

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082928

降塑「油」解！清除水中塑膠微粒的方式

學校名稱：新北市新莊區中港國民小學

作者：	指導老師：
小六 唐祥恩	羅玉慧
小六 華子銘	洪偉翔
小五 趙偲婷	
小五 施禹安	
小五 馬順恩	

關鍵詞：塑膠微粒、油、磁粉

## 摘要

海洋裡塑膠微粒汙染嚴重，海灘上的塑膠垃圾會分解成塑膠微粒進入海洋。目前的污水處理廠無法過濾塑膠微粒，處理塑膠微粒變成很大的挑戰。

本研究結合塑膠和磁粉的疏水性來吸油，再用磁鐵去除水中的塑膠微粒。測試 5 種變項並以光譜儀分析塑膠清除率，研究發現廢機油較黏稠、細磁粉被油包覆的表面積大、塑膠粒徑越小黏附效果越好，越易清除。磁力 4900 ( $\mu$  T) 可清除 4 克塑膠。研究發現不同塑膠粒徑最佳清除條件，半小時內清除塑膠大粒徑 1.5 mm 最佳。研究測試 6 大塑膠，以及衣物纖維的清除效果，清除率達 97%。相較於污水處理廠的過濾方式，更有效清除塑膠。並設計自動清除機，以及重複利用磁粉的方式，未來可以應用在廢水處理廠。

## 壹、研究動機

海裡的塑膠微粒汙染可能進入食物鏈，會造成野生動物至人類各種問題。研究指出污水處理廠無法有效去除塑膠微粒，促使我們想要設計有效清除方式，以維護海洋生態。上課學過「溶解」單元，觀察到塑膠與磁粉容易與油結合，具備親油而疏水的特性。而「電與磁」單元，提到強力磁鐵可以吸起磁粉。促使我們測試以塑膠親油性清除的方式。

進一步閱讀到前人以砂石過濾、油和磁粉清除塑膠微粒的方式。因此，開始測試清除效果，結果發現對於 3mm 塑膠大顆粒的清除效果不佳。前人以磁粉清除海上漏油，提到原油黏稠性高易與磁粉結合。於是測試油..等變項能否提升清除效果。並找出適用清除各種塑膠粒徑的最佳條件。並應用學過的「滑輪與輪軸」單元設計塑膠微粒清除機，及重複利用方式。

## 貳、研究目的

研究目的在尋找最佳清除塑膠微粒的方式，研究測試清除機制，再以光譜儀測量塑膠微粒濃度。接著測試 5 個變項對清除效果影響，包括不同種類的油、磁粉、塑膠粒徑、附著時間、磁力大小。最後進行六大類塑膠以及衣物纖維清除效果的測試。以及設計自動化清除機，並測試重複使用磁粉與油的方式。

- 一、測試清除塑膠微粒的**機制**
- 二、**光譜儀**測量塑膠微粒濃度
- 三、探討**油、磁鐵粉、塑膠粒徑、吸附時間、磁力大小**對塑膠微粒的清除效果
- 四、探討**不同種類塑膠、衣物纖維**的清除效果
- 五、製作清除塑膠微粒機
- 六、重複利用磁粉與油的方式

## 參、文獻探討

### 一、清除塑膠微粒機制:

文獻提到過濾塑膠微粒的方式有兩種，第一種以砂石過濾，第二種以油與磁粉黏附清除。Jillian E. Avila (2018)以砂石過濾塑膠微粒，有 97%清除率。經我們實驗僅 60%清除率，塑膠微粒粒徑很小會從孔隙掉落，清除效果不佳。因此，本研究藉由塑膠親油特性清除。

進一步測試 Fionn Ferreira(2018)以油與磁粉黏附清除塑膠微粒的方式，研究理論為塑膠與磁粉親油，再以磁鐵棒清除塑膠微粒，可達清除率 88%。

首先測試「塑膠親油、磁粉與油結合」的理論依據。陳鎮洲(2015)提到塑膠裡頭的長碳鏈具有親油性，可以吸附油分子。因此，進行塑膠親油性實驗，將油和水滴在塑膠板上，觀察接觸角。油珠接觸角小就表示塑膠親油。接著測試「磁粉與油結合」觀察油是否會包覆磁粉，以確定研究基礎。

以 Fionn Ferreira 的方式進行清除，發現無法清除 3 mm 大粒徑塑膠微粒。Arden Warner(2010) 以磁粉清除墨西哥灣石油漏油危機，研究提到原油具有足夠的黏度，能和磁粉結合。因此，測試五種不同變項對塑膠微粒清除效果的影響，包括油種類、磁粉粒徑、磁粉吸附時間、塑膠粒徑、磁力大小，借以提升清除效果。

### 二、光譜儀測量未知塑膠微粒濃度

過去有研究表示光譜儀可以用來檢測懸浮粒子，因此以光譜儀測試清除後的塑膠微粒濃度。李姍姍(2014)以光譜儀分析河川的水質光譜，用來測量懸浮液中的沙子和淤泥的濃度。

因此，研究分為四個部分，第一部分，機制與檢測方法。研究假設塑膠和磁粉吸油，藉以去除塑膠粒。清除機制包括塑膠親油性、油包覆磁粉實驗。並以光譜儀測量塑膠微粒的清除效果。第二部分，變因與最佳條件，包括油種類、磁粉粒徑、塑膠粒徑、黏附時間、磁力大小。第三部分，塑膠纖維與清除效果，包括六大類塑膠、衣物纖維的清除效果。第四部份，實際應用與創意。製作塑膠微粒清除機，以及重複粒用磁粉與油的方式。研究流程圖如下:

## 肆、研究架構

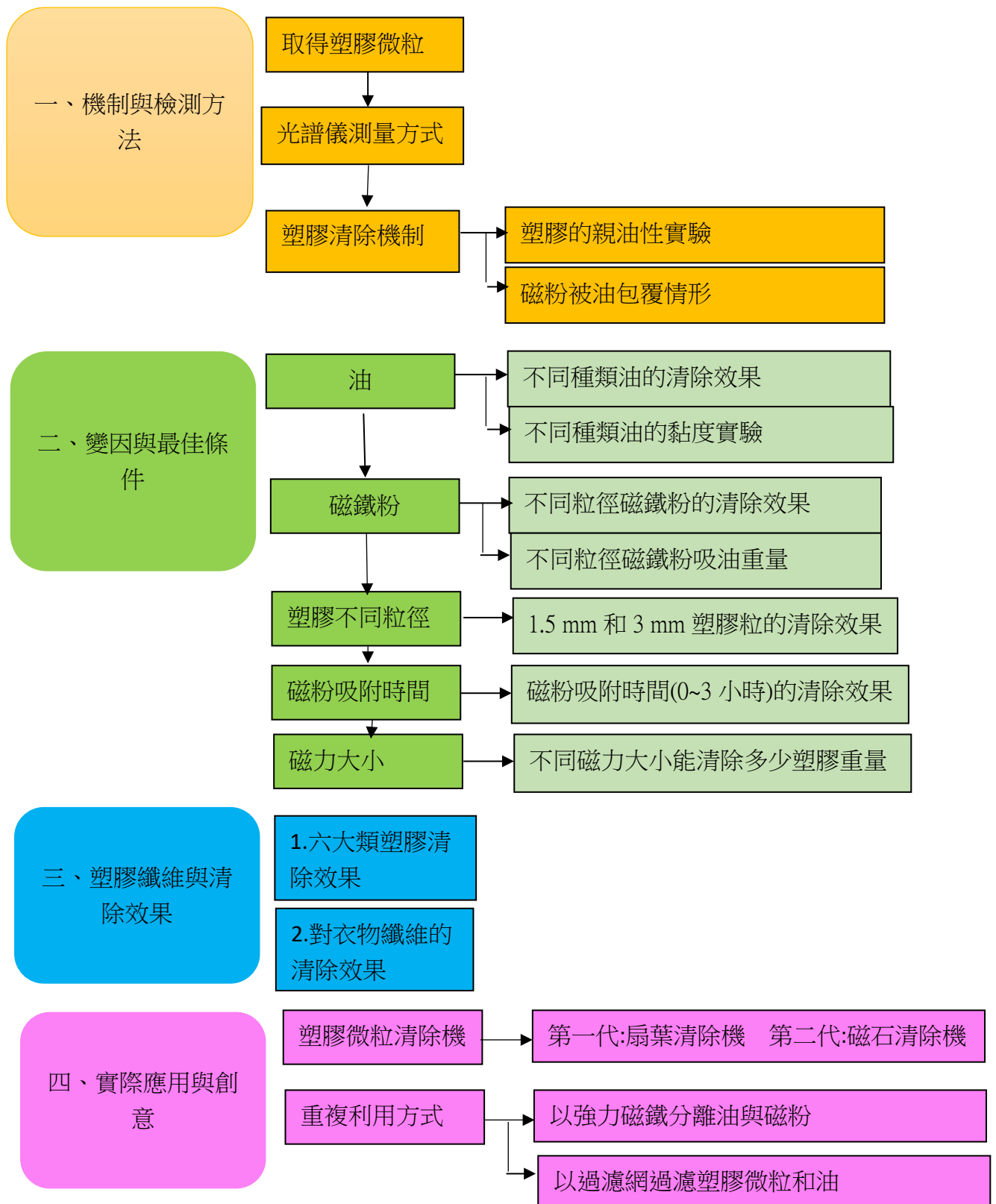


圖1 研究流程圖

## 伍、研究設備及器材

研究器材如下表 1，webcam 光譜儀測量水中塑膠微粒濃度，顯微鏡觀察衣物纖維..等。

表 1 研究器材與設備

					
webcam 光譜儀	比色管	顯微鏡	磨砂機	電子秤	強力磁鐵

## 陸、研究過程及方法

### 實驗前準備:塑膠微粒的取得

塑膠粒的取得方式，塑膠微粒 0.1 mm，以磨砂機磨塑膠瓶，再經過濾網(0.1 mm)過濾取得。另一種塑膠粒 3 mm 向廠商購買。市面常見六大類塑膠用途如下:

表 2 六大塑膠常見用途

六大塑膠						
學名	聚乙烯對苯二甲酸酯	高密度聚乙烯	聚氯乙烯	低密度聚乙烯	聚丙烯	聚苯乙烯
常見用途	寶特瓶	塑膠袋	保鮮膜	半透明塑膠瓶	布丁盒	泡麵碗

表 3 塑膠微粒 0.1mm 取得實驗步驟

			
六大類塑膠瓶	以磨砂機磨成塑膠粒	收集塑膠粒	放置篩網(0.1mm)過濾

### 一、 測試清除塑膠微粒的機制

前人以砂石過濾廢水去除水中塑膠微粒，所以我們測試清除效果。

#### (一)砂石過濾法測試


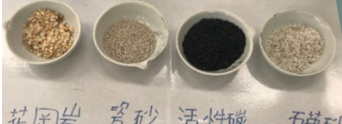



前人研究提到砂石過濾廢水，我們以四種砂石過濾塑膠微粒，並測量對塑膠微粒的清除效果。

**操作變因:** 四種砂石，石英砂、花崗岩、瓷砂、活性炭，粒徑 2 mm。

**控制變因:** 塑膠微粒水含量 33 (g/L 水)取 5 mL 的塑膠懸浮液體

- (1) 塑膠微粒水含量 33 (g/L 水) 取 5mL 的塑膠懸浮液體。
- (2) 將含有塑膠粒的水分別倒入四種砂石中(石英砂、花崗岩、瓷砂、活性炭)，測試過濾效果
- (3) 四種砂石各取(40 g)裝在 5cm \* 2cm 圓筒，底部有 1mm 小洞使水流出。
- (4)將清除後的塑膠微粒水，經光譜儀測量 5 次平均，以比爾定率計算吸光度，計算出清除率。

表 4 砂石法過濾塑膠微粒的實驗步驟

				
塑膠微粒水。	花崗、瓷砂、活性炭、石英。	塑膠水倒入砂石過濾管。	光譜計算清除率。	

## (二)油與磁粉清除塑膠微粒的機制

由於砂石過濾效果不佳，因此我們著手進行其他清除機制測試。研究機制為，塑膠吸油，油包覆磁粉，吸油的塑膠與被油包覆的磁粉結合，再用磁鐵去除塑膠粒。

### 1.塑膠微粒的親油性實驗


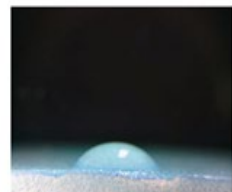
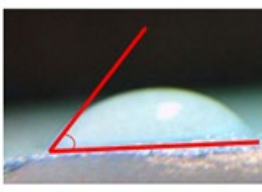
我們將沙拉油珠和水珠滴在塑膠板上，計算油珠和水珠與塑膠板的接觸角。在親油性的情況下，油珠與塑膠板的接觸角會較小，油珠會散開攤平。

**操作變因:**沙拉油、水。

**控制變因:**沙拉油和水體積各 0.1 mL、塑膠板(1~6 號塑膠)

- (1) 將 0.1 mL 的沙拉油和水滴在塑膠板上。
- (2)以高像素實物攝影機拍照，在電腦上計算水珠、油珠和塑膠板的接觸角。

表 5 塑膠親油性實驗步驟

		
塑膠板上滴 0.1mL 體積的油和水。	以實物攝影機拍照。	在電腦上計算角度。

## 2.磁粉被油包覆情形

我們將試管中倒入相同體積的油和水，將磁鐵粉放入。觀察磁粉在油和水中的分散情形。

**操作變因:**沙拉油、水。 **控制變因:** 磁鐵粉 1 g、沙拉油和水體積各 40 mL

- (1) 將 40 mL 的沙拉油和水放入玻璃管中。
- (2) 在試管中放入磁鐵粉 5 g。
- (3) 觀察磁粉在沙拉油和水中的分散情形。

表 6 磁粉在油和水中的分散情形實驗步驟

		
管中各裝入 40mL 體積的油和水。	放入磁粉 1g。	觀察磁粉在水和油中分散情形。

## 3 建立清除塑膠微粒步驟

- (1) 製備 5 ml 所需的塑膠微粒水。
- (2) 將油 0.25 mL 加入玻璃罐。
- (3) 將磁鐵粉 0.03 g 加入玻璃罐。
- (4) 將蓋子蓋住並倒轉 20 次，  
以使磁鐵粉和油黏附在塑膠微粒上。
- (5) 打開蓋子，強力磁鐵移除含有塑膠微粒

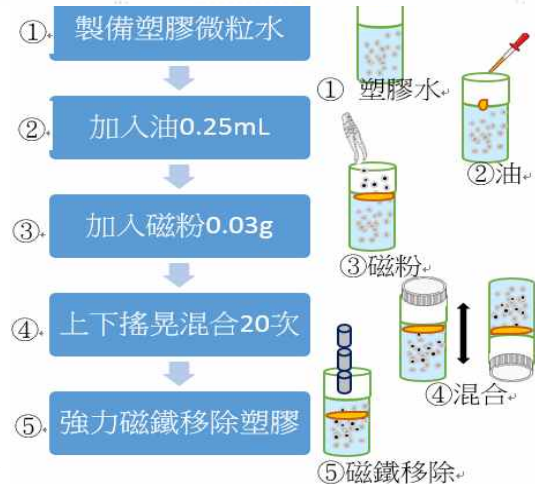
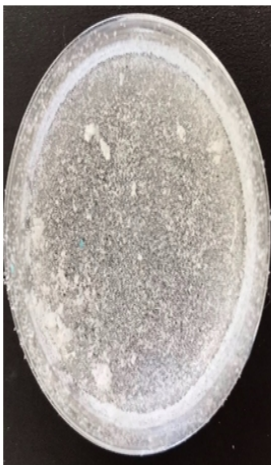
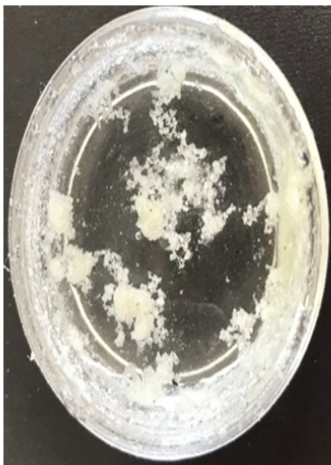
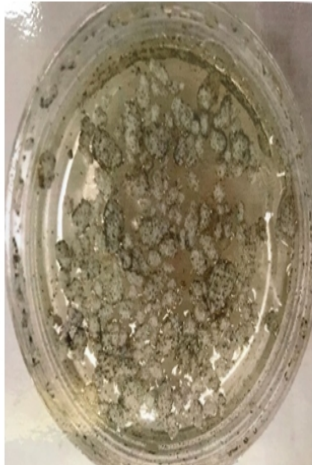



圖 2 清除塑膠微粒流程圖

表 7 清除塑膠微粒的實驗步驟

			
製作塑膠微粒水。	油倒入混合。	磁鐵粉倒入混合。	強力磁鐵移除。

## 二、光譜儀測量塑膠微粒濃度

### (一)設計光譜儀

我們以光譜儀檢測清除後塑膠微粒的濃度。第一版手機光譜儀，發現光譜位移、光譜有漏光、影像過曝的問題。因此我們試著以積木固定光譜儀位置，並測試積木距離，解決影像會位移和過曝的問題。並且將黏土黏住手機鏡頭、製作箱子蓋住光譜儀，避免環境光源干擾以及漏光問題。但是每次測量差異很大，光譜波長 546 nm 的光的強度數值落於 130~100 之間。後來我們發現原來是手機照相時，每次的曝光和光圈都不一樣，嚴重影響光譜數值。因此將手機換成 Webcam 攝影鏡頭，能夠固定光圈，使照片有固定的曝光值。使用 Webcam 後，使光譜儀波長 546 nm 的光的強度數值落於 104~107 之間，非常穩定。(由 FB 科學 maker 取得光譜儀，感謝社群提供)

表 8 光譜儀第一版和第二版比較表

	手機光譜儀第一版			Webcam 光譜儀第二版	
設計	以手機讀取光譜儀照片(左)，中間放置衛生紙做為散光(中)，燈源放置右方(右)			以 Webcam 讀取光譜儀照片(左)，中間放置衛生紙做為散光(中)，燈源放置右方(右)	
設計圖					
光譜儀照片	<p>圖 手機光譜儀</p>			<p>圖 Webcam 光譜儀</p>	
問題修正	1 光譜位移	2 影像過曝	3 光譜漏光	1 影像模糊	2 Webcam 會晃動，焦距跑掉
	積木固定位置	調整光源	箱子蓋住避免環境光源干擾 黏土黏鏡頭	固定光圈	以螺絲固定 Webcam 鏡頭與光譜儀
	<p>積木固定位置</p>	<p>(左) 過曝 (右) 正常</p>			



## (二)光譜計算

### 1. 比爾-朗伯定律 (Beer – Lambert law)

一束單色光照射於一吸收介質表面（通常為溶液）時，由於介質吸收了一部分光能，透射光的強度就要減弱。吸光度在這邊是指光線通過溶液或某一物質前的人射光強度與該光線通過溶液或物質後的透射光強度比值的以 10 為底的對數（即  $\log(I_0/I)$ ），影響它的因素有溶劑、濃度、溫度等等。

$$A = \log I_0 / I$$

- $A$ ：吸光度
- $I_0$ ：入射光的強度
- $I$ ：透射光的強度

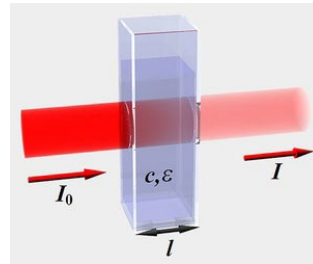


圖 3 比爾朗博定律-入射光與透射光

### 2. 使用比爾定律確定未知塑膠微粒水的濃度。

我們以光譜儀測量已知塑膠微粒濃度，計算 10 個塑膠微粒濃度與吸光度資料，找出塑膠微粒濃度的推論公式。我們選擇觀察到最大吸收的波長(546 nm)進行計算。我們使用六種塑膠微粒(0.1 mm)濃度資料，分別建立其趨勢線，以推論六大塑膠微粒濃度。這條趨勢線 (圖 14:  $Y=0.0361 X$ )，Y 值代表吸光度，X 值代表塑膠微粒濃度。

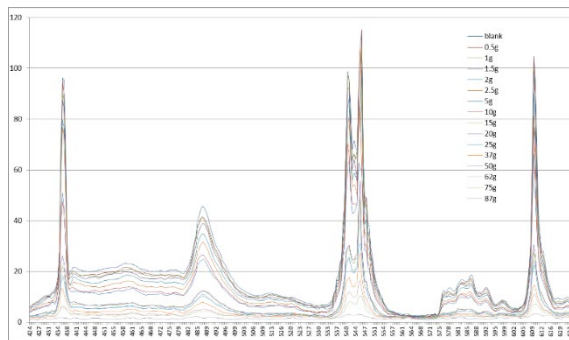


圖 4 塑膠微粒濃度與其對應的光譜圖

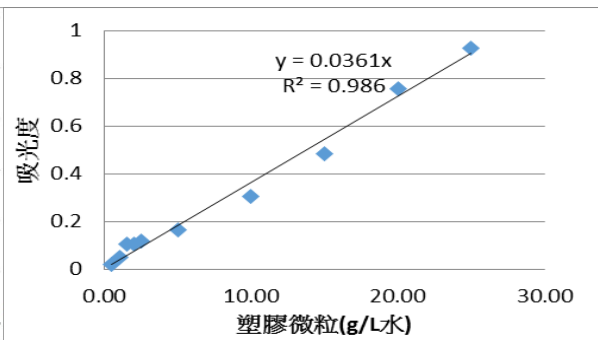


圖 5 PET(1 號)塑膠微粒濃度與吸光度

## 三、探討油與塑膠微粒的清除效果

## (一)不同種類油對塑膠微粒的清除率



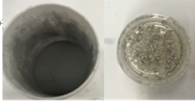
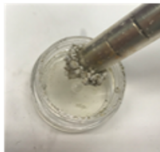

文獻提到石油的黏稠性可以使磁鐵粉與油結合，我們測試不同油對清除效果影響。

**操作變因:**我們選四種油進行實驗，包括廢機油、沙拉油、食用廢油、針車油。

**控制變因:** 塑膠微粒水 33 (g/L 水)、磁鐵粉 0.001 克

- (1) 製作塑膠微粒水 33 (g/L 水)，取出 14 克。
- (2)在塑膠微粒水中，分別加入四種油，各 0.1 mL。搖晃 20 下，混合均勻。
- (3)再加入磁鐵粉 0.001 克。搖晃 20 下，混合均勻。
- (4) 以磁鐵棒吸起塑膠微粒。
- (5)將清除後的塑膠微粒水，倒入比色管，經光譜儀測量 5 次平均，取得波長 546 nm 光強度。以比爾定率計算出吸光度，並對照公式算出塑膠微粒濃度。計算出清除率。

表 9 不同種類油對塑膠粒的清除效果實驗步驟

				
製作塑膠微粒水，混合 20 次。	將油倒入瓶中，倒轉混合 20 次。	將磁鐵粉倒入，倒轉混合 20 次。	強力磁鐵移除塑膠微粒。	光譜計算清除率。

## (二)不同種類油的黏度實驗

想要了解廢機油的清除效果為何最佳?是否與黏稠度有關係，因此，我們進行油在毛細管中的落下實驗，將油滴在毛細管中，計算掉落時間。掉落時間越久，表示油越黏稠。

**操作變因:**我們選四種油進行實驗，包括廢機油、沙拉油、食用廢油、針車油。

**控制變因:** 油 0.25 mL

- (1) 用滴管吸取四種油(廢機油、沙拉油、食用廢油、針車油) 0.25 mL。
- (2) 將油滴入玻璃管中，計算掉落時間(秒)。上述實驗重複 5 次，取平均值。

表 10 不同種類油的降落時間實驗步驟

	
滴入油 0.25mL	計算不同油降落時間

## 四、探討

不同粒徑磁鐵粉是否會影響到磁鐵被油包覆的效果？我們進行試驗。

### (一)不同粒徑磁鐵粉的清除率

**操作變因:**我們選 2 種粒徑磁鐵粉進行實驗，0.38 mm、0.048 mm 粒徑磁鐵粉。

**控制變因:**廢機油 0.25 mL、塑膠微粒(0.1 mm)

- (1) 製作塑膠微粒水 33 (g/L 水)，取出 14 克。
- (2) 在塑膠微粒水中，加入廢機油 0.25 mL。搖晃 20 下，混合均勻。
- (3) 再加入不同粒徑磁鐵粉(0.38 mm、0.048 mm)，各 0.2 克。搖晃 20 下，混合均勻。
- (4) 以磁鐵棒吸起塑膠微粒。
- (5) 將清除後的塑膠微粒水，倒入比色管，經光譜儀測量 5 次平均，取得波長 546 nm 的光強度。以比爾定率計算出吸光度，並對照公式算出塑膠微粒濃度。計算出清除率。

表 11 不同粒徑磁鐵粉清除率的實驗步驟

				
製作塑膠微粒水，倒轉混合 20 次。	將油倒入瓶中，倒轉混合 20 次。	分別加入不同粒徑磁鐵粉，倒轉混合 20 次。	使用強力磁鐵移除含有塑膠微粒。	不同粒徑磁鐵粉的清除效果，光譜計算清除率。

### (二)不同粒徑磁鐵粉的吸油重量


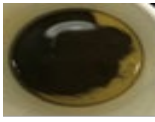

為了瞭解細磁鐵粉為何清除效果佳?我們比較磁鐵粉被油包覆的重量。

**操作變因:**以 2 種粒徑磁鐵粉進行實驗，粗磁粉(0.38 mm)、細磁粉(0.048 mm)

**控制變因:**廢機油 10 mL、磁鐵粉 5 g

- (1) 將廢機油 10mL 倒入杯中。
- (2) 加不同粒徑磁粉(粗磁粉 0.38 mm、細磁粉 0.048 mm)各 5 克。搖晃 20 下，混合均勻。
- (3) 用磁鐵棒將混合均勻的磁鐵粉與油吸起。
- (4) 測量被磁鐵粉吸起的油重量。上述實驗重複 5 次，取平均值。

表 12 不同粒徑磁鐵粉吸油量實驗步驟

		
倒入廢機油 10 mL	將油倒入瓶中，混合均勻	測量被磁鐵粉吸起的油重量

## 五、探討塑膠不同粒徑的清除效果

清除中發現塑膠粒掉落情形，越重的塑膠粒會不會影響清除效果呢?進一步探討。

**操作變因:**清除不同粒徑的塑膠微粒，長度分別為 1.5 mm、3 mm。

**控制變因:** 細磁鐵粉(粒徑 0.048 mm) 0.06 克

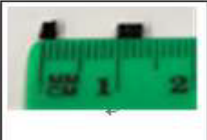
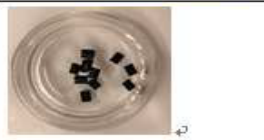



(一)塑膠粒(體積  $1.5\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 3\text{ mm} = 9\text{ mm}^3$ )20 顆/(體積  $3\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 3\text{ mm} = 18\text{ mm}^3$ )10 顆。

(二)在塑膠粒水中，加入不同比例廢機油(0 mL、0.06 mL、0.12 mL)。搖晃 20 下，混合均勻。

(三)再加入細磁鐵粉(粒徑 0.048 mm)，各 0.06 克。搖晃 20 下，混合均勻。磁鐵棒吸起塑膠。

(四) 計算清除後的塑膠粒體積，**塑膠清除率**= $\frac{\text{清除的塑膠粒體積}}{\text{原有塑膠粒體積}}$  (%)

表 13 PET(聚乙烯對苯二甲酸酯)不同粒徑清除率的實驗步驟

				
不同粒徑塑膠粒	在 5 克水中，分別加入 10 顆/20 顆塑膠粒	將油倒入瓶中，倒轉混合 20 次	磁鐵粉 0.03g 倒入後混合 20 次	使用強力磁鐵移除含有塑膠微粒

## 六、探討磁粉吸附時間對清除效果的影響

塑膠顆粒越大，需較多油的黏附力，吸附時間多久時間內清除會有效呢?進一步實驗。

1.我們選取 3 種塑膠粒徑，測試吸附時間。塑膠粒徑 1.5 mm、3 mm、0.1 mm。






2.在塑膠粒水 (5 mL) 中，加入廢機油 (0.25 mL)。再加入細磁鐵粉(粒徑 0.048 mm)，各 0.06 克。搖晃 20 下，混合均勻。以磁鐵棒清除。

3.塑膠清除率計算方式

(1)塑膠粒 ( $9\text{ mm}^3$ 、 $18\text{ mm}^3$ ) 的塑膠清除率：**塑膠清除率**= $\frac{\text{清除的塑膠粒體積}}{\text{原有塑膠粒體積}}$  (%)

(2)塑膠粉 (0.1 mm) 的**塑膠清除率**：經光譜儀測量塑膠微粒清除率。

表 14 PET(聚乙烯對苯二甲酸酯)磁粉吸附時間的實驗步驟

				
9 mm <sup>3</sup> 0.1mm	5 克水中，加入 PET	將油倒入混合	混合磁粉 0.06g	強力磁鐵移除

## 七、探討磁力對清除塑膠重量的影響

不同的磁力，可以清除多少重量的塑膠呢？我們進一步實驗。

**操作變因：**3 種不同磁力的磁鐵 4900、1300、48(微特斯拉  $\mu T$ )。



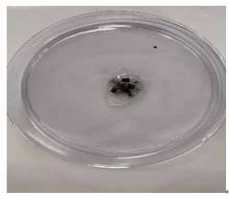

**控制變因：**廢機油(0.25 mL)、磁粉(1 g)、塑膠(3 mm)

(1)用 App(phyphox)測量三種磁鐵磁力。

(2)將塑膠粒(0.1 g、2 g、4 g)，分別加入廢機油(0.5 mL)、磁粉(1 g)，混合均勻。

(3)以 3 種磁鐵吸起清除後，計算清除率 =  $\frac{\text{清除塑膠重量}}{\text{原本塑膠重量}} \%$ 。

表 15 不同磁力對清除塑膠重量的實驗步驟

			
三種不同磁鐵。	用 App 測量磁力。	混合機油、磁粉。	強力磁鐵清除。

## 八、探討不同種類塑膠的清除效果

我們想要了解，這個清除塑膠微粒方式對 6 大塑膠種類的清除效果，因此進行以下實驗。

**操作變因：**不同油量加入塑膠微粒水中進行清除(0 mL、0.06 mL、0.12 mL、0.18 mL、0.25 mL)

**控制變因：**塑膠微粒(0.1 mm)




1.製作塑膠微粒水 33 (g/L 水)，取出 5 克。

2.加入不同比例廢機油(0 mL、0.06 mL、0.12 mL、0.18 mL、0.25 mL)。搖晃 20 下混合均勻。

3.再加入細磁鐵粉(粒徑 0.048 mm)，各 0.03 克。搖晃 20 下，混合均勻。磁棒吸起塑膠

4.將清除後的塑膠微粒水，倒入比色管，經光譜儀測量 5 次平均，取得波長 546 nm 的光強度。以比爾定率計算出吸光度，並對照公式算出塑膠微粒濃度。計算出清除率。

表 16 六大塑膠微粒清除率的實驗步驟

				
製作塑膠微粒水混合 20 次。	將油倒入瓶中，倒轉混合 20 次。	將磁鐵粉倒入，倒轉混合 20 次。	強力磁鐵移除塑膠微粒。	光譜計算清除率。

## 九、探討衣物纖維的清除效果

研究發現刷毛外套每洗一次，平均掉落 25 萬根塑膠纖維。市面上衣物常見的人工合成纖維，做成排汗衣、兒童睡衣、瑜珈衣物等。我們以 5 種常見人工合成纖維做為測試。

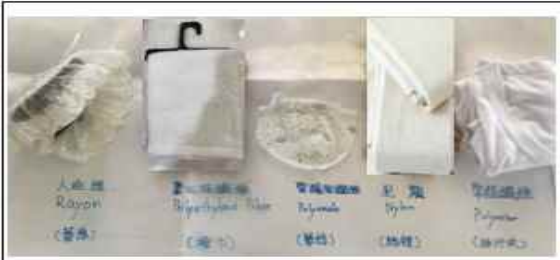



### (一)實驗步驟

**操作變因:**不同比例廢機油(0.06 mL、0.12 mL)。

**控制變因:**聚酯纖維(Polyester fiber)

- 1.排汗衣為聚酯纖維(Polyester fiber)，將排汗衣剪成 1 mm 纖維。
- 2.在塑膠粒水中，加入不同比例廢機油(0.06 mL、0.12 mL)。再加入細磁鐵粉(粒徑 0.048 mm)，各 0.06 克。搖晃 20 下，混合均勻。磁鐵棒吸起人工纖維。
- 3.以光譜儀測量塑膠微粒水 5 次平均。以比爾定率計算出清除率。

表 17 PET(聚乙烯對苯二甲酸酯)清除率的實驗步驟

			
衣物人工纖維成分	剪成 1mm	混合油、磁粉，強力磁鐵移除	光譜計算塑膠微粒濃度

## 十、製作塑膠微粒清除機

清理塑膠微粒機制應用到污水處理廠時，需要自動化的處理方式。因此，我們設計了塑膠微粒清除機，將攪拌、磁鐵吸起的動作自動化，機器自動攪拌將塑膠微粒、油與磁粉混合，再以晶片控制強力磁鐵板從上方清除。**第一版清除機**，以扇葉攪拌杯攪動油和磁粉，在扇葉綁磁鐵棒，吸起塑膠微粒。發現塑膠粒和油黏在扇葉的問題，使磁粉難以混合。且磁鐵條磁性較強在兩端，塑膠微粒吸附面積小，需要多次清除。**第二版清除機**，以磁石攪拌杯攪動油和磁粉，上方以 microbit 控制馬達轉動，馬達控制圓形磁鐵升降，吸起塑膠微粒。經磁石攪拌，塑膠微粒容易和磁粉混合。且圓形磁鐵吸附面積大，只要一次就能全部清除。

表 18 塑膠微粒清除機第一版和第二版比較表

	清除機第一版		清除機第二版	
設計	以扇葉攪拌杯攪動油和磁粉，在扇葉上綁磁鐵棒，吸起塑膠微粒		底座有一個馬達連接磁鐵使其轉動，杯中磁石攪拌杯攪動油和磁粉，上方以晶片控制圓形磁鐵，吸起塑膠微粒	
儀器				
磁鐵	磁鐵棒吸附面積小		圓形磁鐵吸附面積大	
黏附	塑膠黏在扇葉上		磁石面積小，攪拌時塑膠不易黏附	
攪拌	扇葉攪拌不均，塑膠會殘留杯壁		磁石攪拌均勻，清除較乾淨	
問題修正	問題	修正	問題	修正
	磁鐵棒吸附面積小，且黏附	使用 2 根磁鐵棒，儀器笨重難轉動	齒輪在側邊，磁鐵棒難以懸掛	齒輪掛置上方，以 microbit 控制馬達，帶動轉軸上下

勝

## 十一、重複利用磁粉與油的方式

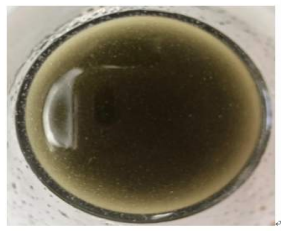


我們使清除後的磁粉與油和塑膠分離，再重複使用。Arden Warner(2010) 以磁粉清除海上漏油，並用強力磁鐵將磁粉和油分離。因此，我們用強力磁鐵吸起磁粉，剩下油和塑膠。接著，再用濾網(0.45  $\mu$ m)，過濾 0.1 mm 的塑膠微粒，使油和塑膠分離。

### (一) 強力磁鐵分離磁粉和油.塑膠

#### 1. 實驗步驟

- (1)將塑膠微粒(0.1 g)、廢機油(5 mL)、磁粉(0.1 g)混合均勻。
- (2)用強力磁鐵在燒杯外壁吸附磁粉，分離磁粉與油和塑膠。

表 19 分離磁粉與油和塑膠的方式




		
混合磁粉、油、塑膠。	用強力磁鐵沿外壁聚集磁粉。	分離磁粉與油和塑膠。

## (二) 分離塑膠微粒和油

### 1. 實驗步驟

- (1) 將針筒連接過濾網。
- (2) 將塑膠微粒和廢機油，放置在針筒裡，進行濾網按壓過濾。

表 20 分離磁粉與油和塑膠的方式

		
將針筒連接過濾網。	以針筒加壓過濾。	塑膠微粒分離前(左)分離後(右)差異。

## 柒、研究結果與討論

### 一、 測試清除塑膠微粒的機制

#### (一) 研究結果

1. 砂石過濾法清除效果: 砂石過濾效果約 47~65%，水中還是有許多的塑膠微粒，清除效果不佳。因此我們結合塑膠和磁粉的疏水性來吸油，再用磁鐵去除水中的塑膠微粒。

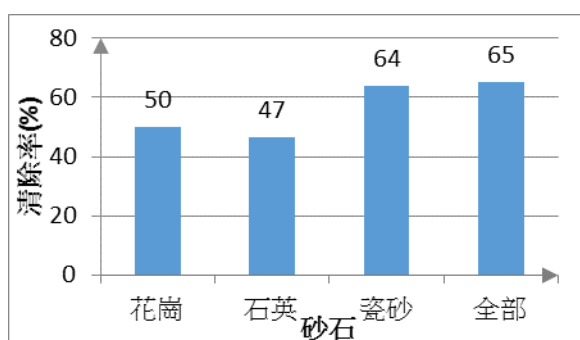


圖 6 不同砂石對塑膠的清除率

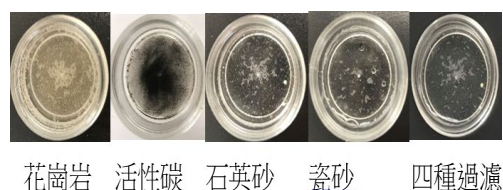


圖 7 不同砂石對塑膠的清除效果



## 2.油與磁粉清除塑膠微粒的機制

### (1)塑膠微粒的親油性實驗

沙拉油與塑膠板的接觸角較小，表示塑膠親油。沙拉油與六大類塑膠板接觸角  $5^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，水與塑膠板的接觸角  $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。

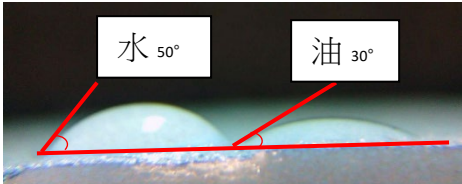


圖 8 水.油和 6 號塑膠的接觸角

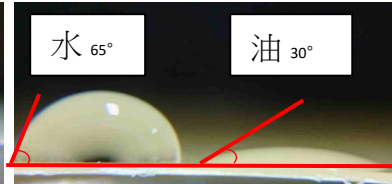


圖 9 水.油和 5 號塑膠接觸角

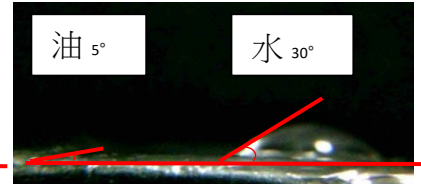


圖 10 水.油和 3 號塑膠接觸角

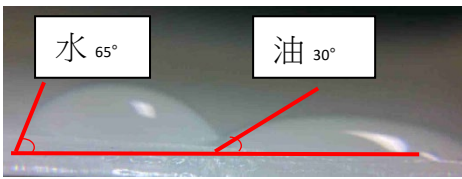


圖 11 水.油和 2 號塑膠的接觸角



圖 12 水.油和 1 號塑膠接觸角

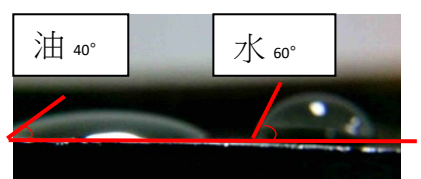


圖 13 水.油和 4 號塑膠接觸角

### (2)磁粉被油包覆情形

我們觀察到不論是小顆或是一堆磁粉，都會被油包住。因此建立清除步驟。



圖 14 磁粉被油包覆

## (二)討論

我們先以砂石過濾法清除塑膠，清除率僅 65%。因此，本研究結合塑膠和磁粉的疏水性來吸油，再用磁鐵去除水中的塑膠微粒。塑膠的親油性實驗，油與塑膠板接觸角小，表示親油性，如下圖：

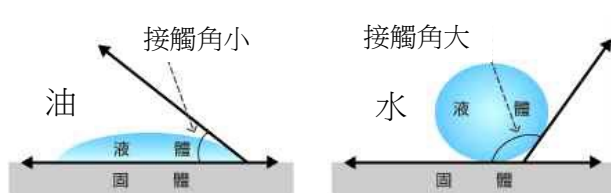


圖 15 油.水與塑膠板的接觸角

## 二、設計光譜儀測量塑膠微粒濃度

### (一) 研究結果

我們以光譜儀測量六大類塑膠微粒濃度與吸光度資料。六大塑膠微粒濃度與光強度相關度為 0.92~0.99 之間，為高相關。

表 21 六大類塑膠微粒濃度的推論公式與相關

種類 公式	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS
公式	$Y=0.0361X$	$Y=0.0178X$	$Y=0.0288X$	$Y=0.0252X$	$Y=0.0332X$	$Y=0.0361X$
相關 $R^2$	0.986	0.96	0.99	0.95	0.97	0.98

## (二) 討論

1. 我們以光譜儀檢測塑膠微粒的濃度。第一版改善光譜位移、環境光源干擾問題。

**第二版 Webcam 光圈固定，使照片有固定的曝光值。**使波長 546 nm 光的強度數值落於 104~107 之間，非常穩定。

表 22 光譜儀第一版和第二版比較

	手機光譜儀第一版	Webcam 光譜儀第二版 <span style="color: red; font-weight: bold;">★ 勝</span>
光強度	手動設定曝光值，光的強度數值落於 104~140 之間，不穩定。	<b>固定的曝光值</b> ，光的強度數值落於 104~107 之間，非常穩定
改善問題	1 以積木固定光譜儀，解決光譜位移 2 以黏土與箱子遮蔽，解決環境光源干擾	1.以螺絲固定鏡頭與光譜儀，使光圈固定

2.為了計算清除後的塑膠微粒濃度，我們透過已知塑膠微粒濃度與吸光度，**六大塑膠微粒濃度與光強度相關度為 0.9 高相關**，可以推論未知樣品濃度。

## 三、探討油對塑膠微粒的清除效果

### (一) 研究結果

廢機油清除效果最好(96%)，沙拉油與食用廢油效果次之，針車油效果差。實驗觀察到，針車油黏住很少塑膠，廢機油黏住很多塑膠，進一步實驗油黏度是否影響主因。從機油落下時間最久，發現廢機油最黏稠；針車油落下時間最快，所以最不黏稠。由上述實驗得知，油與塑膠的接觸角小，表示塑膠親油性；且機油的黏稠度高，因此機油親塑膠且黏稠的特性，可以黏附住較多塑膠清除。

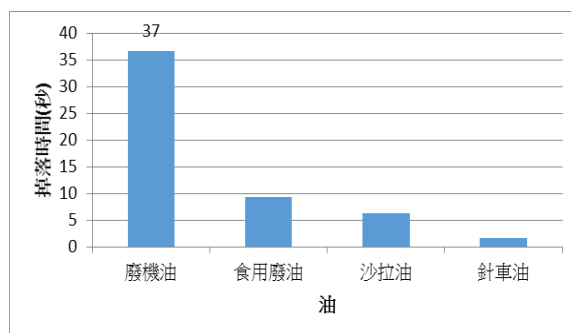
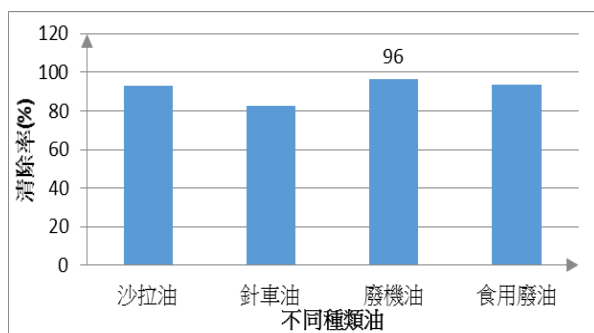


圖 16 不同種類油對塑膠微粒的清除效果

圖 17 不同種類油的掉落時間

## (二)討論

1.我們發現廢機油的清除效果最佳，沙拉油與食用廢油差異不大，針車油效果最差。

這表示我們可以將**使用過的廢機油和食用廢油再做利用，可達 93%以上清除率。**

這與 Jillian E. Avila (2018)研究結果一致，研究以磁鐵粉清除海上漏油，文中提到石油具有黏稠性，能與磁粉結合，達到良好的清除效果。

2.油的黏度實驗，廢機油的掉落時間最久，發現**油的黏稠性**為影響清除效果的主因(圖 18、19)。這表示塑膠粒除了受到**親油性影響**，容易與油聚集，也受到油的黏稠性影響。塑膠被油黏住後，再與磁粉一起被強力磁鐵吸起清除。

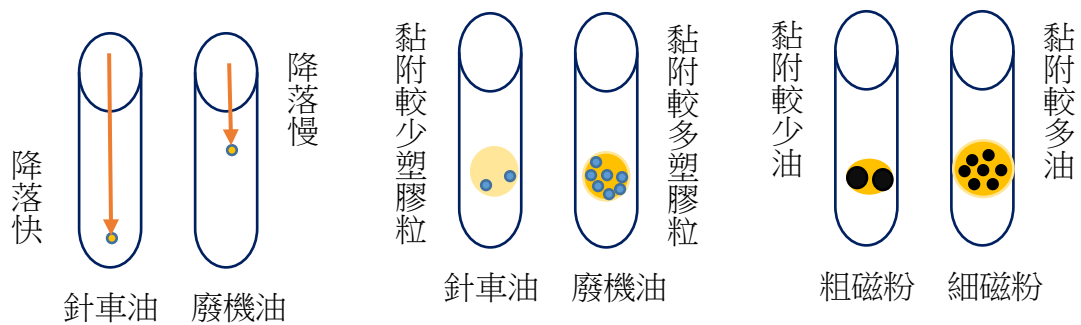


圖 18 廢機油降落慢

圖 19 廢機油黏稠吸附塑膠粒多

圖 20 細磁粉表面積大

## 四、探討磁鐵粉對塑膠微粒的清除效果

### (一)研究結果

細磁鐵粉(0.048 mm)清除效果佳 97%，粗磁鐵粉(0.38 mm)清除效果只有(43%)。進一步測試原因，發現細磁鐵粉吸油多。可能是因為細磁鐵粉表面積大，可以被較多油包覆。

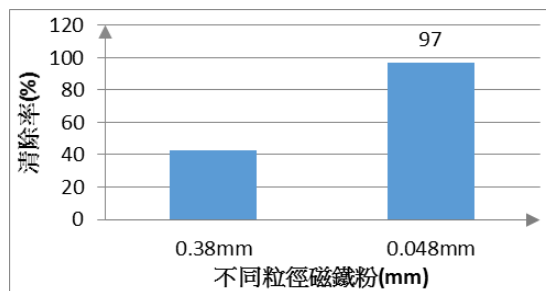


圖 21 不同粒徑磁鐵粉的清除效果

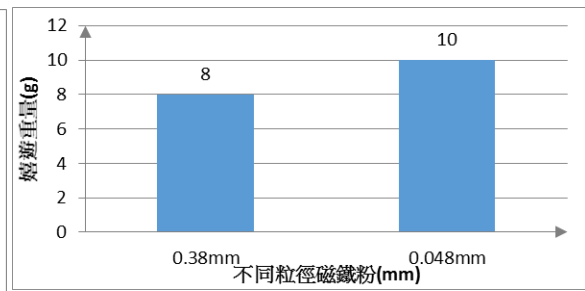


圖 22 不同粒徑磁鐵粉的吸油重量

### (二)討論

細磁鐵粉(0.048 mm)有較佳的清除效果(97%)，粗磁鐵粉(0.38 mm)清除效果只有(43%)。

我們進一步實驗發現細磁鐵粉(0.048 mm)可以吸附較多的油，粗磁鐵粉只能吸附較少的油。粗細磁粉在相同重量下，**細磁粉因為顆粒較小，有較大的表面積與油接觸，**

較多的油可以吸附在磁粉表面(上圖 20)。細磁粉吸起較多油，表示清除更多塑膠粒。

## 五、探討塑膠不同粒徑的清除效果

### (一)研究結果

#### 1. PET(聚乙烯對苯二甲酸酯)塑膠不同粒徑的清除效果

PET 小顆塑膠易清除(油 0.18 mL)，大顆塑膠難清除(油 0.25 mL)，需加入較多油黏住吸起，才能使塑膠的清除率達 100%。

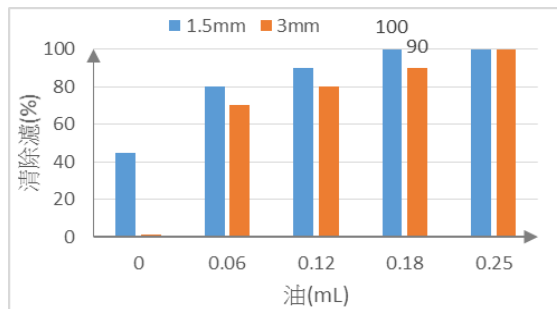


圖 23 PET 塑膠不同粒徑的清除率

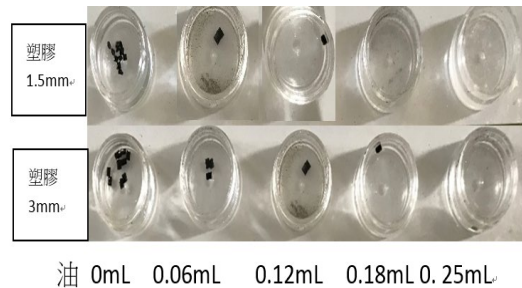


圖 24 PET 塑膠不同粒徑的清除效果

#### 2.HDPE(高密度聚乙烯)塑膠不同粒徑的清除效果

HDPE 小顆塑膠易清除(油 0.18 mL)，大顆塑膠難清除(油 0.25 mL)，需加入較多油黏住吸起，才能使塑膠的清除率達 100%。

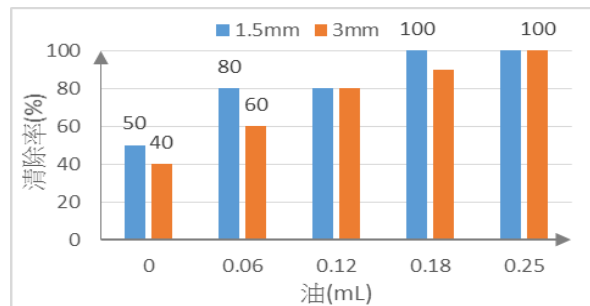


圖 25 HDPE 塑膠不同粒徑清除率



圖 26 HDPE 塑膠不同粒徑清除效果

#### 3.PVC(聚氯乙烯)塑膠不同粒徑的清除效果

PVC 小顆塑膠易清除(油 0.18 mL)，大顆塑膠難清除(油 0.25 mL)，需加入較多油黏住吸起，才能使塑膠的清除率達 100%。清除率 100%。

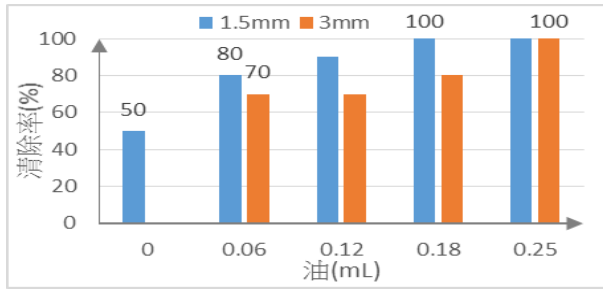


圖 27 PVC 塑膠不同粒徑的清除率



圖 28 PVC 塑膠不同粒徑清除效果

#### 4.LDPE(低密度聚乙烯)塑膠不同粒徑的清除效果

LDPE 小顆塑膠易清除(油 0.18 mL)，大顆塑膠難清除(油 0.25 mL)，清除率 100%。

四種塑膠粒的清除效果，小顆塑膠易清除(油 0.18 mL)，大顆塑膠難清除(油 0.25 mL)，大顆粒塑膠需要較多油黏附，塑膠清除率才能達 100%。

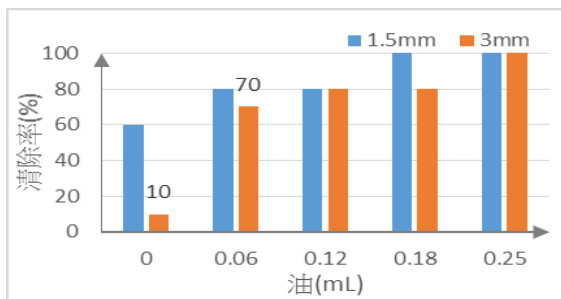


圖 29 LDPE 塑膠不同粒徑的清除率



圖 30 LDPE 塑膠不同粒徑清除效果

### (二)討論

**小顆粒塑膠容易清除。**大顆粒加入較多油仍有 100%清除率。小顆塑膠的重量較輕，容易吸起不易掉落。大顆塑膠粒藉由較多油的黏稠性和磁粉吸力，吸起塑膠粒。

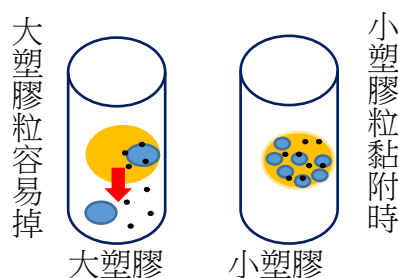


圖 31 小塑膠粒輕容易清除

## 六、探討磁粉吸附時間對清除效果的影響

### (一)研究結果

塑膠粒徑 (0.1 mm) 的塑膠清除率 94 %~95 %，在經過 3 小時後，清除效果沒有明顯變化。塑膠粒徑 (1.5 mm、3 mm)，在經過 0.5 小時後，塑膠清除率 90 %，經過 3 小時清除率為 60~50 %。

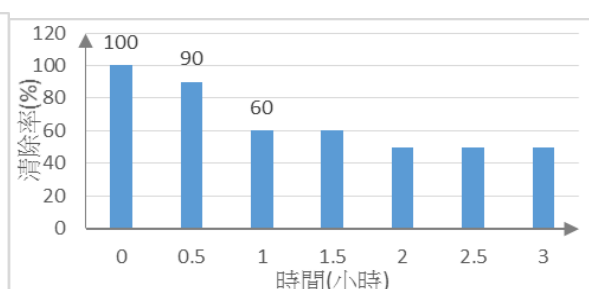
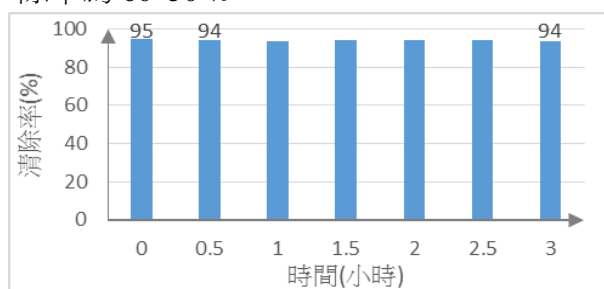


圖 32 磁粉吸附時間對塑膠 0.1 mm 清除率

圖 33 磁粉吸附時間對塑膠粒(1.5 mm)清除率

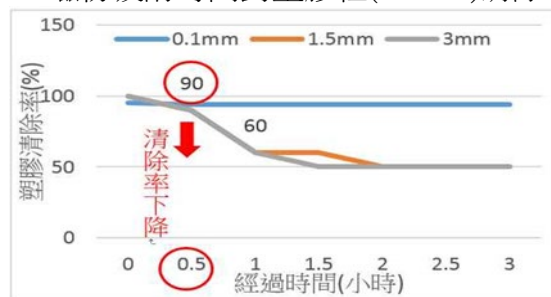
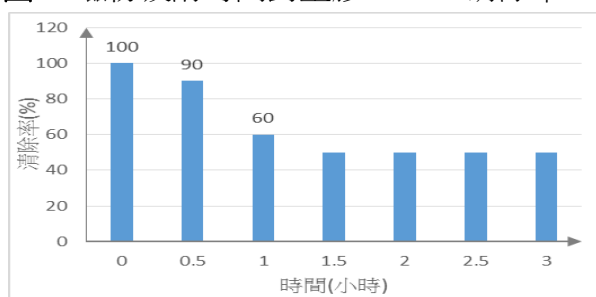


圖 34 磁粉吸附時間對塑膠(3 mm)清除率

圖 35 塑膠粒黏附磁粉時間影響清除效果

## (二)討論

塑膠粒、磁粉與油的黏附有時間性，大塑膠粒超過半小時，會使清除率下降(圖 35)。

因為塑膠粒藉由油的黏稠性吸附，時間會使黏附力下降。顆粒越大的塑膠粒，重量越重，黏附力低，清除作業應在 0.5 小時內完成。塑膠微粒(0.1 mm)，重量輕，黏附力強，3 小時後清除率仍有 94 %。

### 不同塑膠粒徑最佳清除條件:

由上述實驗結果得知，不同粒徑的塑膠微粒有不同的清除條件。以 3 種塑膠粒徑，0.1mm，塑膠濃度 33(g/L 水)取 5 克、1.5 mm(體積 9mm<sup>3</sup>)數量 10 顆、3mm(體積 18 mm<sup>3</sup>)數量 10 顆。所需要清除的清除時間、油、磁粉的最佳條件如下表。

表 21 不同塑膠粒徑清除的最佳條件

條件 \ 塑膠粒徑	0.1mm	1.5mm	3mm
清除時間	3 小時以內 久	0.5 小時	0.5 小時 短
油(種類/克數)	廢機油 0.18g	廢機油 0.18g	廢機油 0.25g
磁粉(種類/克數)	細磁粉(0.048mm) 少 0.03g	細磁粉(0.048mm) 0.06g	細磁粉(0.048mm) 多 0.06g

## 七、磁力大小對清除效果的影響

### (一)研究結果

磁力 4900 ( $\mu\text{T}$ ) 可以清除 4 (g) 塑膠粒，達 96 % 清除率。磁力 1300 ( $\mu\text{T}$ ) 可以清除 2 (g) 塑膠粒。磁力 48 ( $\mu\text{T}$ ) 清除 0.1 (g) 塑膠粒，只有 60 % 清除率。

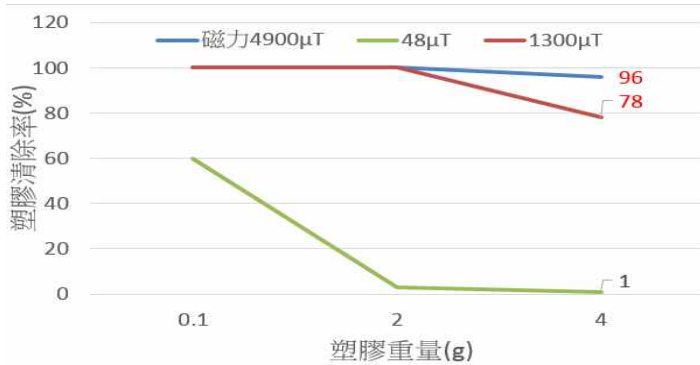


圖 36 不同磁力對清除塑膠重量的效果



圖 37 磁力強弱吸附磁粉量

### (二)討論

磁力越強，吸起越多磁粉，能清除較多塑膠(圖 61)。未來汙水處理廠可依據實驗數據推估，用多少磁力來清除塑膠。

## 八、探討不同種類塑膠的清除效果

### (一)研究結果

#### 1. PET(聚乙烯對苯二甲酸酯)塑膠微粒的清除效果

PET 塑膠使用油(0.18 mL)以上清除時，可達 96 % 以上清除率。油低於 0.12 mL 清除效果約 91~94 %，而未加入油清除也有 6 % 清除率。

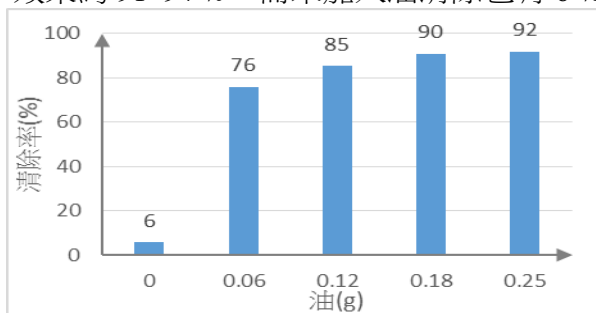


圖 38 PET 塑膠微粒清除率



圖 39 PET 塑膠微粒清除效果

#### 2. HDPE(高密度聚乙烯)塑膠微粒的清除效果

HDPE 塑膠使用油(0.18 mL)以上清除時，可達 91% 清除率。油低於 0.18 mL 清除效果較差約 76~85 %，而未加入油清除也有 9 % 清除率。

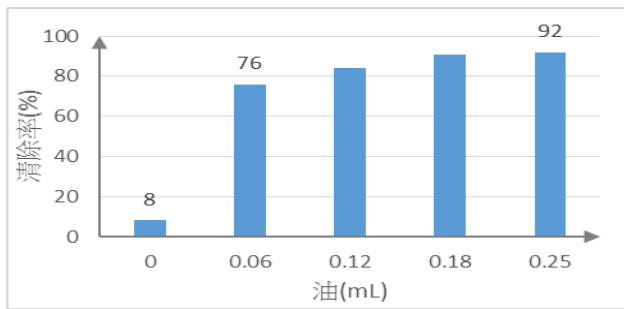
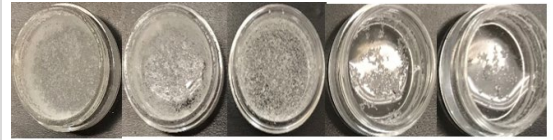


圖 40 HDPE 塑膠微粒的清除率



油 0mL 0.06mL 0.12mL 0.18mL 0.25mL

圖 41 HDPE 塑膠微粒的清除效果

### 3.PVC(聚氯乙烯)塑膠微粒的清除效果

PVC 塑膠使用油(0.18 mL)以上清除時，可達 87 %清除率。油低於 0.18 mL 清除效果較差約 69~81 %，而未加入油清除也有 8 %清除率。

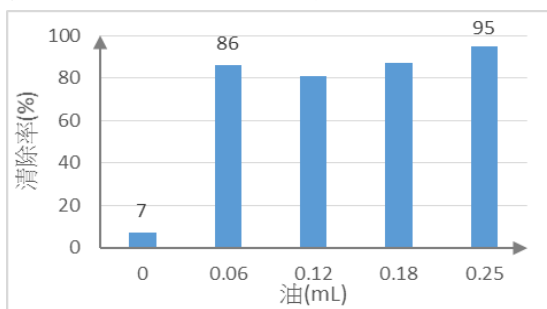
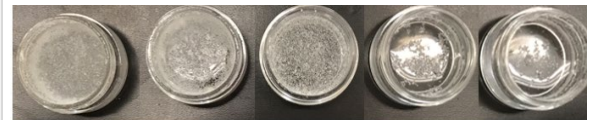


圖 42 PVC(聚氯乙烯)塑膠微粒的清除率



油 0mL 0.06mL 0.12mL 0.18mL 0.25mL

圖 43 PVC(聚氯乙烯)塑膠微粒的清除效果

### 4.LDPE(低密度聚乙烯)塑膠微粒的清除效果

LDPE 塑膠使用油(0.18 mL)以上清除時，可達 98 %清除率。油低於 0.18 mL 清除效果較差約 88~93 %，而未加入油清除也有 6 %清除率。

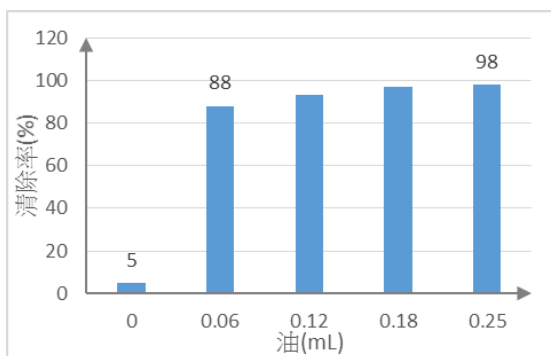


圖 44 LDPE 塑膠微粒清除率



油 0mL 0.06mL 0.12mL 0.18mL 0.25mL

圖 45 LDPE 塑膠清除效果

### 5.PP(聚丙烯)塑膠微粒的清除效果

PP 塑膠使用油(0.18 mL)以上清除時，可達 89 %清除率。油低於 0.18 mL 清除效果較差約 57~82 %，而未加入油清除也有 7 %清除率。



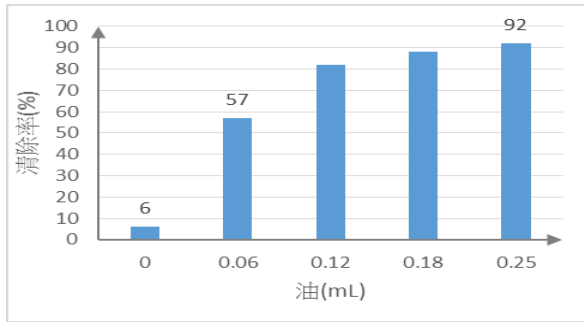
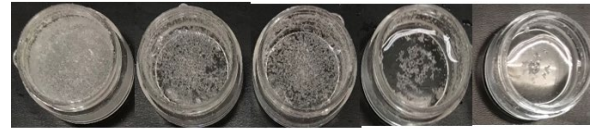


圖 46 PP(聚丙烯)塑膠微粒的清除率



油 0mL 0.06mL 0.12mL 0.18mL 0.25mL

圖 47 PP(聚丙烯)塑膠微粒的清除效果

## 6.PS(聚苯乙烯)塑膠微粒的清除效果

PS 塑膠使用油(0.18 mL)以上清除時，可達 93 %清除率。油低於 0.18 mL 清除效果較差約 81~88 %，而未加入油清除也有 5 %清除率。

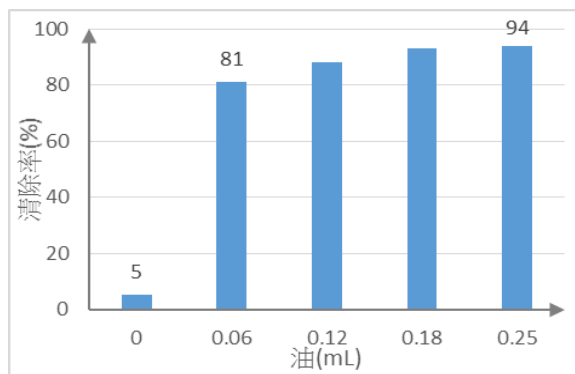


圖 48 PS(聚苯乙烯)塑膠微粒的清除率



油 0mL 0.06mL 0.12mL 0.18mL 0.25mL

圖 49 PS(聚苯乙烯)塑膠微粒的清除效果

塑膠親油使清除率達 92 %，油低於 0.18 mL 清除率較差 69~93 %，而未加油清除率 5 %。

## (二)討論

1.六大類塑膠加入油(0.25 mL)清除可達 92 %~98 %清除率。塑膠的親油性，使塑膠與油會有聚集效果，因此塑膠能夠黏附油而清除。其中 PET、HDPE、LDPE、PS 塑膠的清除效果佳，清除率都有 91 %以上。PVC 和 PP 的清除效果較差，清除率 87 %。

2.未加油也有 5 %清除率，塑膠微粒可以附著磁粉清除。然而油是液體，包覆性比固體好很多，清除效果佳。

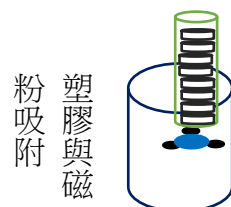


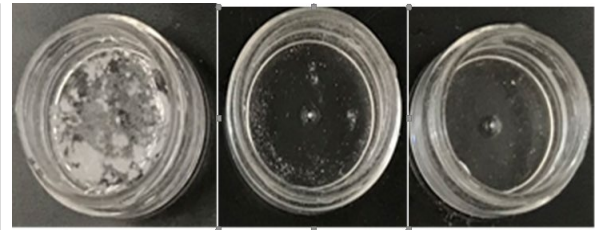
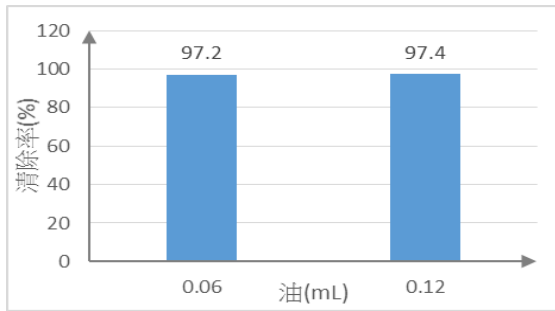
圖 50 清除時沒加油，塑膠粒附著磁粉被吸起

## 九、探討衣物中人工纖維的清除效果

### (一)研究結果

### 1. 聚酯纖維(Polyester fiber)的清除效果:

聚酯纖維的清除率為 97 %。

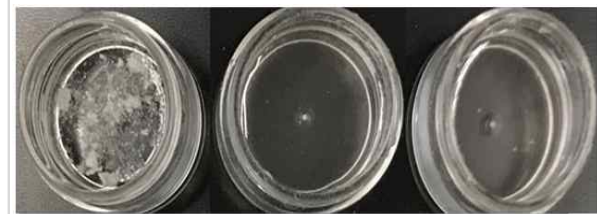
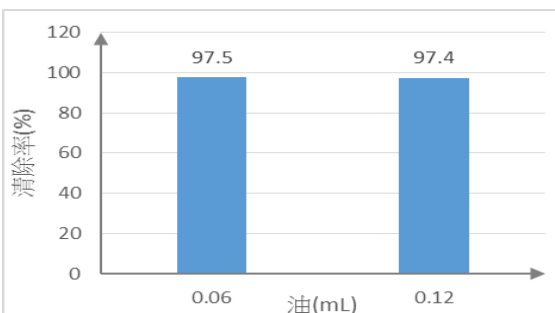


聚酯纖維(清除前) 油 0.06mL 油 0.12mL

圖 51 不同油量對聚酯纖維的清除率

圖 52 聚酯纖維(Polyester fiber)的清除效果

### 2. 聚醯胺纖維(Polyamide fiber)的清除效果:聚醯胺纖維的清除率為 97 %



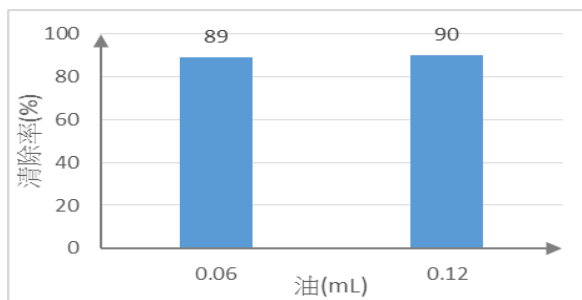
聚醯胺(清除前) 油 0.06mL 油 0.12mL

圖 53 不同油量對聚醯胺的清除率

圖 54 聚醯胺纖維的清除效果

### 3. 尼龍(Nylon)的清除效果

尼龍的清除率為 90 %



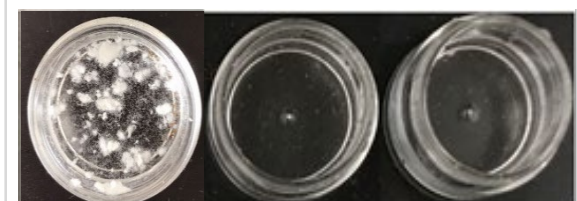
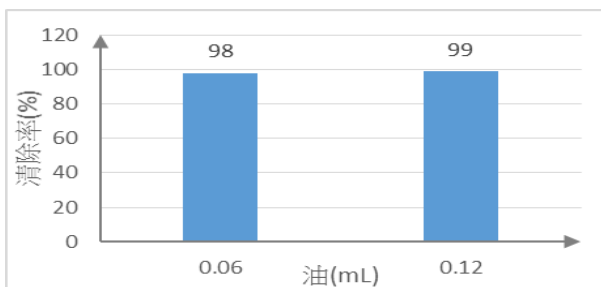
尼龍(清除前) 油 0.06mL 油 0.12mL

圖 55 不同油量對尼龍(Nylon)的清除率

圖 56 尼龍的清除效果

### 4. 聚乙酯纖維(Polyethylene fiber)的清除效果

聚乙酯纖維的清除率為 90 %



聚乙酯(清除前) 油 0.06mL 油 0.12mL

圖 57 不同油量對聚乙酯的清除效果

圖 58 聚乙酯纖維的清除效果

## 5. 嫆綫(Rayon)的清除效果

嫆綫的清除率 97 %。

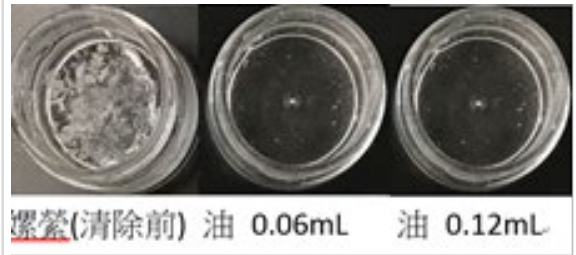
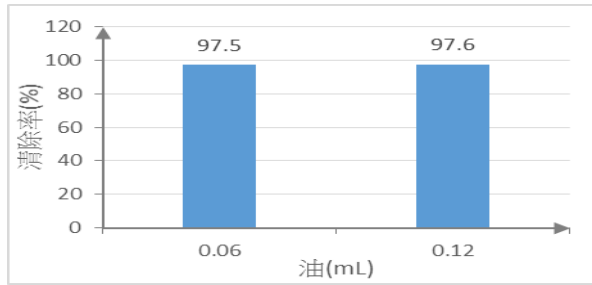
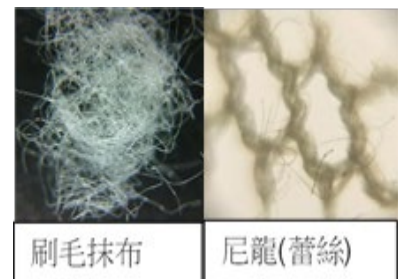


圖 59 不同油量對嫆綫(Rayon)的清除效果 圖 60 嫆綫(Rayon)的清除效果

聚酯纖維、聚醯胺纖維、聚乙酯纖維、嫆綫、尼龍都有 97 %~99 %的清除率。尼龍的清除率略低 90 %。

### (二)討論

**衣物纖維清除率佳。**刷毛的抹布易聚集成團，與油和磁粉附著，清除效果尤佳。以尼龍製成的蕾絲，纖維不易聚集，清除後仍有許多小纖維在水中，不易清理。



刷毛抹布 尼龍(蕾絲)

圖 61 聚醯胺纖維與尼龍

## 十、塑膠微粒清除機

### (一)研究結果

第二版塑膠微粒清除機，改善第一版磁鐵吸附面積小、塑膠微粒黏附、扇葉攪拌不均勻問題。以圓形磁鐵吸起較多塑膠。並以磁石帶動水流攪拌，塑膠微粒不會黏附，且攪拌較均勻。

表 24 塑膠微粒清除機第一版和第二版比較表

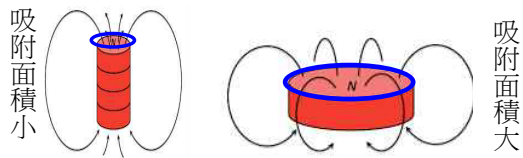
	清除機第一版	清除機第二版
磁鐵	磁鐵棒吸附面積小	圓形磁鐵吸附面積大
黏附	塑膠黏在扇葉上	磁石面積小，攪拌時塑膠不易黏附
攪拌	扇葉攪拌不均，塑膠會殘留杯壁	磁石攪拌均勻，清除較乾淨

勝

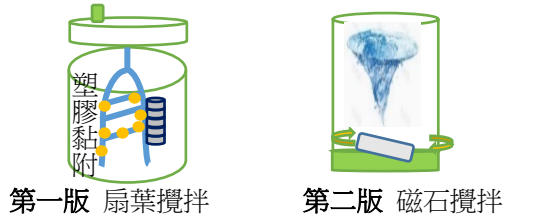
### (二)討論

第二版塑膠微粒清除機，改善第一版清除機 2 個問題:

- 1.磁鐵吸附面積大:磁極吸力最強在兩端，圓形磁鐵較棒狀磁鐵吸附面積大。
- 2.磁石攪拌均勻:扇葉接觸塑膠會黏附，磁石攪拌使水流轉動不黏附塑膠。



第一版棒狀磁鐵 第二版圓形磁鐵  
圖 62 圓形、棒狀磁鐵吸附面積



第一版 扇葉攪拌 第二版 磁石攪拌  
圖 63 扇葉、磁石攪拌機黏附塑膠情形

## 十一、重複利用磁粉與油的方式

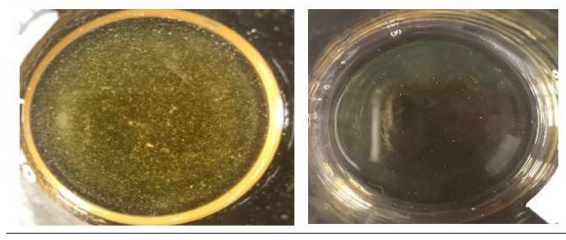
### (一)研究結果

1. **分離磁粉與油:** 隔著燒杯外壁，強力磁鐵能夠將磁粉全部吸起清除，使磁粉與油分離。



分離磁粉與油和塑膠。

圖 64 磁粉與油分離



塑膠微粒分離前(左)分離後(右)差異。

圖 65 塑膠微粒分離前(左)分離後(右)差異

2. **分離油與塑膠微粒:** 以針筒加壓，可以使油通過濾網，將大部分塑膠微粒留在濾網，使油重複使用。

### (二)討論

強力磁鐵隔著燒杯可以吸起磁粉，而能夠成功分離磁粉。油與塑膠微粒，可以藉由濾網分離，但是需要針筒加壓，才能使油經過濾網。此方法能夠將大多塑膠微粒從油中分離。有的塑膠微粒粒徑很小，還會在油中，然而已經可以使大部分的油重複使用。

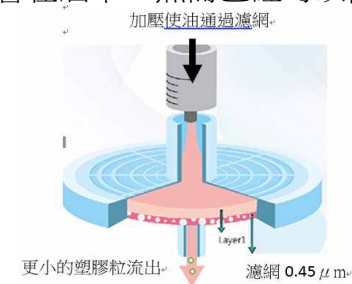


圖 66 濾網過濾塑膠微粒與油

## 捌、研究結論

### 機制與檢測方法

- 1.以塑膠親油性清除，比過去污水處理廠以濾網和砂石過濾法有效
- 2.光譜儀檢測塑膠濃度精準，達0.9高相關

### 變因與最佳條件

- 1.廢機油黏稠，能清除前人研究無法清除的大粒徑塑膠
- 2.找出清除有時間性，以及清除不同粒徑的最佳條件
- 3.找出磁力大小能清除多重塑膠

### 塑膠纖維與清除效果

- 1.六大塑膠和衣物纖維達90%清除率

### 實際應用與創意

- 1.設計出自動化清除機，與發明出重複利用磁粉與油的方式，未來可應用在污水處理廠

- 一、**塑膠親油性清除方法佳**:本研究結合塑膠和磁粉的疏水性來吸油，再用磁鐵去除水中的塑膠微粒。研究機制，觀察到塑膠與油的接觸角較小，表示塑膠親油。油會包覆住磁粉與塑膠，再透過強力磁鐵清除。
- 二、**光譜儀檢測方法精準**:以光譜儀測量清除後塑膠微粒的濃度，吸光度與塑膠濃度為 0.9 高相關。第二版 Webcam 光譜儀，能夠固定光圈，使光強度穩定。
- 三、**廢機油**和食用廢油能廢物利用。因為廢機油最黏稠，能黏附較多塑膠，清除率 93 %。
- 四、**細磁粉**清除效果佳(97 %)。因為粒徑小有較大的表面積與油接觸，能黏附較多塑膠。
- 五、**小塑膠粒輕易清除**。塑膠顆粒越大，需藉由較多油的黏稠性和磁粉清除。
- 六、**時間性**:塑膠粒、磁粉與油的黏附有時間性。大顆粒塑膠粒(1.5 mm、3 mm)超過 0.5 小時，會使清除率下降；塑膠微粒(0.1 mm)，在 3 小時後，清除率仍有 94 %。
- 七、**磁力** 4900 ( $\mu$ T)可以清除 4 (g)塑膠粒，未來污水處理廠可推估，需要用多強的磁力，才能清除塑膠。
- 八、**六大類塑膠與衣物纖維**:可達 90 %以上清除率，且刷毛衣物纖維聚集成團好清除。

- 九、**自動化清除機**:未來應用在廢水處理廠機械能夠自動化清除塑膠，以磁石自動攪拌塑膠微粒、油與磁粉，再以晶片控制馬達使圓形磁鐵升降，吸起塑膠微粒。
- 十、**磁粉與油可重複利用**:以強力磁鐵隔著燒杯可吸起分離磁粉。以濾網分離油與塑膠，可使大部分的油重複使用。

## 玖、參考文獻

1. 翰林出版社(2018)。自然與生活科技教學指引(三上)奇妙的磁鐵。台北：翰林出版社。
2. 翰林出版社(2018)。自然與生活科技教學指引(三上)－溶解。台北：翰林出版社。
3. 康軒出版社(2018)。自然與生活科技教學指引(六上)－電磁作用。台北：康軒出版社。
4. 李姍姍、吳宗鏞(2014)。河川中的彩虹光譜－製作行動光譜儀分析河川水色。第54屆全國科展作品。
5. 林筱彤、陳芊卉(2016)。自製光譜儀完全攻略。第56屆全國科展作品。
6. Jillian E. Avila (2018). The Removal of Microplastics in Ocean Water Using Homemade Filters.
7. Fionn Ferreira (2019). An investigation into the removal of microplastics from water using ferrofluids. Google science fair.

## 【評語】 082928

本研究以愛爾蘭青年 Fionn Ferreira 以鐵磁液體成功抽取水中系統中塑膠微粒之新穎技術為例，亦即利用塑膠材料低表面能的疏水/親油特性及黏稠油體對磁鐵粉的包覆能力，再用磁鐵粉有效率地去除水中的塑膠微粒與大尺寸顆粒塑膠粒。由於現今科學家已發現，塑膠微粒分布於水系統內之問題嚴重，此研究屬於時事環保/民生議題，然而研究成果雖已可有效快速回收塑膠微粒，但恐有產生二次廢棄物之問題，可進行延伸性研究探討吸附後之塑膠微粒/油/磁鐵粉系統之再處理可能性。

# 壹、摘要

海洋塑膠微粒污染嚴重，目前汙水處理廠無法過濾塑膠微粒。本研究結合塑膠和磁粉的親油性來吸油，再用磁鐵去除水中的塑膠微粒。以光譜儀分析塑膠清除率，研究發現廢機油較黏稠、細磁粉被油包覆面積大、塑膠粒徑越小，越易清除。磁力4900 ( $\mu T$ )可清除4克塑膠。研究發現不同塑膠粒徑最佳清除條件，半小時內清除塑膠大粒徑1.5 mm最佳。6大塑膠以及衣物纖維清除率97%。相較於汙水處理廠的過濾方式，更有效清除塑膠。並設計自動清除機，以及重複利用磁粉的方式，未來可以應用在廢水處理廠。

# 貳、研究動機

自然課「溶解」單元，觀察到塑膠親油性容易與油結合，且油會包覆磁粉，利用強力磁鐵吸起能夠快速清除塑膠。而前人研究提到大塑膠清除效果不佳。於是我們開始測試變項提升清除效果。

# 參、研究目的

- 一、測試清除塑膠微粒的機制
- 二、設計光譜儀測量塑膠微粒濃度
- 三、探討油種類、磁粉粒徑、不同塑膠粒徑、吸附時間、磁力大小對塑膠微粒的清除效果
- 四、探討不同種類塑膠、人工纖維衣物的清除效果
- 五、製作清除塑膠微粒機
- 六、重複利用磁粉與油的方式

# 肆、文獻探討

表1 文獻探討

前人研究				本研究相異點
作者	研究結果	引用	研究限制	
Fionn Ferreira (2019)	塑膠親油清除機制	清除機制	1. 無法清除大塑膠 2. 未解決使用後油和磁粉的處理方式 3. 以人工方式清除，缺乏快速清除儀器	1. 廢機油能清除大粒徑塑膠。 2. 機制以黏附方式清除。發現清除有時間性、不同粒徑塑膠、磁力大小會影響效果 3. 重複利用的方式 4. 自動化清除機快速清除塑膠
Arden Warner (2010)	以磁粉黏附清除海上漏油	原油黏稠易與磁粉結合		

# 伍、研究架構

研究分為4個部分 1. 機制與檢測方法。比較塑膠親油性方式清除比傳統砂石過濾有效。並以光譜儀測量塑膠清除率，檢量線表示能精準反映清除結果。2. 變因與最佳條件。塑膠具有親油性，測試油的黏稠性、磁粉粒徑的包覆情形是否影響效果。研究以黏附的方式清除塑膠，而塑膠有重量會掉落，對於不同粒徑塑膠，吸附時間多長，以及需要用多少磁力才能清除，我們找出最佳條件。3. 測試六大類塑膠纖維與衣物纖維的清除效果。4. 未來要應用在汙水處理廠，製作自動化清除機，以及重複利用磁粉與油方式。

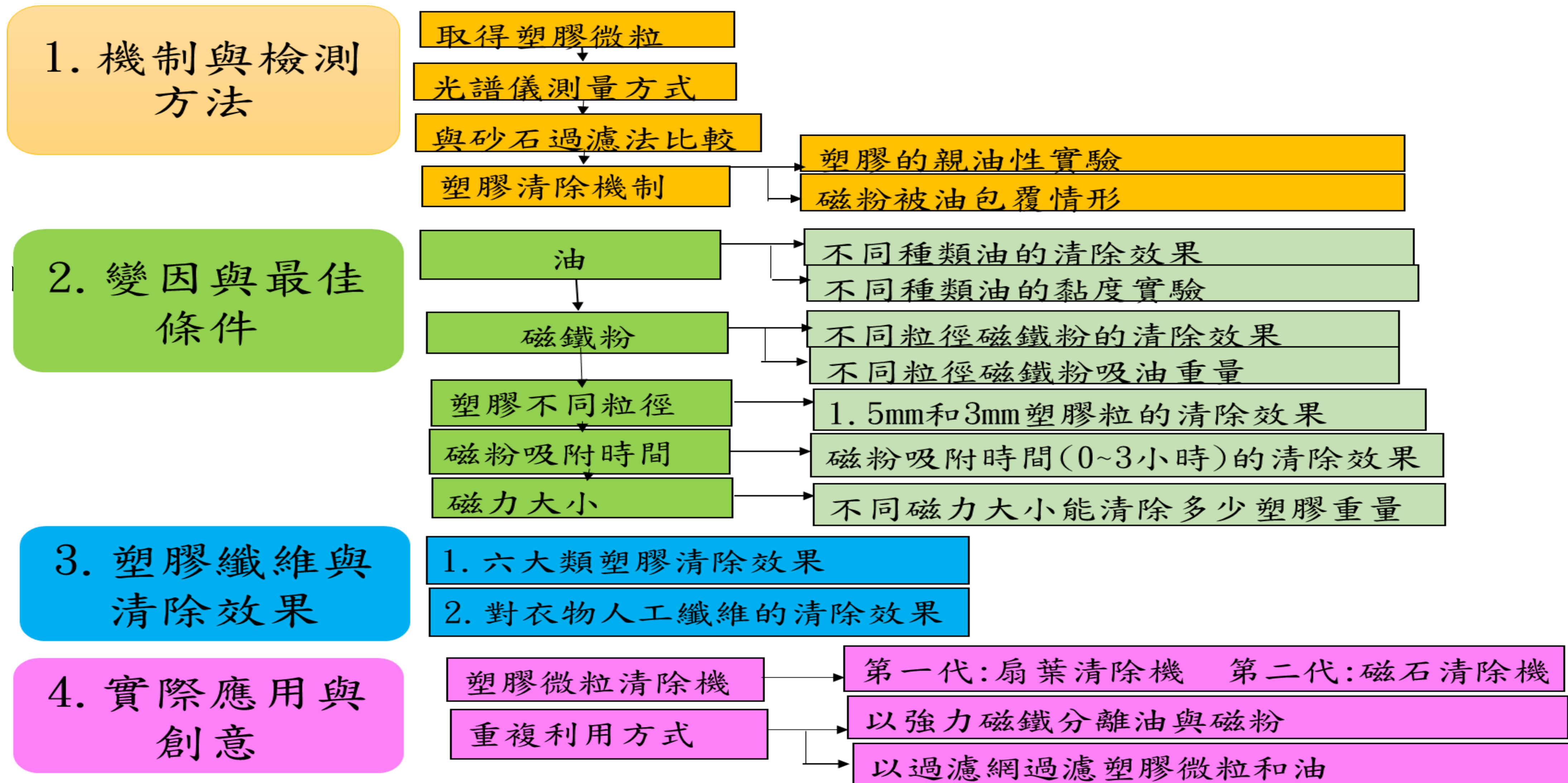
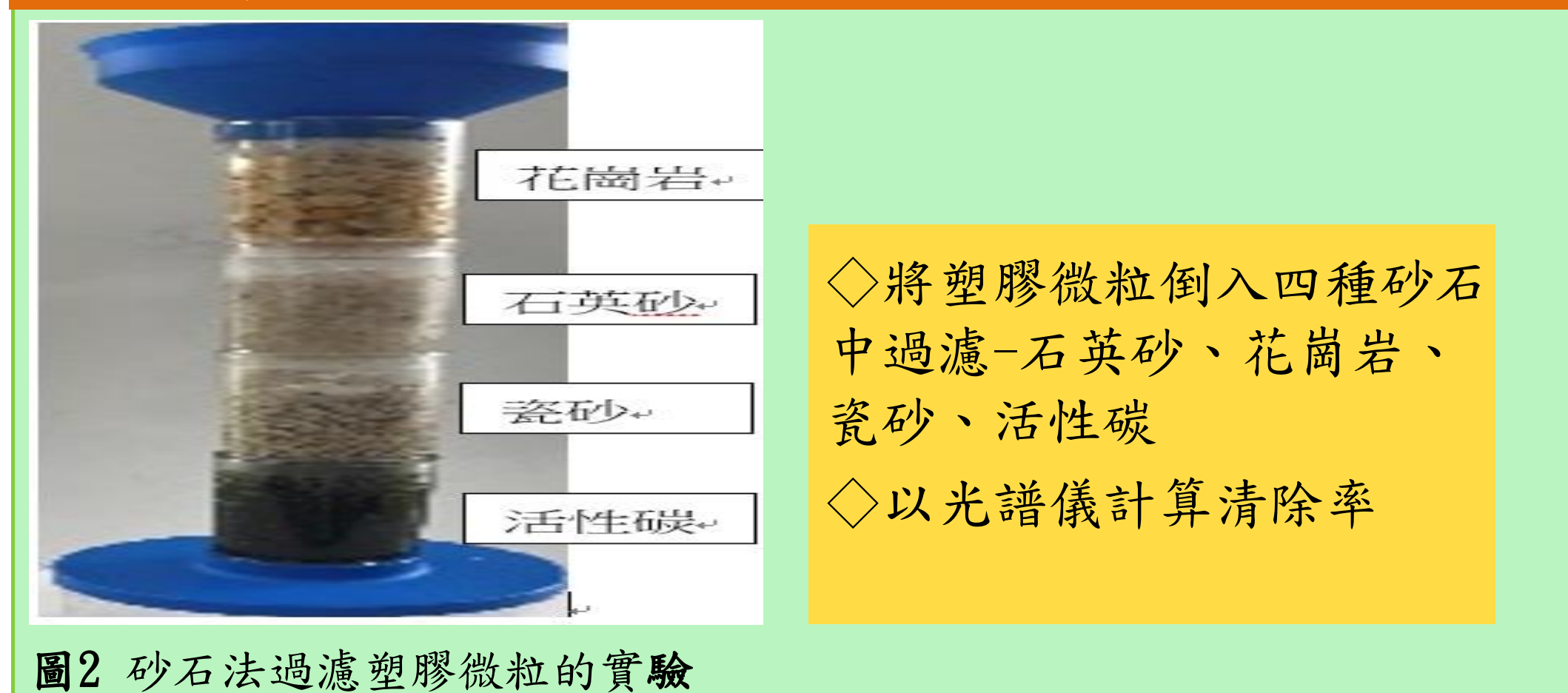


圖1 研究架構

# 陸、研究方法

## 一、機制與檢測方法

### (一) 砂石過濾法



### 清除塑膠微粒的步驟

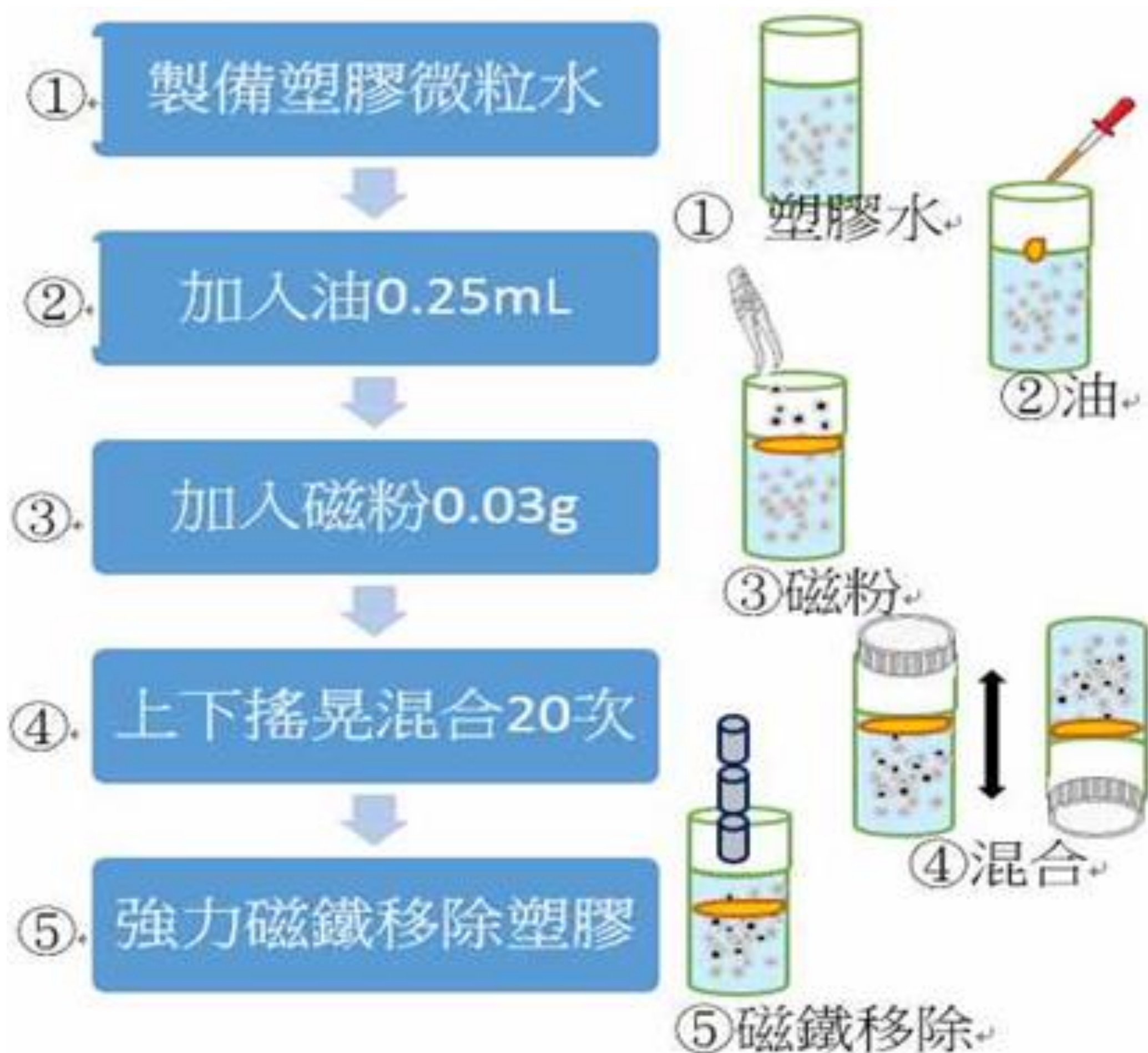
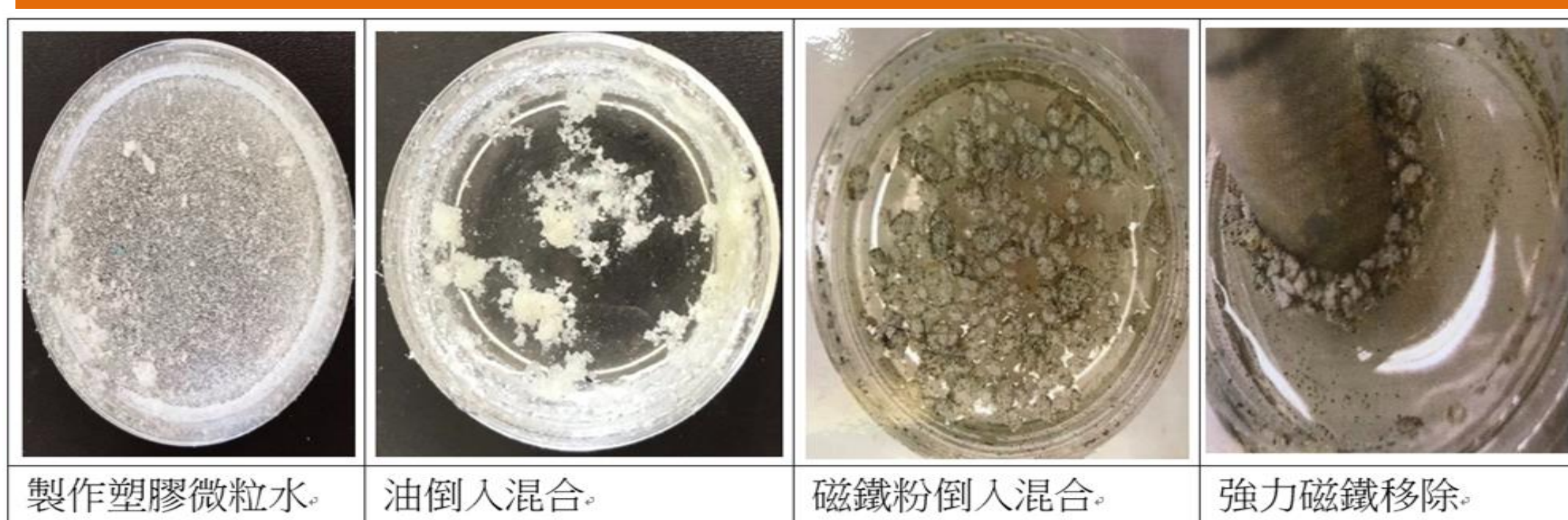


圖3 清除塑膠微粒步驟



### (三) 光譜儀測量水中塑膠微粒濃度

**光譜儀設計** 第一版手機光譜儀，改善環境光源、過曝、位移等問題。  
第二版webcam光譜儀，拍照時能固定光圈，使光強度穩定。

表2 光譜儀第一版和第二版比較表(光譜儀感謝科學maker提供)

	手機光譜儀第一版	Webcam 光譜儀第二版
設計圖		
問題	影像過曝 光譜漏光	Webcam 會晃動，焦距跑掉
修正	調整光源 黏土避免環境光干擾	以螺絲固定 Webcam 鏡頭與光譜儀

## 二、變因與最佳條件

### (一) 探討油與塑膠微粒的清除效果

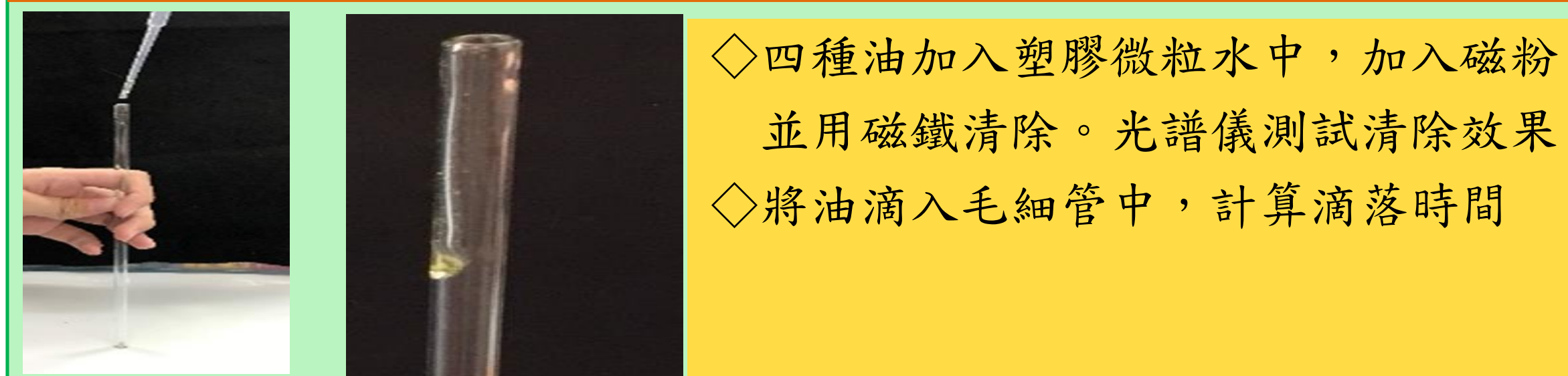


圖4 油的黏稠度實驗

- ◇ 四種油加入塑膠微粒水中，加入磁粉並用磁鐵清除。光譜儀測試清除效果
- ◇ 將油滴入毛細管中，計算油滴時間

### (二) 探討磁力對清除效果的影響



圖5 不同磁力清除效果

## 三、塑膠纖維與清除效果

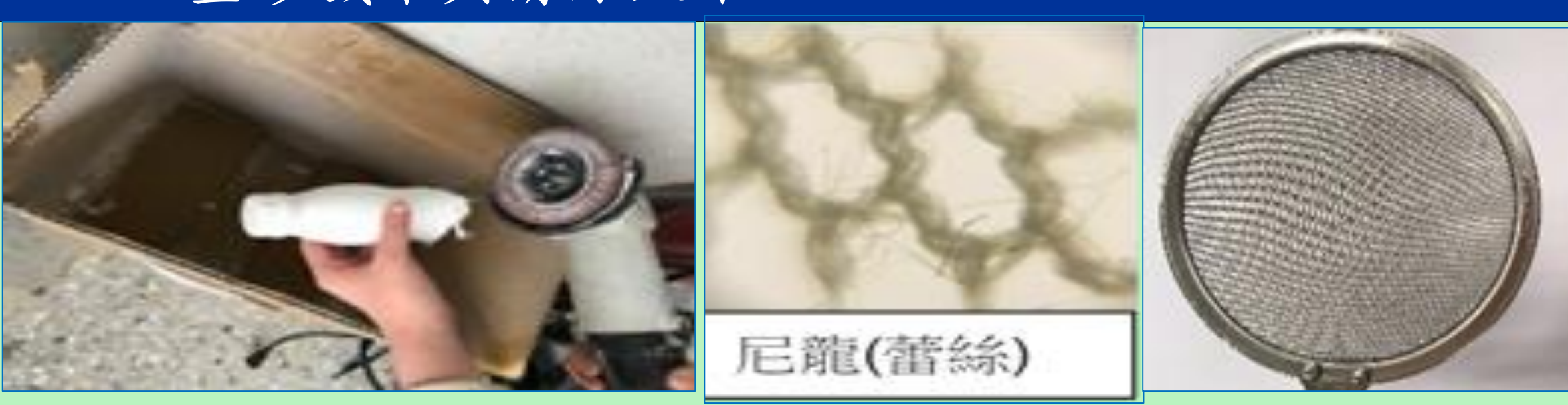


圖6 六大類塑膠以磨砂機磨粉，衣物纖維剪成1mm，再以篩網過濾

## 四、實際應用與創意

### (一) 塑膠微粒自動化清除機

第一版以扇葉攪拌，扇葉綁強力磁鐵清除。第二版，以磁石攪拌杯攪動，上方以晶片控制使圓形磁鐵清除塑膠。塑膠易與磁粉混合。且圓形磁鐵吸附面積大，只要一次就能全部清除

表3 塑膠微粒清除機第一版和第二版比較表

	清除機第一版	清除機第二版
磁鐵	磁鐵棒吸附面積小	圓形磁鐵吸附面積大
黏附	塑膠黏在扇葉上	磁石面積小，攪拌時塑膠不易黏附
攪拌	扇葉攪拌不均，塑膠會殘留杯壁	磁石攪拌均勻，清除較乾淨

### (二) 重複利用磁粉與油的方式



圖7 分離磁粉與油和塑膠的方式

- ◇ 隔著燒杯使用強力磁鐵分離磁粉。
- ◇ 以針筒加壓經濾網 (0.45 μm)，過濾0.1mm塑膠。能使油和塑膠分離

## 柒、研究討論

### 一、機制與檢測方法

**砂石過濾** 砂石過濾效果約47~65%，清除效果不佳。因此，我們以塑膠親油性清除

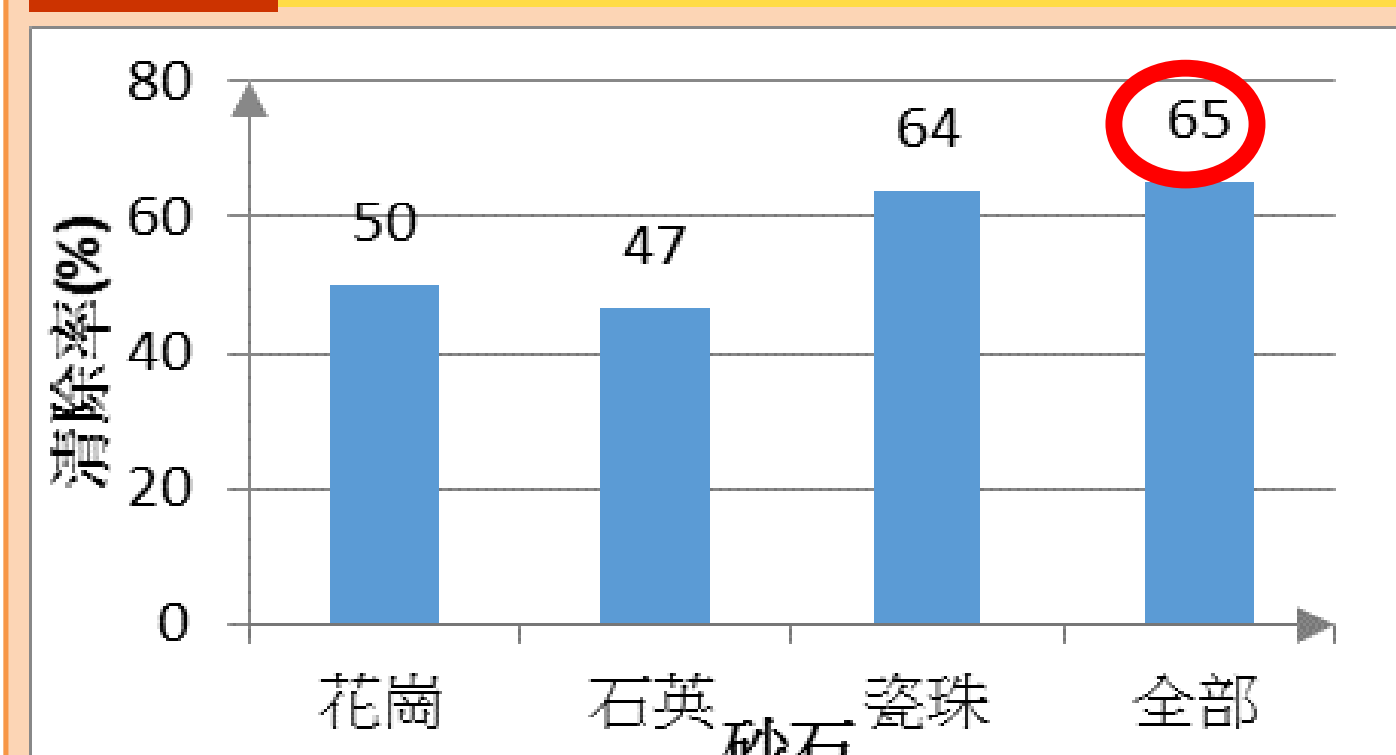


圖8 不同砂石對塑膠的清除率

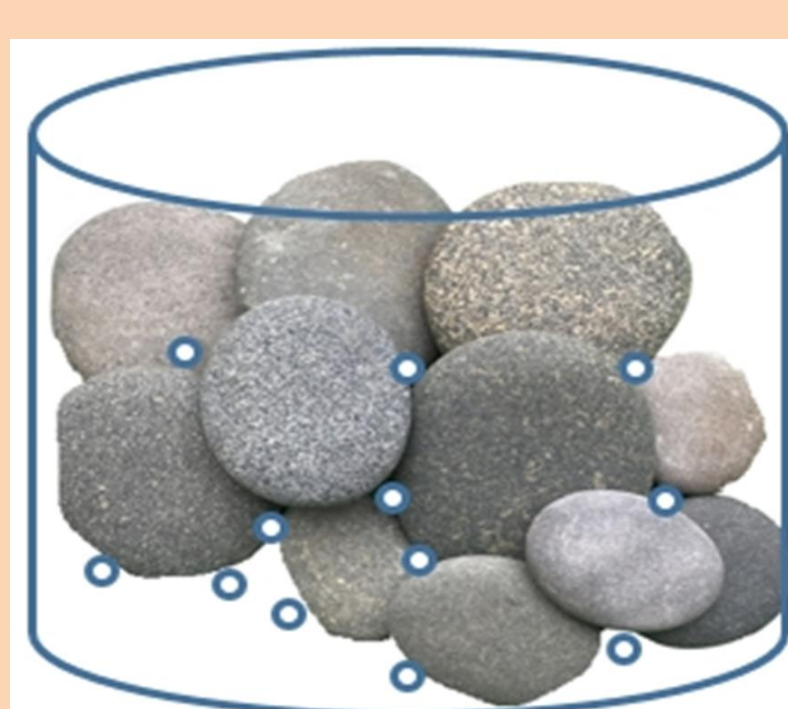


圖9 砂石孔隙太大

### 塑膠親油

塑膠與油接觸角小，表示塑膠親油。觀察磁粉在油和水中的分散情形，發現磁粉被油包覆。

### 磁粉被油包覆



圖10 油珠和水珠與塑膠的接觸角

圖11 磁粉被油包覆

### 光譜數值計算

六大塑膠濃度與光強度為0.9高相關，可以推論清除後塑膠微粒濃度。

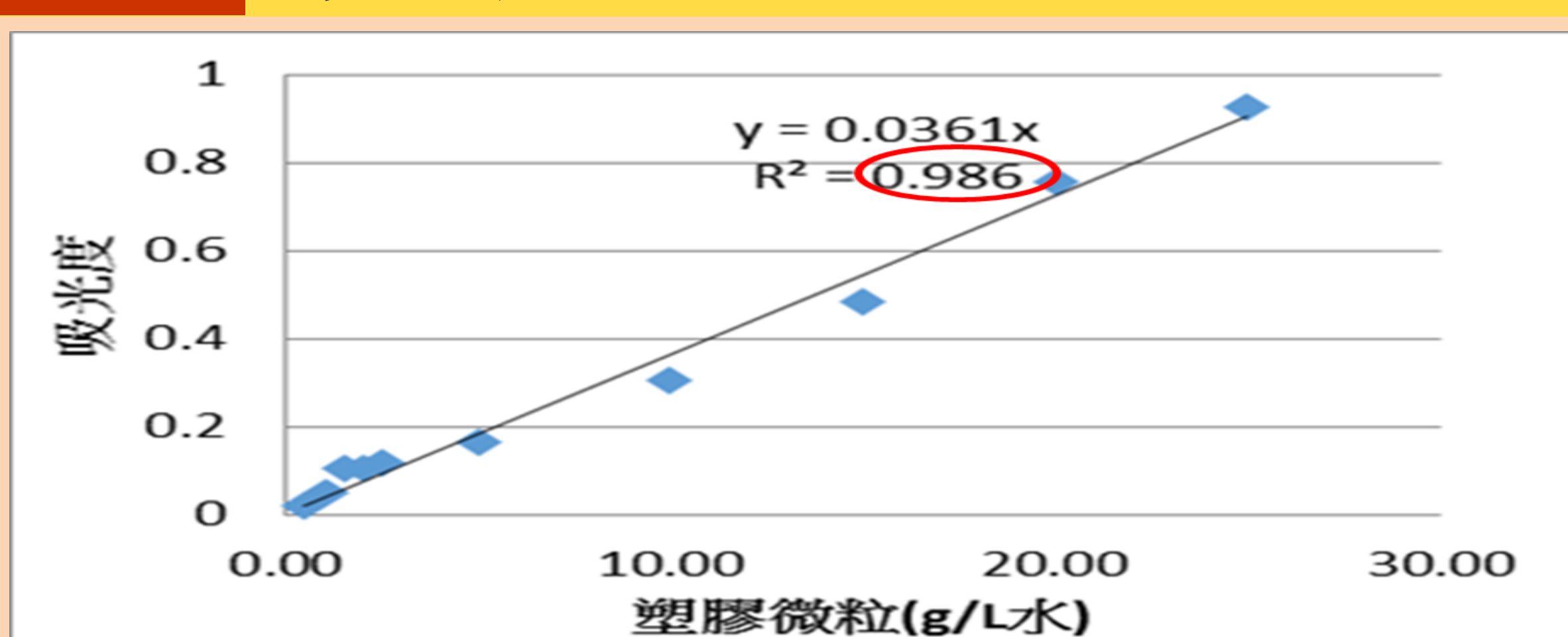


圖12 PET(1號)塑膠微粒濃度與吸光度

## 二、變因與最佳條件

**油清除率與黏稠度** 廢機油清除率最高、最黏稠，針車油最差。機油親塑膠且黏稠的特性，黏附較多塑膠

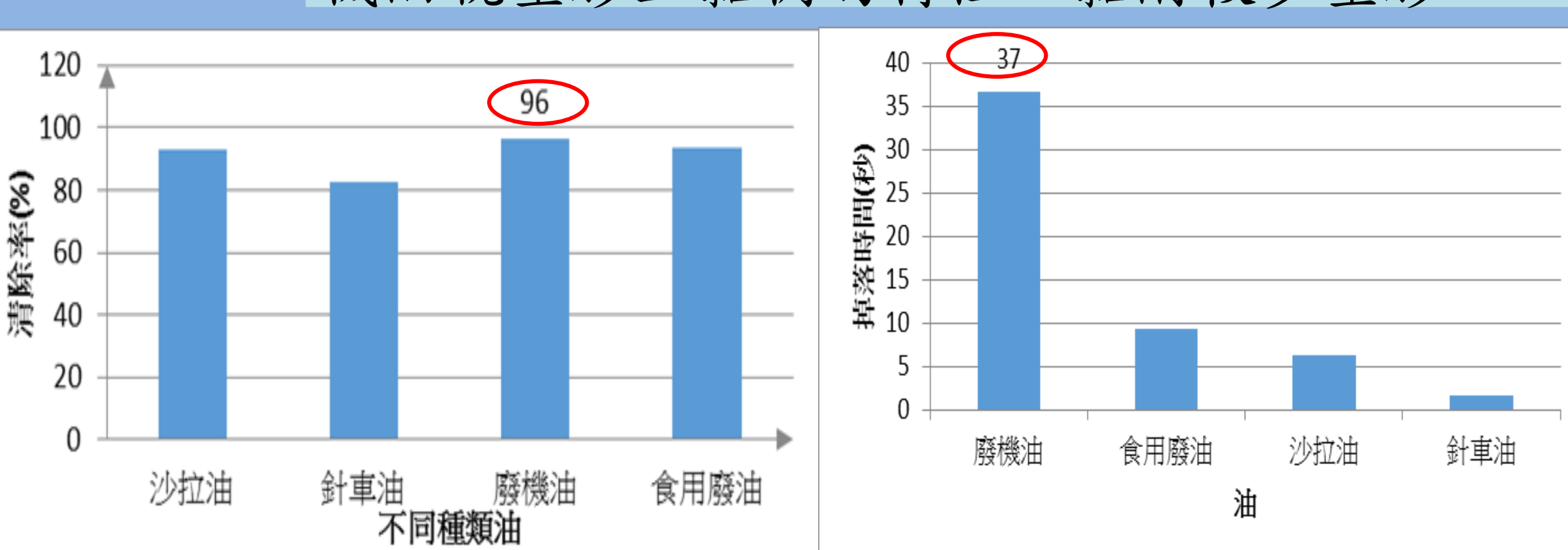


圖13 不同種類油對塑膠的清除效果

圖14 不同種類油的掉落時間

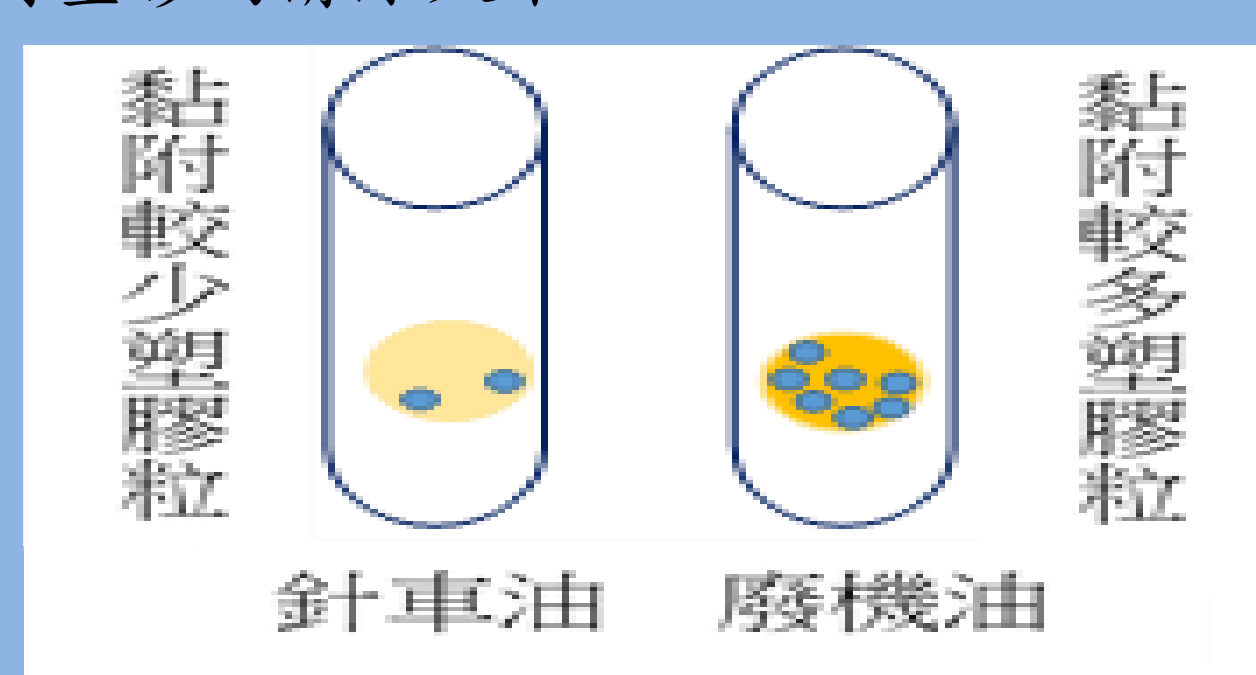


圖15 廢機油黏稠吸附塑膠粒多

### 磁粉的清除率與吸油重

**細磁粉** 清除率高，較粗磁粉能吸起較多油，因為顆粒較小，有較大的表面積與油接觸，能黏附較多塑膠

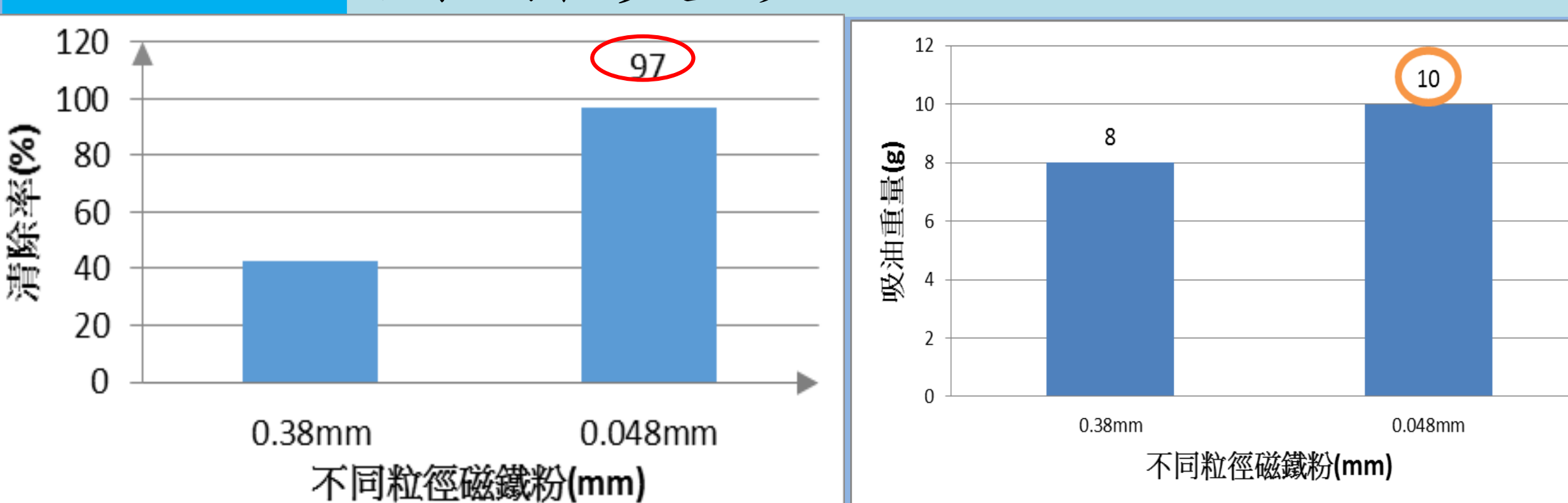


圖16 不同粒徑磁粉的清除效果

圖17 不同粒徑磁鐵粉的吸油重量

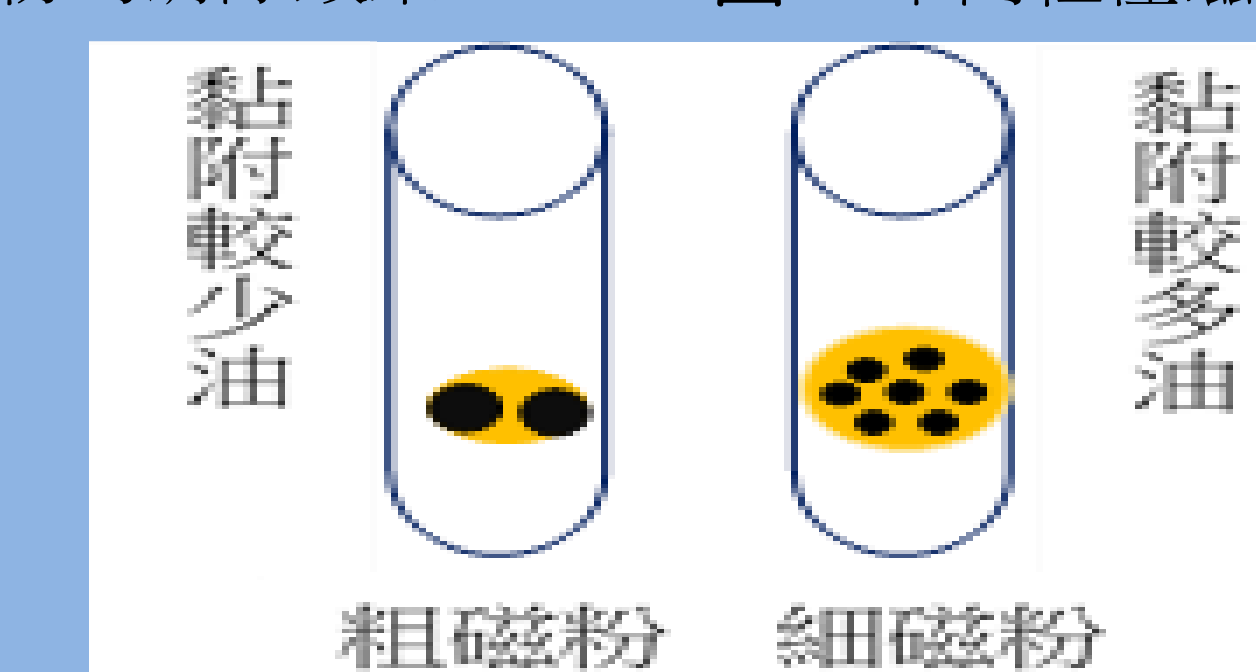


圖18 細磁粉表面積大，黏附油多

### 塑膠不同粒徑

小顆塑膠重量輕易清除(油0.18mL)，少量油黏附就能清除，大顆粒需要較多油黏附才完全清除(油0.25 mL)。

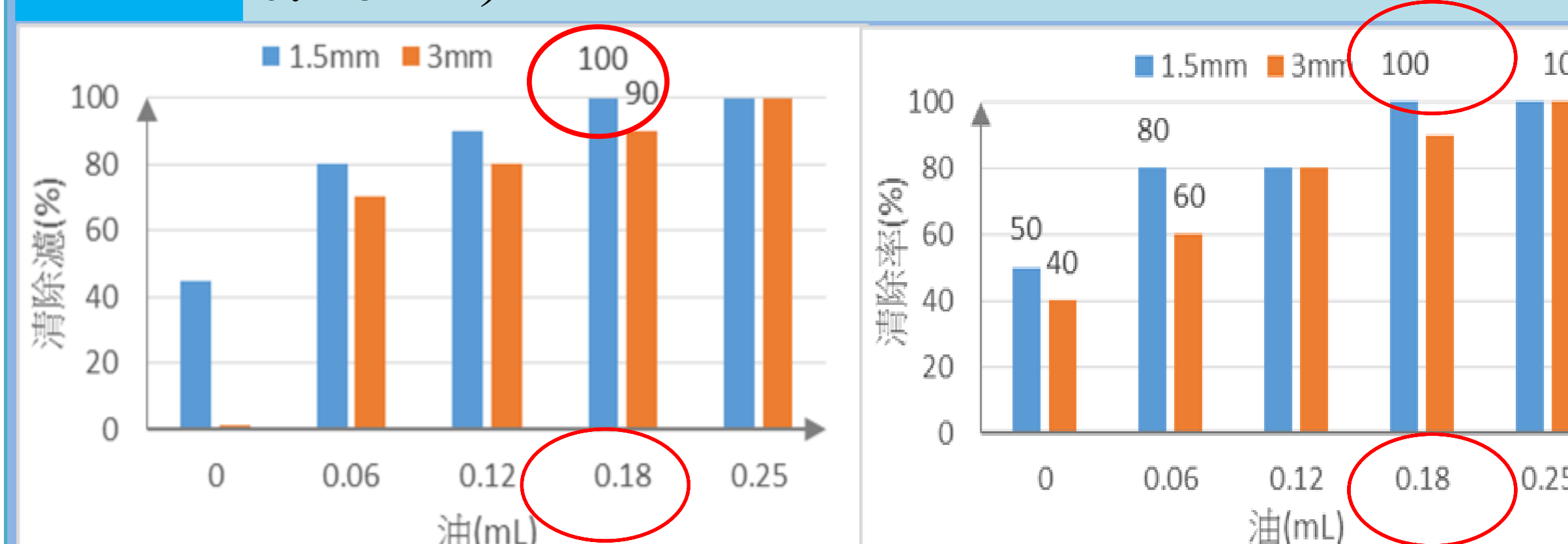


圖19 PET塑膠不同粒徑的清除率

圖20 HDPE塑膠不同粒徑清除率

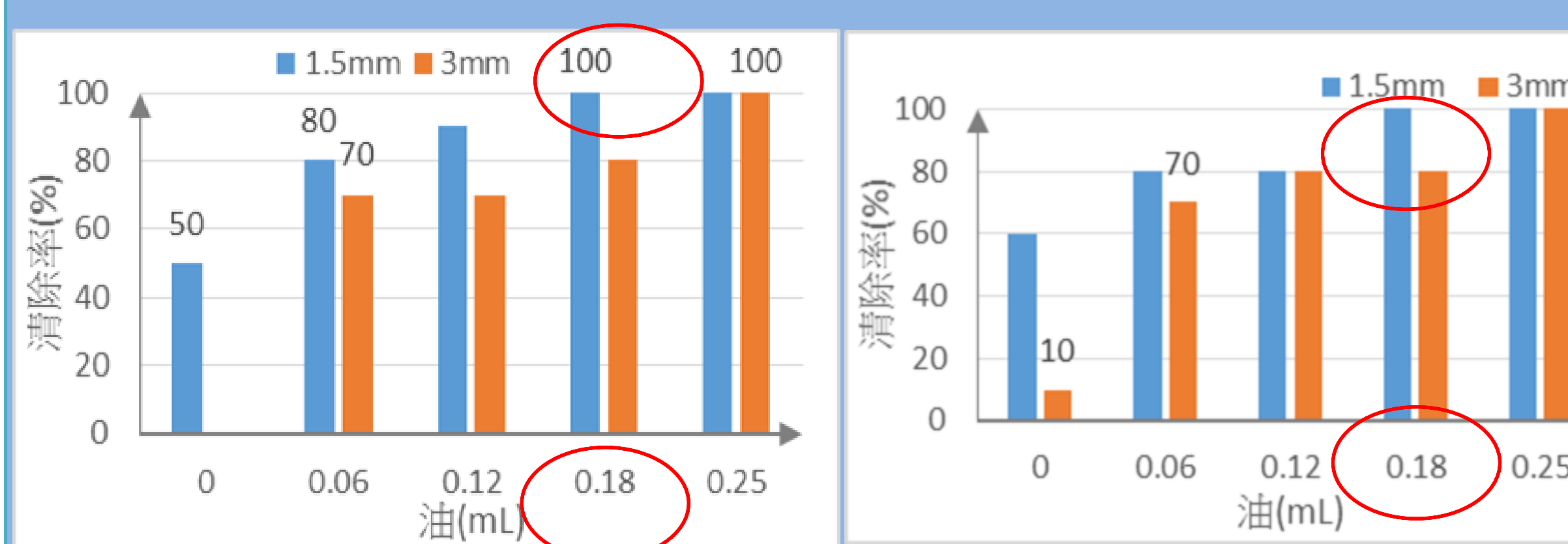


圖21 PVC 塑膠不同粒徑的清除率

圖22 LDPE 塑膠不同粒徑的清除率

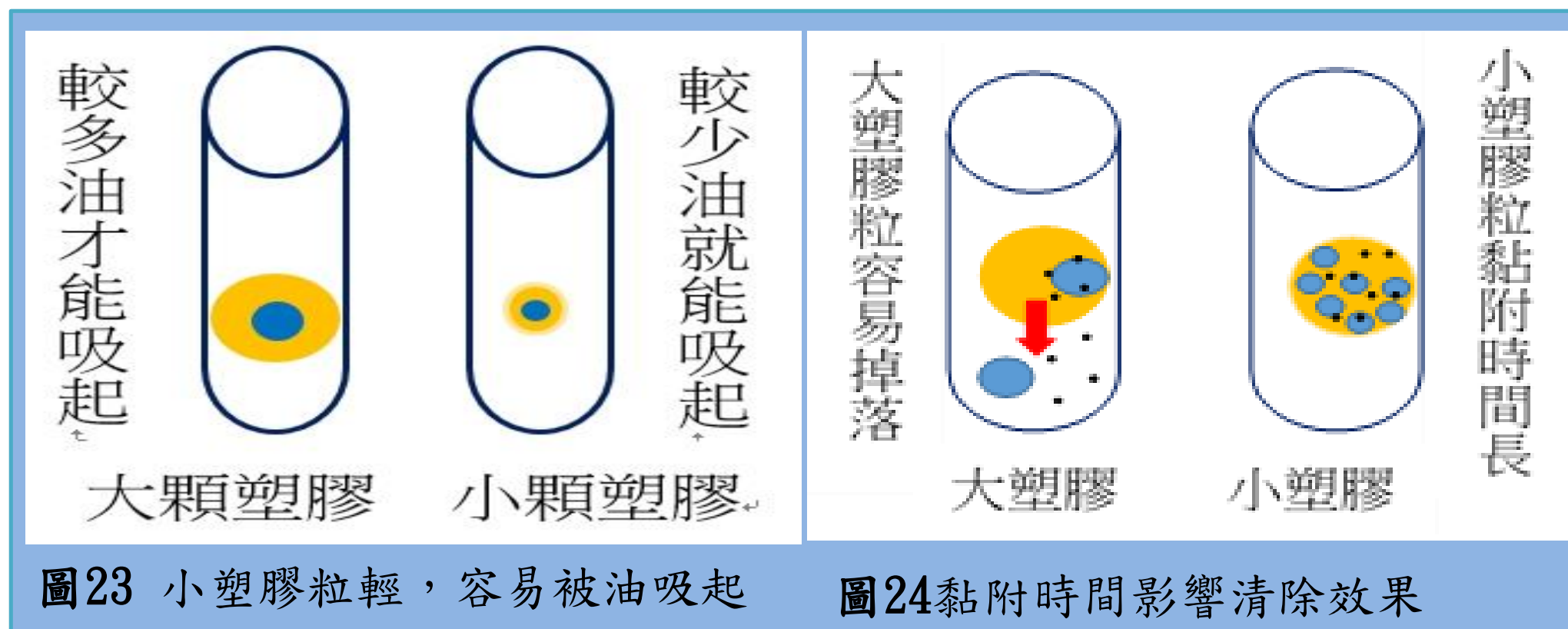


圖23 小塑膠粒輕，容易被油吸起 圖24黏附時間影響清除效果

### 三、塑膠纖維與清除效果

不同塑膠 六大類塑膠再加入油(0.18mL)清除率90%。塑膠的親油性，塑膠能夠黏附油而清除。

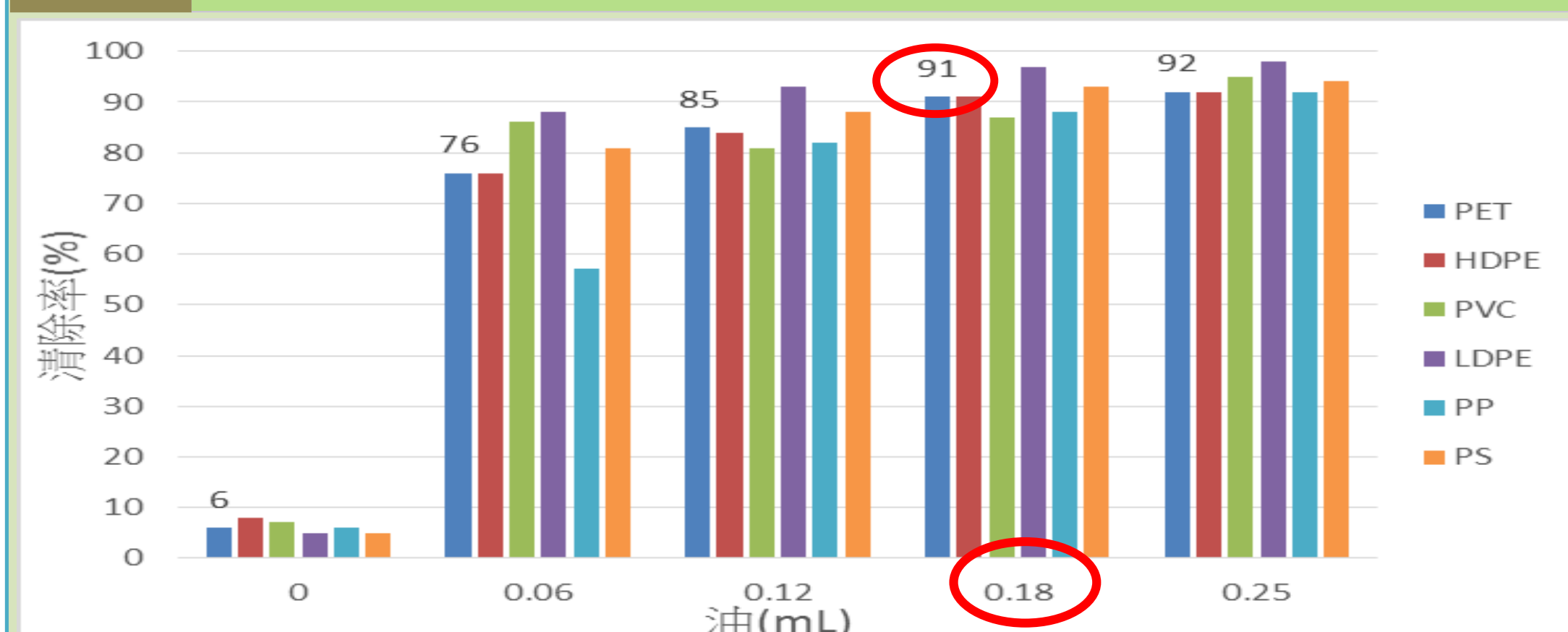


圖27六大塑膠加入不同油的清除效果

吸附時間 塑膠(0.1mm)3小時後的清除率94%。塑膠粒1.5mm半小時後，清除率90%，1小時後下降為60%。

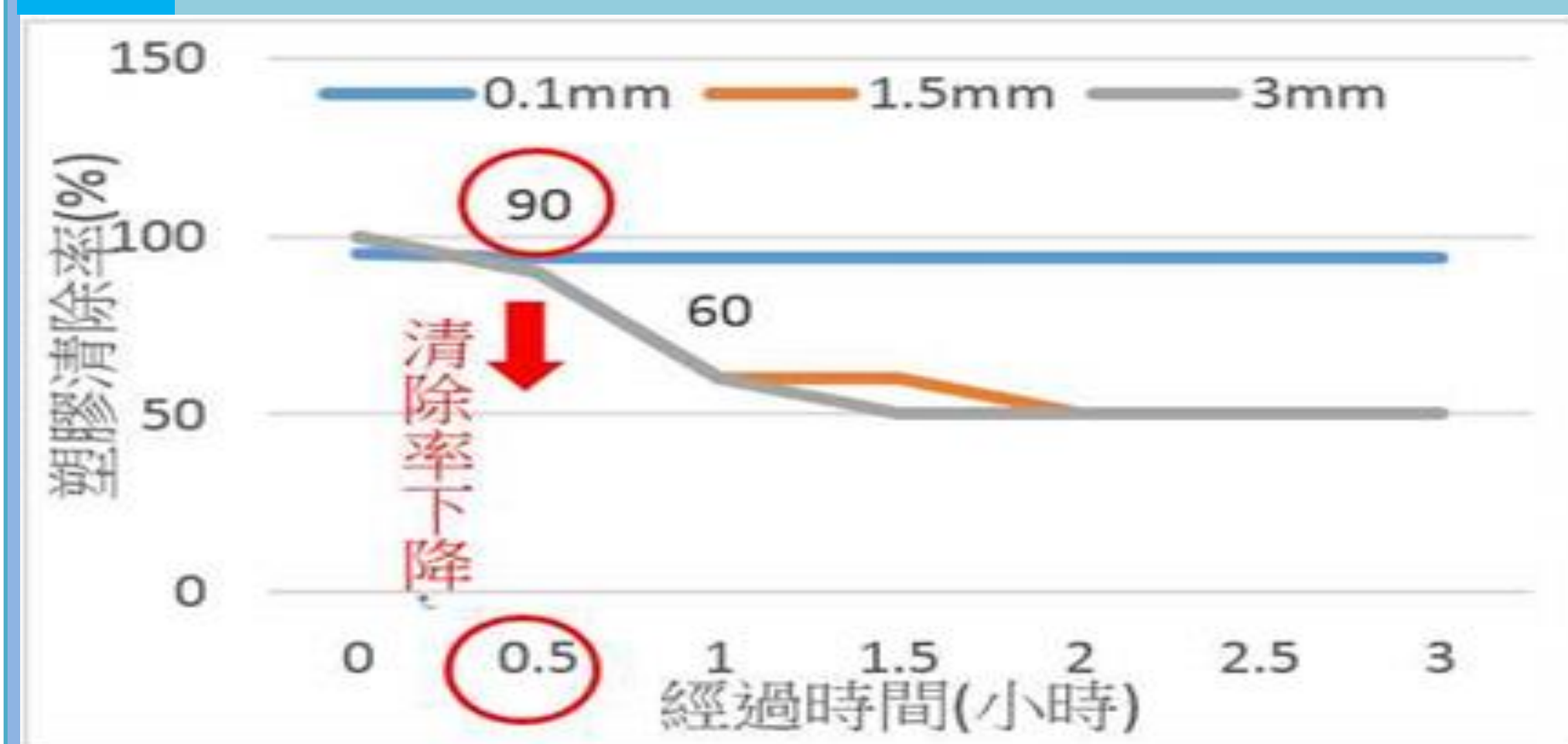


圖25塑膠粒黏附磁粉時間影響清除效果

人工衣物 塑膠清除衣物的纖維，此方法有良好清除率約97%~99%。其中刷毛抹布，易聚集成團，與油和磁粉附著，清除效果佳

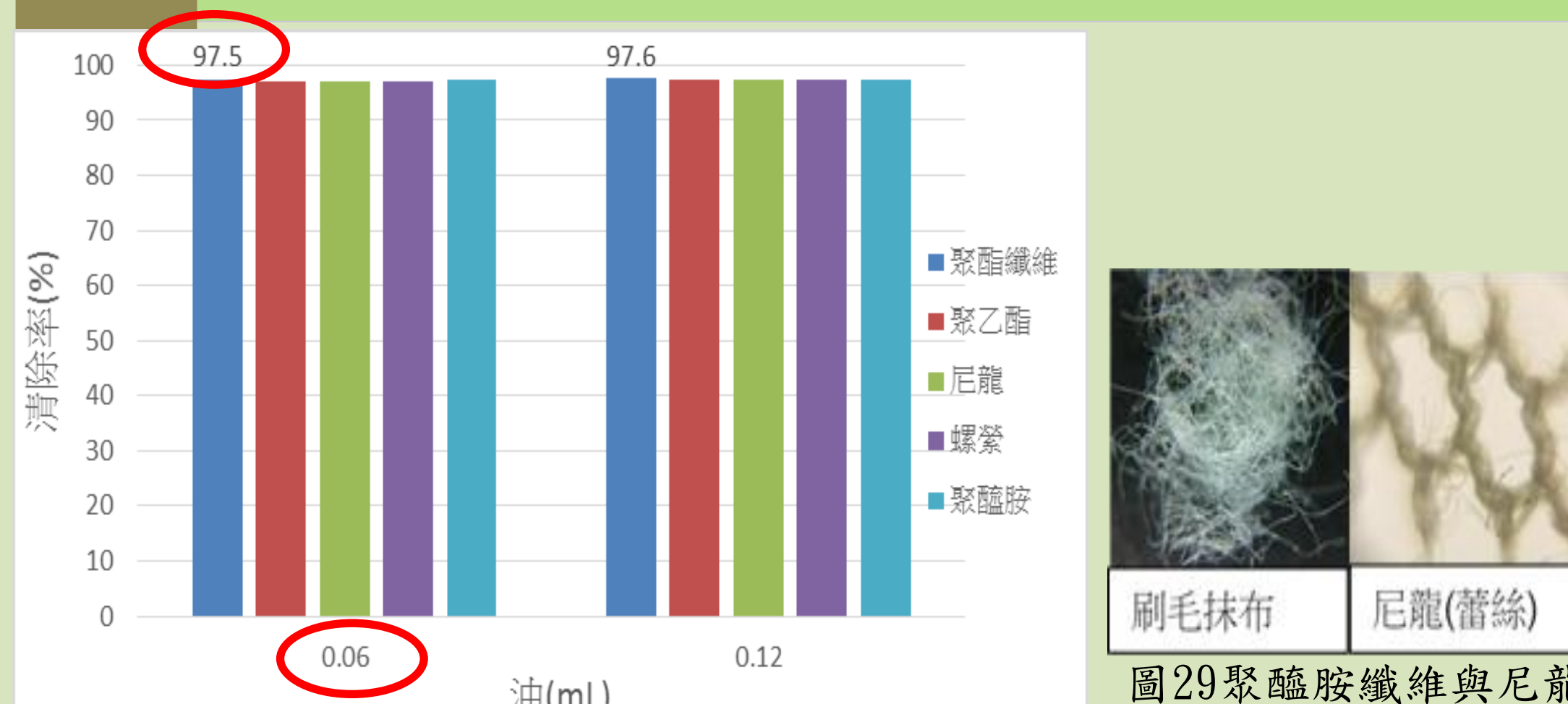


圖28 不同衣物纖維的清除效果

最佳條件 0.1mm塑膠3小時內清除，1.5mm以上塑膠0.5小時清除。小粒徑少量油(0.18g)、磁粉(0.03g)黏附就能清除。

表 18 不同塑膠粒徑清除的最佳條件

條件	塑膠粒徑	0.1mm	1.5mm	3mm
清除時間	3小時以內	久	0.5小時	0.5小時
油(種類/克數)	廢機油	0.18g	0.18g	0.25g
磁粉(種類/克數)	細磁粉(0.048mm)	少 0.03g	細磁粉(0.048mm)	細磁粉(0.048mm) 多 0.06g

### 四、實際應用與創意

清除機 1. 磁鐵吸附面積大: 圓形磁鐵較棒狀磁鐵吸附面積大  
2. 磁石攪拌均勻: 扇葉接觸塑膠會黏附，磁石攪拌使水流轉動不黏附塑膠

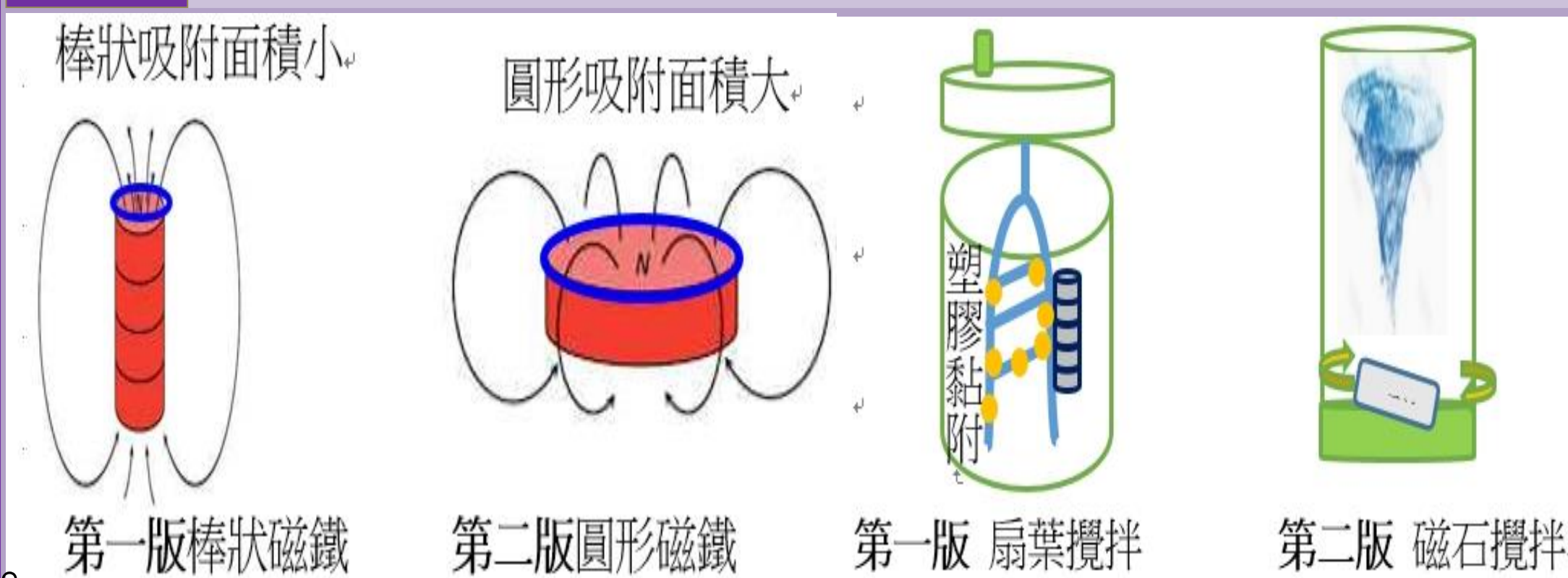


圖30 圓形、棒狀磁鐵吸附面積

圖31 扇葉、磁石攪拌機黏附塑膠情形

磁力大小 磁力4900(μT)可以清除4(g)塑膠粒。磁力48(μT)清除0.1(g)塑膠粒，只有60%清除率。

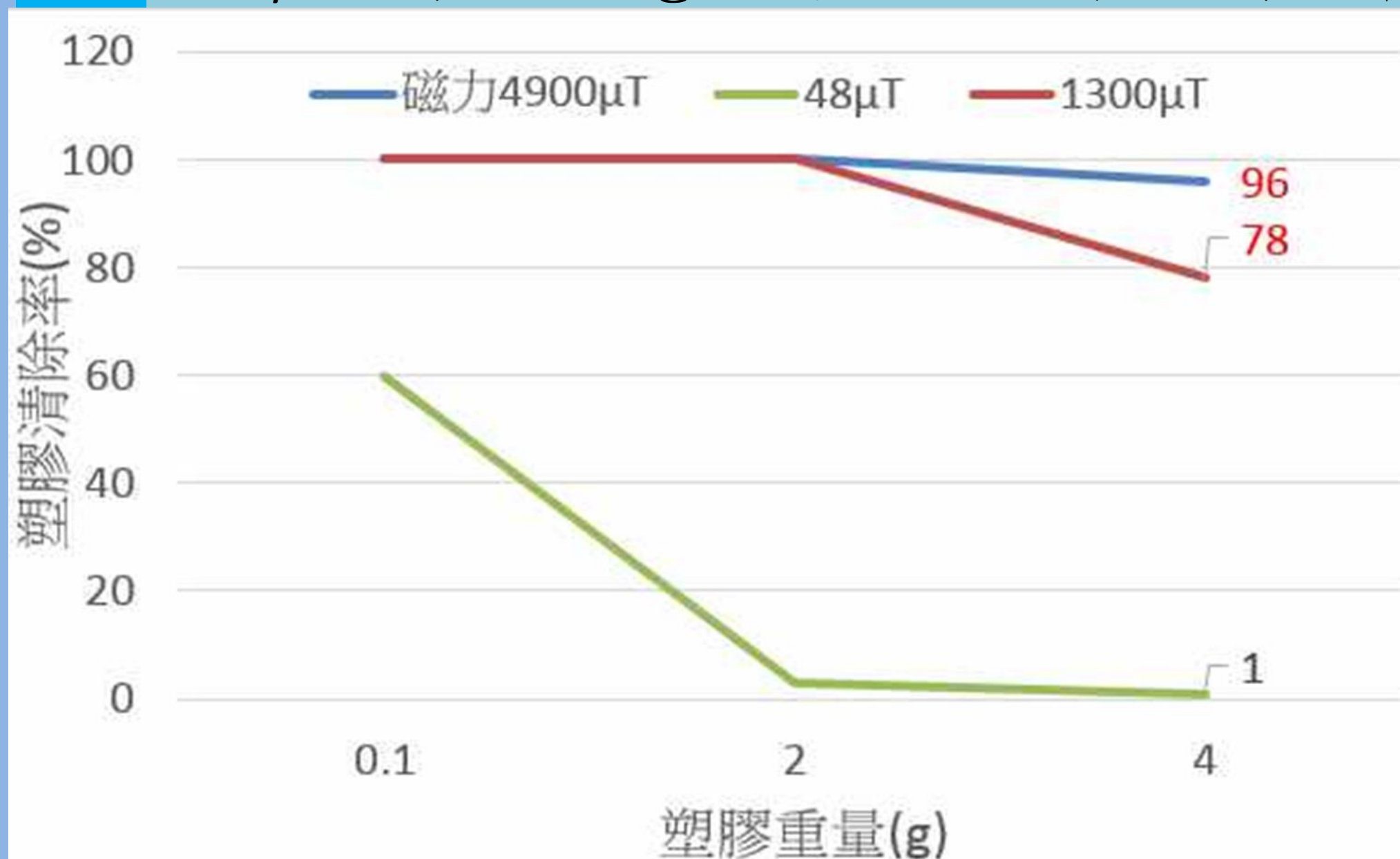


圖26 不同磁力對清除塑膠重量的效果

重複利用 1. 隔著燒杯使用強力磁鐵分離磁粉。  
2. 以針筒加壓經濾網(0.45 μm)，過濾0.1mm的塑膠微粒。能使油和塑膠分離

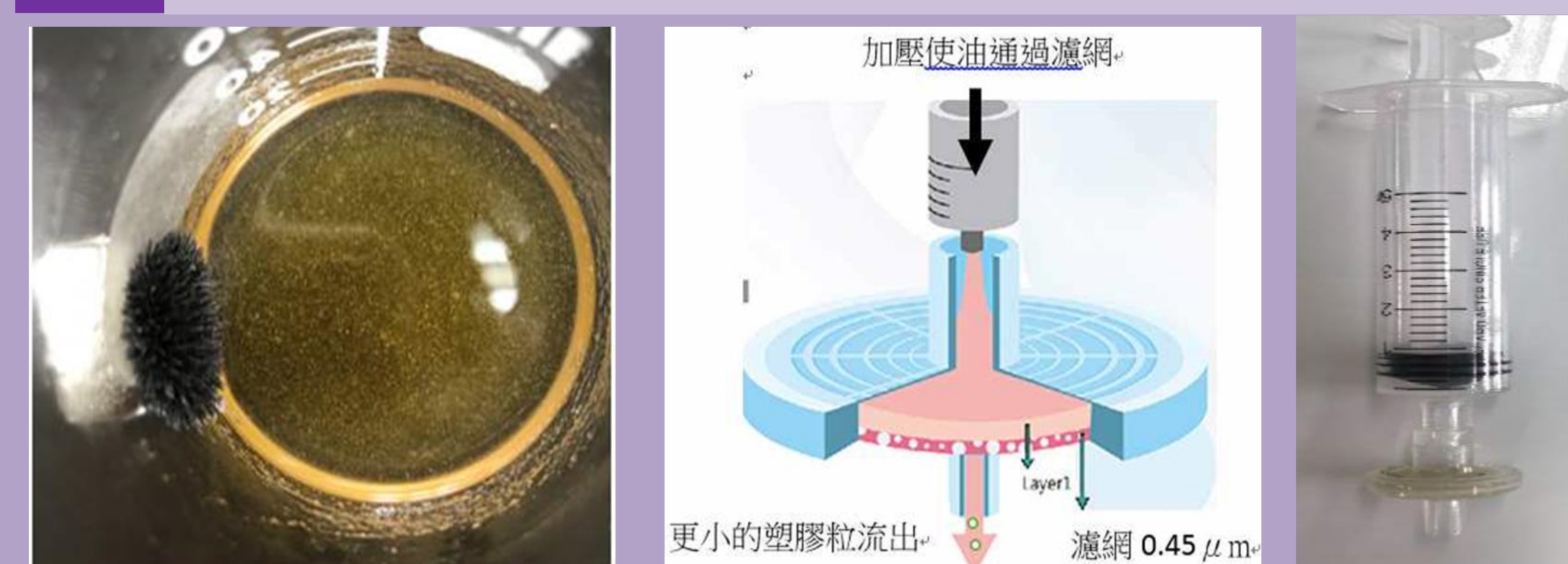


圖32 分離磁粉與油

圖33 濾網過濾塑膠微粒與油

## 捌、研究結論

### 機制與檢測方法

- 本研究以塑膠親油性清除，比汙水處理廠以濾網有效
- 光譜儀檢測塑膠精準達0.9高相關

### 變因與最佳條件

- 廢機油黏稠、細磁粉因為粒徑小有較大的表面積與油接觸，能清除前人無法清除的大塑膠
- 清除有時間性。3mm塑膠要在半小時內清除
- 磁力4900(μT)可以清除4(g)塑膠粒，未來汙水處理廠可推估多少磁力才能清除

### 塑膠纖維與清除效果

- 六大塑膠和衣物纖維達90%清除率

### 實際應用與創意

- 設計出自動化清除機，與發明出重複利用磁粉與油的方式，未來可應用在汙水處理廠

### 參考文獻

- 翰林出版社(2018)。自然與生活科技教學指引(三上)－溶解。台北：翰林出版社。
- 康軒出版社(2018)。自然與生活科技教學指引(六上)－電磁作用。台北：康軒出版社。
- 李姍姍、吳宗鏞(2014)。河川中的彩虹光譜－製作行動光譜儀分析河川水色。第54屆全國科展作品。
- 林筱彤、陳芊卉(2016)。自製光譜儀完全攻略。第56屆全國科展作品。
- Jillian E. Avila (2018). The Removal of Microplastics in Ocean Water Using Homemade Filters.
- Fionn Ferreira (2019). An investigation into the removal of microplastics from water using ferrofluids. Google science fair.