯微照相圖

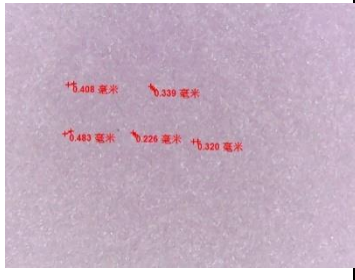

天數	第一天	第二天	第三天
澱粉顆粒直徑	0.04mm	0.07mm	0.06mm
圖片			
天數	第四天	第五天	
澱粉顆粒直徑	0.06mm	0.06mm	
圖片			

圖片分析：玉米澱粉在粉漿中一開始顆粒粒子較小（直徑約 0.04mm），但之後澱粉粒子可以變大至直徑 0.06~0.07mm。

實驗討論：玉米澱粉粒子溶於水形成粉漿後，其聚合物的鏈狀分子應具有從捲曲至打開成長鏈狀的特性。

※太白粉漿 50%顯微照相圖

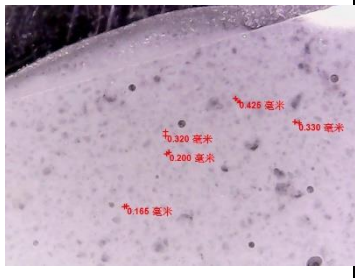
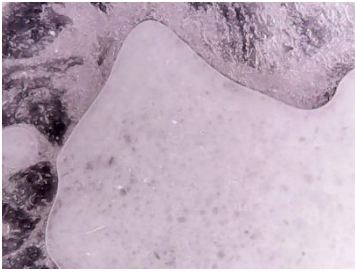
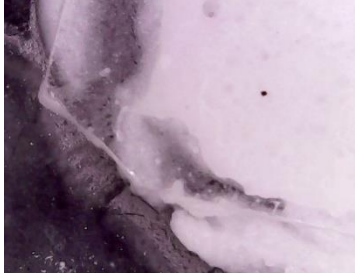

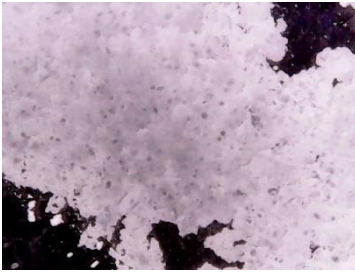
天數	第一天	第二天	第三天
澱粉顆粒直徑	0.07mm	0.07mm	0.06mm
圖片			

天數	第四天	第五天
澱粉顆粒直徑	0.07mm	0.07mm
圖片		

實驗結果：太白澱粉在粉漿中的顆粒直徑變化不大，約 0.06~0.07mm。

實驗討論：太白澱粉粒子溶於水形成粉漿後，其聚合物的鏈狀分子其形狀應沒有什麼大變化。

※糯米粉漿 50%顯微照相圖

天數	第一天	第二天	第三天
澱粉顆粒直徑	0.07mm		
圖片			
天數	第四天	第五天	
澱粉顆粒直徑			
圖片			

實驗結果：糯米粉漿只有一開始可以以顯微照相機讀出澱粉粒子大小，後來皆呈現混濁狀態，第四天之後整個粉漿又似乎像脫水般，看不出流動的狀態。

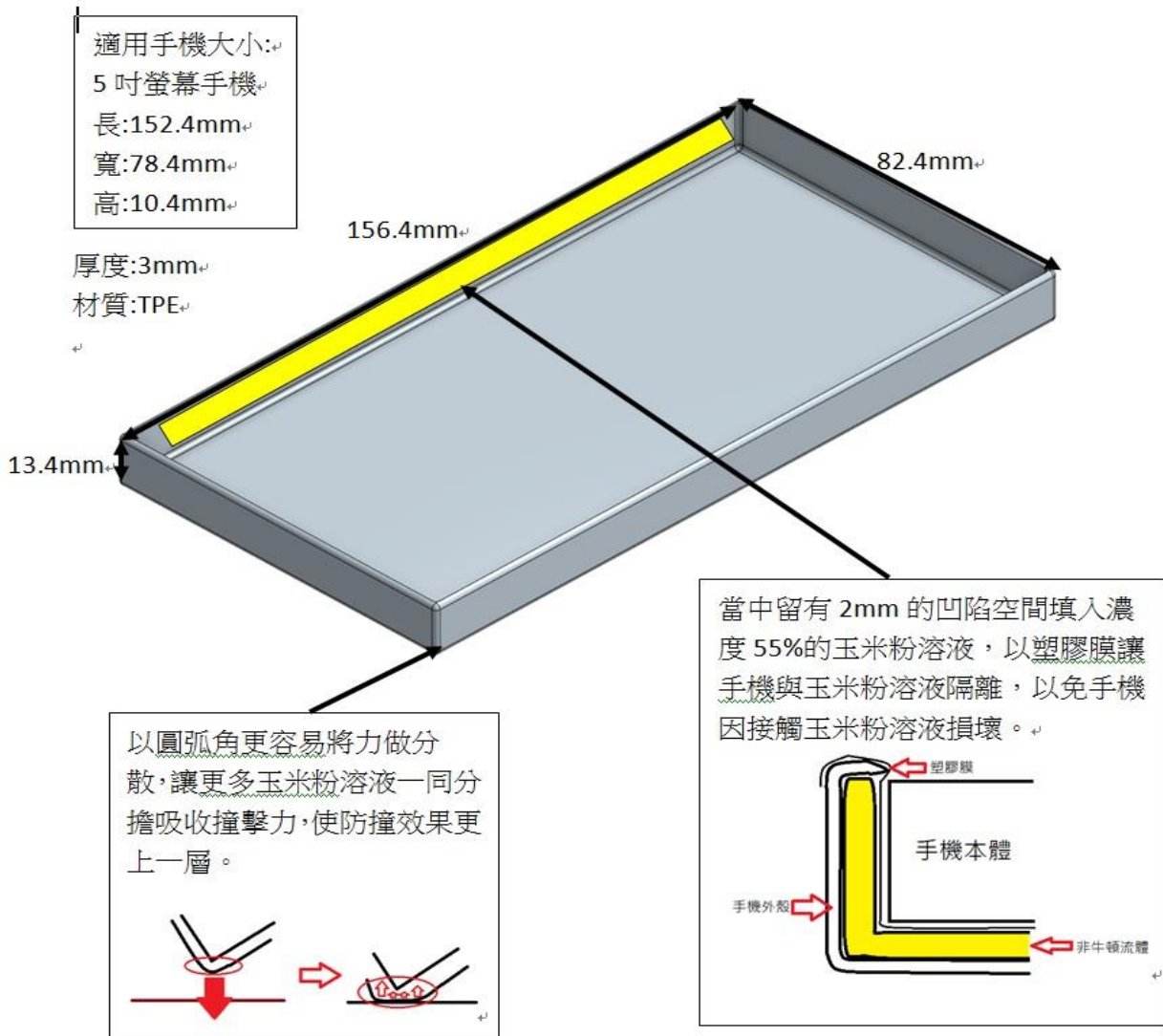
實驗討論：依照顯微照相的結果，糯米澱粉分子溶於水後就很快形成混濁白色，就無法讀出澱粉顆粒大小，最有可能的原因應是糯米澱粉在水中有水解的現象。

伍、應用

四、運用實驗結果設計手機殼，並應用於生活上其他防撞物品

(一) 建構理論上最好的手機殼結果

1. 經過厚度與重量的平衡後，我們計算出取 2.0mm 灌入在手機殼之中可以讓其重量降至最小，厚度可以達到最大，但不會大幅影響攜帶簡易程度，故以 2.0mm 為其中非牛頓流體填入間大小之厚度。
2. 製作材料的部分我們在網路上找到名為 TPE 的可用來進行 3D 列印之材質，其性質與矽膠、橡膠極為相似。論及建模容易性(剛好有可用於 3D 列印的資源)且要符合稍硬但有可塑性的材質和不會太重的條件，故以 TPE 材質做為我們的手機殼材質。
3. 經濃度變因實驗可得知最好的吸收力比例之濃度為 55% 的玉米粉溶液，故以此濃度之玉米粉溶液進行填充。
4. 最後得知最好的非牛頓流體手機殼結果如下



(二) 製作非牛頓流體防撞小包

為了讓非牛頓流體可裝載於各項物品上，我們將非牛頓流體裝在夾鏈袋內，封口後使用膠帶進行纏繞，即完成防撞小包。如此的設計使小包攜帶方便，可廣泛安裝於任何物體遭受撞擊的位置，達到保護物體的效果，未來將使用封口機封口取代膠帶，使小包的使用期可以更久。為了防止小包內充填之玉米粉溶液酸臭腐敗，特別加入防腐劑延長其內容物保存期限。

重量	體積	濃度	玉米粉重	水重	力量吸收比例
250g	約 100cm ³	60%	150g	100g	60~70%

▲防撞小包資訊



▲防撞小包照片

(三) 非牛頓流體保險桿設計初探及試驗

台灣每年車禍死傷人數高達 10 萬人，可見道路交通安全防護的工作極其重要。發現非牛頓流體的特殊性質後，決定運用在汽車前後安裝的保險桿。在高速行駛下，車體撞擊護欄或其他車輛時常面目全非，車體嚴重損毀。如果利用非牛頓流體高吸收力量比例的優勢，是否能減緩車體因高速撞擊而嚴重毀損的狀況，並增加駕駛人的安全，特此進行相關的實驗初步探究。

實驗設計與流程

1. 將非牛頓流體防撞小包安裝於 PASCO 滑車前方(如圖一)，並給予一定的速度使之撞擊於一檔板，以模擬真實情況汽車高速撞擊的狀況
2. 使用 PASCO sparkvue 軟體紀錄滑車內建傳感器偵測之各項物理量
3. 撞擊時使用高速攝影機拍攝，分析非牛頓流體撞擊時，流體表面的微小變化

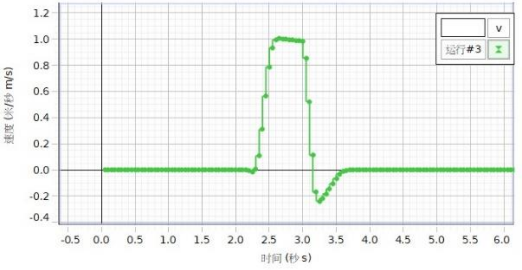
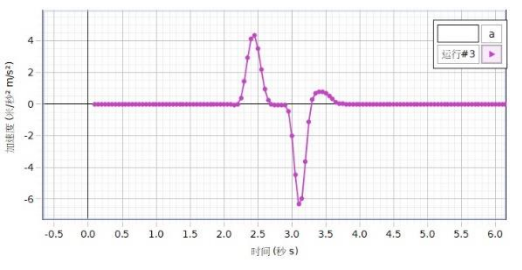
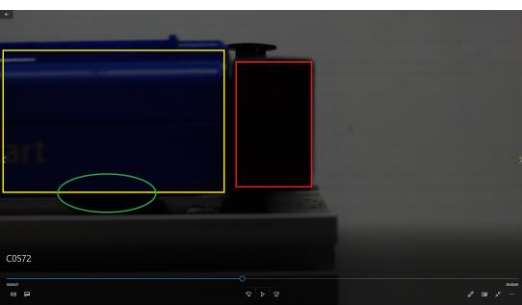


狀況一：滑車直接撞擊障礙物(對照組)



▲PASCO wireless smart cart 置於軌道上，直接撞擊固體障礙

圖表分析：速度及加速度與時間作圖以及高速攝影碰撞瞬間

物理量變化(折線圖)/碰撞瞬間	分析說明
 <p>速度(m/s) 對時間(s)作圖</p>	<p>2.3~2.5 秒，手對滑車施力使之產生速度向前；約 3.2 秒時，撞擊固體障礙物，速率減為 30%向後反彈；反彈後立即用手施力使滑車停止，取其撞擊瞬間物理量變化即可。</p>
 <p>加速度(m/s²) 對時間(s)作圖</p>	<p>2.3~2.5 秒，手對滑車施力使之產生加速度；約 3.2 秒時，撞擊固體障礙物，瞬間產生-6 m/s²的加速度，實驗模擬汽車高速碰撞時，汽車會短時間內產生高加速度，且乘客因慣性作用向前造成傷害。</p>
 <p>高速攝影撞擊瞬間</p>	<p>滑車撞擊固體障礙物後，反彈時車體有些微向上的運動，其幅度約 1mm。汽車於高速撞擊時需注意 X 方向的力與速度變化，也要考慮是否會產生 Y 方向也會參與力的分散。</p>

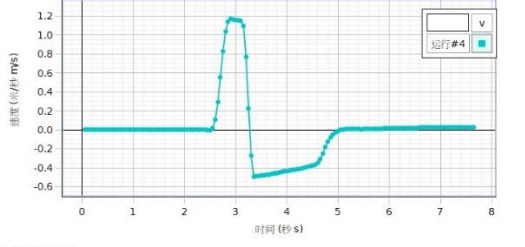
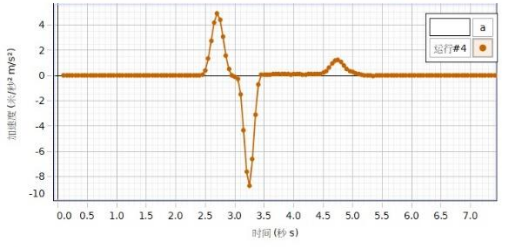
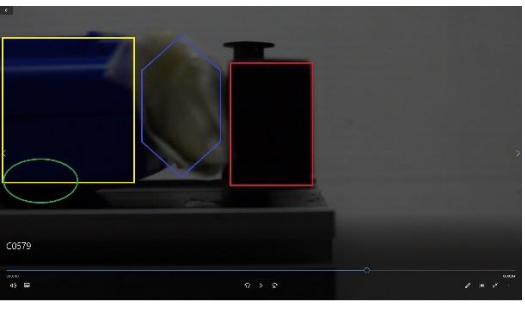
※撞擊期間為短時間變化，PASCO 儀器數據每秒數據採集次數調高至 50Hz；高速攝影機調為 960fps(16 倍高速攝影)，高幀數拍攝使照片亮度較暗。

狀況二：滑車安裝自製非牛頓流體保險桿撞擊障礙物(實驗組)



▲滑車前端加裝非牛頓流體防撞小包，撞擊固體障礙觀察差異

圖表分析：速度及加速度與時間作圖以及高速攝影碰撞瞬間

物理量變化(折線圖)/碰撞瞬間	分析說明
 <p>速度(m/s) 對時間(s)作圖</p>	<p>2.5~2.8 秒，手對滑車施力使之產生速度向前；約 3.3 秒時，撞擊固體障礙物，速率減為 40%向後反彈；反彈後立即用手施力使滑車停止，取其撞擊瞬間物理量變化即可。</p>
 <p>加速度(m/s²) 對時間(s)作圖</p>	<p>2.5~2.8 秒，手對滑車施力使之產生加速度；約 3.3 秒時，撞擊固體障礙物，瞬間產生-9 m/s^2的加速度。加速度量值比對照組高約 1.5 倍，若將此實驗放大於實際汽車撞擊情形，乘客將會受更大的慣性作用。</p>
 <p>高速攝影撞擊瞬間</p>	<p>滑車撞擊固體障礙物後，反彈時車體仍有些微向上的運動，推測是非牛頓流體保險桿安裝位置所致。在影片中可觀察到防撞小包有陷入的情形，如此的現象可能是高加速度的原因之一，有待日後設計實驗驗證之。</p>

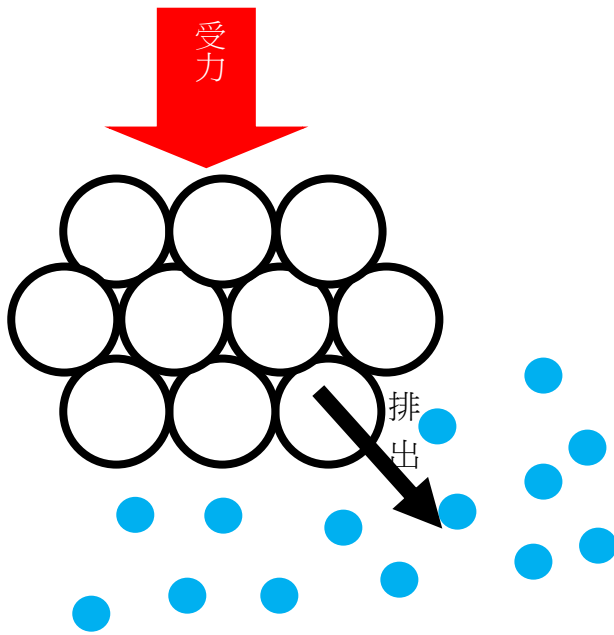
※撞擊期間為短時間變化，PASCO 儀器數據每秒數據採集次數調高至 50Hz；高速攝影機調為 960fps(16 倍高速攝影)，高幀數拍攝使照片亮度較暗。

陸、討論

一、非牛頓流體理論模型歸納

理論模型(一)：水分子排開

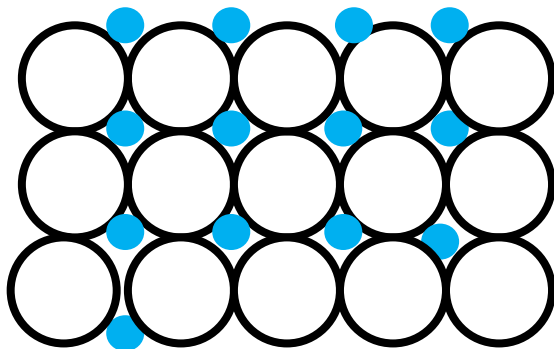
在改變的瞬間，在眾多較大型粒子(如玉米粉溶液中的玉米粉粒子)中的小型粒子(如水分子、空氣粒子等)受力排開後，剩下的較大型粒子擠壓成如固體般的粒子排列，而展現出如固體的性質。



受力後非牛頓流體中小型粒子從中排出，大型粒子擠壓成如固體般的粒子排列。

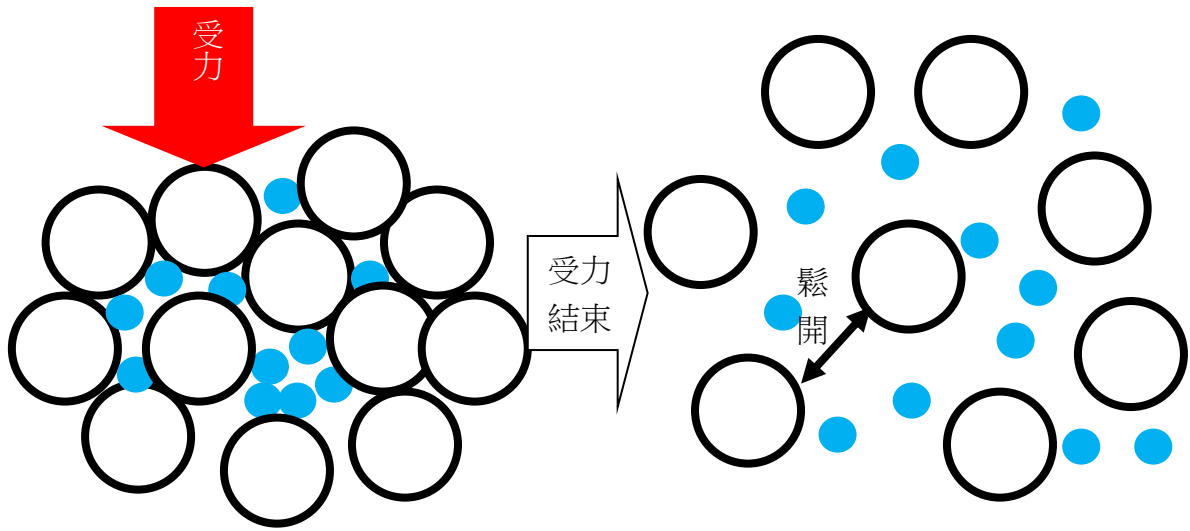
理論模型(二)：玉米粉分子聚集

在改變的瞬間，所有的粒子無論大小全數都因擠壓而開始排列，最後形成了大型分子與小型分子互相鑲嵌的固體排列模式，而展現出如固體的性質。



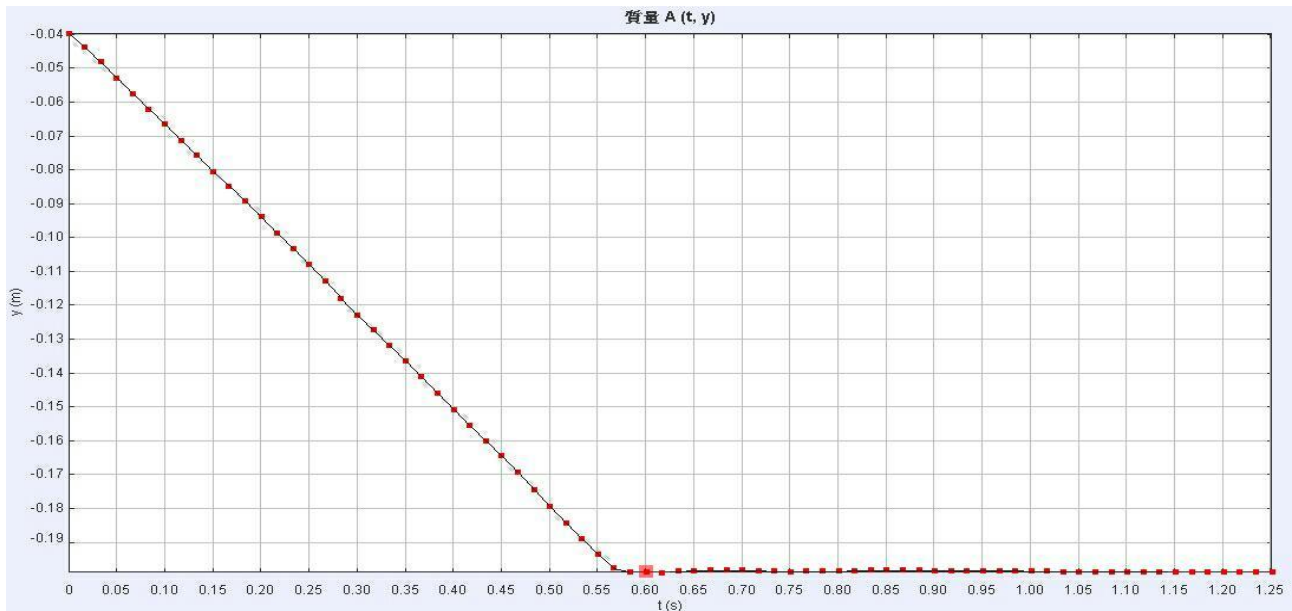
受力後非牛頓流體中小型粒子與大型粒子擠壓成如固體般的粒子排列。

理論模型(三)：近似彈簧簡諧運動



如彈簧般受力時擠壓，沒受力時放鬆，產生單次的簡諧運動。

歸納出以上三種不同的模型之後，我們藉由觀察物體本身、實驗數據的結果與推算，確認到底哪個模型才是正確的非牛頓流體模型。



▲非牛頓流體表面無簡諧運動現象產生

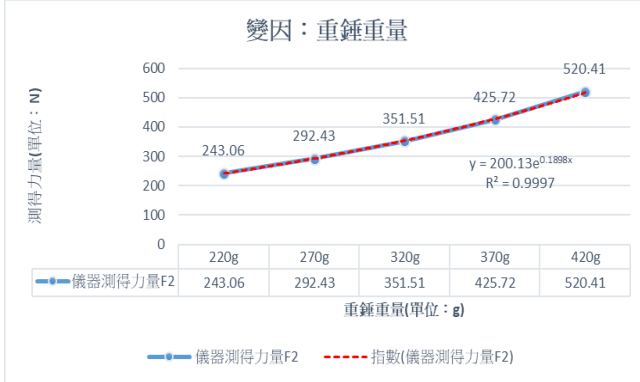
在以上的推算結果中，我們確認了**模型(三)**是**錯誤**的，非牛頓流體並不會進行簡諧運動，而是變化成固體的性質明顯許多。然而在實驗的過程中，我們可以發現上層的少量水層有逐漸增多的趨勢，但增加量非常小，所以由此觀察得知**模型(一)**與**模型(二)**是同時存在的。

二、研究公(通)式推導

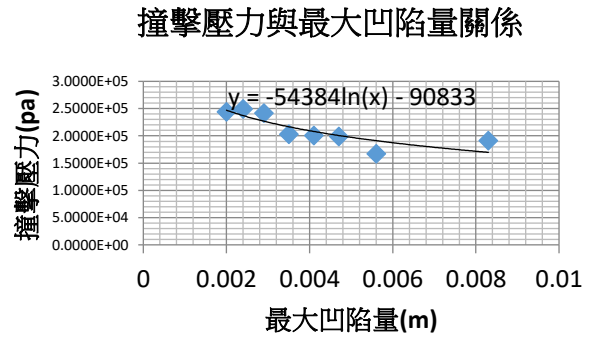
在實驗一當中，我們透過觀察重量變因對力的作圖，發現其趨勢線是無法通過原點的。而其中有趣的是，對最靠近原點的數據作切線時，發現此切線會非常接近原點，為了更深入的分析，使用實驗二交互關係比對，最後由(圖 1)及(圖 2)我們可以推出大略的公式。

$$P(s) = a \cdot \ln(bs) + c$$

(p 為撞擊非牛頓流體時壓力； s 為最大凹陷量； a 、 b 、 c 為常數)



(圖 1)



(圖 2)

三、實驗結果探討

實驗一及實驗二綜合討論

重量變因

(一)關於重量變因對力作圖：

實驗一重量變因的圖一中，函數值之趨勢約略為一條直線。但實際上，曲線更能表達其趨勢，設想其可能原因，我們得出二種可能：

其一：非牛頓流體受力不均，導致其數據發生變化。

其二：來自函數值內的影響(以下說明)

由於 $\frac{F}{c} = E + (\text{極小值}n)$ ，根據 E 的大小，所謂極小值 n 可能在 F 上出現可觀的變化，因極小值對 s 增加而遞增，故 F 對 E 函數圖向上彎曲。

(二)關於重量變因與凹陷量之關係：

凹陷量之圖形並無法明顯看出變化，由於量測數值單位較小，其誤差相對地變大，故我們用公式得出的結論預測其趨勢，使得 $s = \frac{\log_e \frac{Ee}{ck}}{c} + (\text{極小值}m)$ ，結果與數據大致吻合，由於上述(極小值 n)影響漸增的問題，整體數據也可能會比預測函數值略為上升。

底面積變因

(一)關於底面積變因對力的作圖：

底面積對力的影響可由公式 $\frac{F}{c} \sim E$ 得知，影響力相關的數值只與常數 c 和能量有關，其中 E 值不變，非牛頓流體濃度及厚度不變，故常數 c 不變，因此 F 也將不變，大致符合預設公式。

(二)關於底面積變因之凹陷量

對於相同最大力值(Max)下，凹陷深度的不同，歸納以下的解釋：

由於非牛頓流體受壓所造成的力，在相同凹陷量下與面積有直接關係，真正不變的只有作用在單位面積上的力，因此我們令函數各數值的 F 直接改變其倍數，也就是令 k 改變而 c 不變。

$$\text{令 } ke^{cs-1} = F \text{ 且 } k'e^{cs'-1} = F$$

$$\text{若 } k' = nk, \text{ 則 } ne^{cs'-1} = e^{cs-1}$$

$$\frac{e^{cs-1}}{e^{cs'-1}} = n, \quad c(s - s') = \log_e n$$

由此公式帶入數據，所得大致與數據相同，解釋了底面積變因下凹陷不一的情形。

厚度變因

(一)關於厚度變因對力的作圖

其中，厚度變因對力的影響並不大。比起其他材質如彈簧...等，影響甚小，故我們預想將其力值看成定值，帶入 $\frac{F}{c} \sim E$ ，則 c 值固定。又 $ke^{cs-1} = F$ ，帶入數據，得 k 亦為定值。可得知在少量的厚度變化下，厚度不改變非牛頓流體對力的函數。

(二)關於厚度變因之凹陷量

上述函數中，其中之 s 的數值為定值，而實際數據中的值也大略為定值，然而還是可以看出其略為下降的趨勢，若想大致預測其趨勢，可用 $\frac{F}{c} \sim E$ 算出其 c 值帶入 $ke^{cs-1} = F$ 算出 k 值，由於我們所求為固定區間內的數值，因此不做過多的計算。

濃度變因

(一)關於濃度變因對力的作圖

濃度的改變伴隨著非牛頓流體性質的改變，也可以解釋為改變材質，因此在區間內採用我們的公式 $\frac{F}{c} \sim E$ 得出 c 值，將數據帶入 $ke^{cs-1} = F$ 算出 k 值，所得之函數即此種材質下，非牛頓流體的函數式。

(二)關於濃度變因之凹陷量

對於此變因之凹陷量數據，我們發現其中下陷量在 62.5% 以後，其數據突然變小，其原因可能為非牛頓流體在某種濃度下達到某種狀態上的飽和，這可以經由我們的非牛頓流體理論模型來解釋。

關於手機殼模型的建構

由於本次實驗的重點在於非牛頓流體在手機殼上的運用，因此我們將一開始的重點就擺在吸收比例，但是由於重量變因在對力的作圖中，只有對測得之力有著很大的影響，對吸收比例的影響卻不大。況且比起吸收比例，影響手機是否會損壞的因素還是受壓力的大小，以流體來說，以內部受力量直最小者為佳。

根據我們的研究資料，非牛頓流體在不同的濃度與厚度下來進行實驗，其吸收量都幾乎在 68% 至 74% 之間，其實變化量非常小，主要還是在外力撞擊的能量上。但值得一提的是，原先認為無關的面積變因，在凹陷量上有著非常大的變化。因此，我們將凹陷量納入了手機殼製作考量的一環。

(一)非牛頓流體裝載於手機殼上各變因配置

重量變因：愈輕愈好

底面積變因：非流體上之變因

厚度變因：愈厚愈好

濃度變因：愈稀愈好

各變因關係如下表格：

效益	重量	厚度	濃度
重量		負相關	正相關
厚度	負相關		無關
濃度	正相關	無關	

根據初步分析結果，濃度愈小效果愈好，為了確保濃度的改變不會影響其具有流脹性的特性，我們只取所測濃度之最小值 55%，而力量與厚度變因則須公式計算，並取最佳濃度為 55%，厚度 2~10mm 之間，以數據圖大致預測其趨勢，並連接二點作直線方程式

得 $-100L+670=F$ (其中 L 單位為 cm)，並將上述公式與能量公式合併

$(-100L + 670) \frac{200+1.31(8L^3+98.48L^2+177.672L)}{420}$ ：得厚度以 2mm 為佳。

(二)手機殼凹陷量問題

以凹陷量問題來說，最有效的方法就是直接增加受力面積，透過手機殼上的特殊設計，內裝強化塑料的手機殼，已解決非牛頓流體凹陷量的問題。

四、力感測器棄用原因

(一)力感測器使用目的

我們藉由這項實驗，將以上的實驗結果藉由能夠更精確感測變化趨勢的力矩測定法進行再次檢驗，藉由其數據點的圖形趨勢檢驗之前的推論是否正確。

(二)實驗架設

力感測器的測力端綁上細線(本實驗使用釣魚線)，將細線的另一端固定在底部，在魚缸另一端的鏡像位置做與前述相同步驟，之後將魚缸至於固定在桌面上的角鐵上，將兩個力感測器固定在實驗支架上，將魚缸中線處調整至角鐵稜處。加入非牛頓流體後將魚缸調整至平衡，在中線右方 7.5 公分(水族箱的 8 分之 1 處)正上方架設管子，藉由測量兩邊繩子的力推算原本掉落的力的趨勢，確認測力平台實驗無誤。

(三)實驗數據

由以上實驗結果的趨勢得知，之前的實驗正確。

※本實驗只作為驗證線性趨勢是否相同之用，原因經多次論及實驗後有以下幾點歸納：

(一)調整完時間長，非牛頓流體易沉澱分布不均

在本實驗中將非牛頓流體加入水族箱之後，還必須要進行平衡、調整線長度等作業。為求取更精確的實驗數據當中，非牛頓流體開始粉水分層，導致最後結果整體值會有些許差異。

(二)實驗儀器受外力影響程度大

本實驗對力的感知非常敏銳，相對的有外力干涉的情況下會比較容易造成誤差，但因為整體數據值較大的關係，所以對數據所產生圖型趨勢影響較小，故可用於驗證用。

(三)每次實驗基礎力不同

在這邊指的基礎力指的即是兩邊繩子拉水族箱本身的力，每次實驗的基礎力會因為該次實驗的內容的不同而做適當的調整，但也因為這項原因而導致不同實驗的數據無法互相推導(濃度變因實驗中的濃度 60% 420g 和重量變因實驗中的濃度 60% 420g 感測結果不一樣)，但同實驗間的基礎力相同，故作為證明之用。

柒、結論

關於非牛頓流體對力的吸收能力，其數值超乎想像的好，有近七成的力都被吸收了，只要維持一定範圍的濃度，在防撞能力的表現上皆非常亮眼，為防撞材料的極佳選擇。

本次研究的重點為手機殼的建構，並經由我們的實驗成功推導出了公式，不只幫助我們成功的建立了手機殼，也解決了模擬實驗上的困難，然而，公式上的應用不只在於手機殼，應該說，此公式適用於所有具有脹流性的非牛頓流體上，而非牛頓流體的應用廣泛，在於高強度的撞擊下，公式也有很好的精確度，例如汽車保險桿就是我們最一開始想研究的實驗。關於非牛頓流體的公式，在我們推導出之後，查詢網路上的相關資料時發現了類似的東西，Ostwald-De Waele 提出的指數定律方程 $\eta = k\dot{\gamma}^{n-1}$ (K-黏度係數，n-流動行為特性指數， $\dot{\gamma}$ 是剪切速率， η 則是液體的黏性)，主要用來探討流體的黏性。由於上述公式並非由自然對數的指數函數所組成，在未來的研究上，我們也會考慮其他底數的指數函數，並加以修正以增加公式的精確度。在本次的研究中，我們確立了脹流性非牛頓流體的力量以及能量公式的大致形式，對未來我們的研究上有極大幫助。

1. 非牛頓流體在一定的變化範圍內，對力的吸收能力都約略相同
2. 所受撞擊面積大小對力的吸收大小無太大影響，但撞擊面積越小，凹陷度越大。
3. 非牛頓流體濃度在 55%到 65%間，濃度越大力吸收值越小，凹陷度也越小，而且在 62.5% 過後凹陷量值有大幅的減小，但測得之力值沒有相對明顯的變化斷層
4. 非牛頓流體厚度越大吸收力越大，但對凹陷值沒太大影響
5. 以 5 吋手機殼來說，以厚度設定在厚度 2mm，濃度 55%為最佳，手機殼外型設計將力排開的圓弧邊，為最好情況

未來展望

1. 研究其他非牛頓流體材質，鑽研於玉米澱粉於小分子世界下的變化，並試著依不同比例混和太白粉以及玉米粉。
2. 實驗四保險桿實驗仍有高研究潛質，未來可設計更多變因及狀況模擬進行更深入的研究。
3. 非牛頓流體吸收力量比例高，可比較及分析其他防撞材料，考慮非牛頓流體結合性進行發，望未來可進入量產階段

捌、參考資料及其他

「應用在高黏性牛頓及非牛頓流體混合之層流攪拌器性能參數分析與流場計算」-國立交通大學機械工程學系博士論文(作者：胡育昌)

「剪切增稠流體制備及液態裝甲研究」-國立台北科技大學化學工程與生物科技系碩士學位論文(作者：莊宏詣)