

屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：

保麗龍的「溶」華富貴：

聚苯乙烯重覆成膜與特性探討響

關 鍵 詞：保麗龍、有機聚合物、環保再生

編號：B3016

摘要

本研究旨在探討廢棄保麗龍（聚苯乙烯，PS）的減容效率與高值化回收路徑。實驗發現，2 毫升的乙酸乙酯具備優異的溶解能力，最高可溶解 156 立方公分的低密度保麗龍。透過分光光度計進行紫外光段掃描發現，樣本在 298 nm 處出現明顯吸收峰，證實乙酸乙酯能將聚合物長鏈降解為苯乙烯單元體，屬於化學性溶解。

研究進一步將回收液製成透明薄膜，經實驗證實該材料具備良好的重複成膜特性，且在沸水中加熱 30 分鐘均未偵測到單體釋出，展現極佳的熱穩定性與安全性。針對再生薄膜易脆裂的缺點，本計畫亦嘗試加入吉利丁與洋菜粉等生物蛋白進行改質，探討提升材料延展性、透光率及抗發霉效果之可能性。本研究成果為保麗龍回收提供了一種低成本、低污染且具備循環經濟潛力的新型轉化方案。

壹、研究動機

環境污染一直是一個很嚴重的事，尤其是塑膠、需要花上千年的時間才能分解。各國組織也一直有在積極推廣環保，為了將這顆地球好好的交給下一代，因此我們需要即刻作為。所以我們這次主要的研究就是想要解決這個問題和希望能改善一部份的環境問題，從小部分做起，有機會可以產生大力量。我們從日常生活中發想，從最難分解的保麗龍開始，想從根本解決問題，希望我們所設計出的實驗能為這顆寶貴的星球進一份心力。

貳、文獻探討與分析

一、保麗龍

保麗龍是一種現代常見、難處理，且讓大家都頭痛的一種垃圾，他歸類為 PS 塑膠（後續介紹），屬於 6 號塑膠，主要成分為聚苯乙烯（保麗龍學名）、發泡劑。

聚苯乙烯是從石油之中提煉出來的，含有碳、氫，不發泡製成保麗龍也可以做成很多塑膠產品，例如：養樂多瓶等等。主要做法為將聚苯乙烯加入發泡劑，加熱所製成的，其中成品為一種較輕的材質，其中有 90% 至 95% 的體積是空氣。保麗龍不易回收，是一種難以再利用的塑膠，由於聚苯乙烯難分解，加上回收價值低，再利用後的價值也不高（只能做成花盆等等），有些時候，若沒有妥善回收，會遭到焚燒等等的處理，造成致癌物散佈等等的嚴重問題，所以減少保麗龍的利用變成這一代必須解決的問題。

二、保麗龍的溶解與回收

關於保麗龍（聚苯乙烯，Polystyrene, PS）的溶解與回收研究，學術界與產業轉型主要聚焦於「減容（Volume Reduction）」與「循環利用」。保麗龍含有約 95% 的空氣，體積龐大導致運輸成本極高，因此使用溶劑將其縮小體積是目前研究的核心方向。

(一) 溶劑溶解與減容技術

研究指出，使用特定有機溶劑可迅速破壞保麗龍的發泡結構，使其溶解成濃稠的液態或薄膜，達到減容效果。

1. 乙酸乙酯 (Ethyl Acetate) 與混合溶劑

乙酸乙酯被認為是較環保且高效的溶劑。研究顯示，透過控制溶劑比例，可以將保麗龍轉化為具有塗料或黏著劑功能的回收料。

2. 天然溶劑：檸檬烯 (D-Limonene)

這是目前公認最環保的溶解方式。從柑橘皮提取的檸檬烯與 PS 分子結構相似（皆含苯環結構），可實現「同類相溶」。檸檬烯能在常溫下迅速溶解 PS。回收後，透過加熱蒸發檸檬烯，可得到高純度的 PS 固體，且檸檬烯可回收重複使用。

(二) 化學回收與單體還原 (Chemical Recycling)

除了物理性溶解，文獻也探討如何將 PS 降解回原始單體（苯乙烯）。

1. 熱裂解技術 (Pyrolysis)

透過高溫缺氧環境，將長鏈高分子打斷為短鏈液體燃料，研究指出在 350°C 至 500°C 之間，PS 的回收率最高，產出物主要為苯乙烯單體、甲苯及二聚體。

三、文獻回顧對本研究的啟示

(一) 確立研究的「必要性」與「價值」

文獻指出保麗龍 90% 以上是空氣，且回收價值低、隨意焚燒會產生致癌物。這帶給研究者的啟示是：

- 啟示：實驗不應只是「處理垃圾」，更應聚焦於**「減容（降低運輸成本）」與「高值化（將廢棄物轉為有用材料）」**。
- 應用：在科展計畫書中，可以強調研究是為了找出「低成本、低污染」的回收路徑，以解決現有的環保痛點。

(二) 實驗變因的選擇：溶劑的安全性與效能

文獻中提到了乙酸乙酯、檸檬烯以及熱裂解技術。對於國中實驗室環境而言：

- 啟示：綠色化學（Green Chemistry）。熱裂解需要高溫與專業設備，對國中生風險較高；相對而言，「溶劑溶解法」操作性更容易。
- 應用：實驗可以聚焦在「天然溶劑（檸檬烯）」與「常備溶劑（乙酸乙酯）」的效能比較。例如：探討不同溫度、不同比例下，哪種溶劑能溶解最多的保麗龍。

(三) 產品開發的導向：從「廢棄物」到「功能膜」

文獻提到「乙酸乙酯可將保麗龍轉化為塗料或黏著劑」，並可加入增韌劑。

- 啟示：回收後的 PS 不一定要重新做成塑膠粒（因為後續造粒需要大型機器），可以轉向開發「再生防水膠帶」、「防潑水塗料」或「再生包裝膜」。
- 應用：這引導我們去思考「物理性質測試」，例如測試回收後薄膜的拉伸強度、防水效果或黏著力，這會讓科展的數據更豐富。

(四) 封閉循環的觀念：溶劑回收

文獻提到檸檬烯在溶解後可以透過蒸發回收重複使用。

- 啟示：真正的環保研究不應產生二次污染。如果為了回收保麗龍而消耗大量溶劑，反而不環保。
- 應用：「溶劑回收率測試」。觀察溶解後的溶液，是否能透過簡單的加熱或冷凝將溶劑取回，實現循環經濟的概念。

參、研究目的與問題

一、研究目的：

- (一) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯的最大溶解度。
- (二) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯加入植物與動物性蛋白對抗發霉的效果。
- (三) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯加入植物與動物性蛋白的循環利用性。
- (四) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯加入植物與動物性蛋白後的延展性。
- (五) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯成膜後的延展性。
- (六) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯的成膜後的透光率。
- (七) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯的成膜後的折射率。
- (八) 探討低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯成膜後的延展性。（培養皿）

二、研究問題

- (一) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯的最大溶解度為何？
- (二) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯加入植物與動物性蛋白是否會發霉？
- (三) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯加入植物與動物性蛋白可循環幾次？
- (四) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯加入植物與動物性蛋白是否增加延展性？
- (五) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯成膜後的延展性為何？
- (六) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯成膜後的透光率為何？
- (七) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯成膜後的折射率為何？
- (八) 低密度保麗龍對 2 毫升乙酸乙酯成膜後的延展性為何？（培養皿）

肆、研究設備與材料

表 4-1 研究設備與材料表

低密度保麗龍	丙酮	鑷子
乙酸乙酯/乙酸丁酯	培養皿	剪刀
燒杯 100	燒杯 400	玻棒
量筒	電子秤	彈簧秤
行李秤	滴管	吉利丁粉
苯乙烯單元體	冰棒棍	廚房紙巾
洋菜粉	長尾夾	熱溶膠
冰棒棍	秤量紙	美工刀
奇異筆	分光度計	石英管





圖 4-1 研究材料設備

伍、研究過程與樣本製作方法

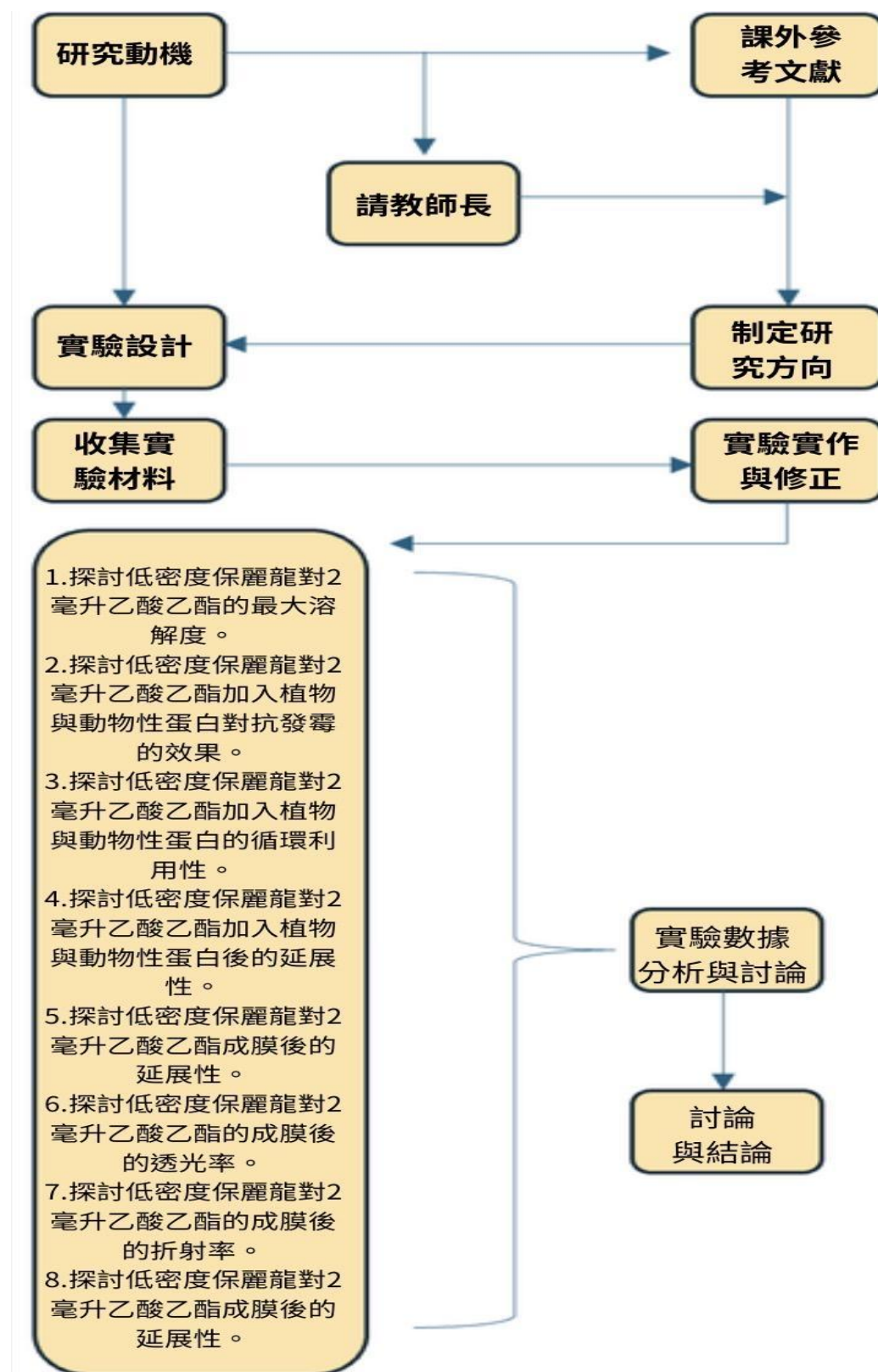


圖 5-1：實驗流程圖

***低密度保麗龍溶解於乙酸乙酯主要核心實驗步驟：**

(一) 使用美工刀切割實驗所需量的保麗龍。



(二) 使用量筒量測 2ml 的乙酸乙酯。



(三) 將乙酸乙酯和保麗龍輪流倒、放入燒杯中。

(四) 使用波棒加速其溶解速度。



(五) 將完全溶解後的溶液倒入培養皿、模具中。



(六) 視情況放入冰箱中冷卻。

(七) 放置至其乾後從模具上取下。



***植物和動物蛋白加入乙酸乙酯溶解的保麗龍中成膜核心步驟：**

(一) 秤量吉利丁及洋菜粉



(二) 把吉利丁或洋菜加入熱水中



(四) 將溶液隔水加熱



(三) 把主要步驟和吉利丁或洋菜粉混合在一起



陸、主要研究分析方式

一、 苯乙烯單元體存在分析

本實驗旨在透過光學性質鑑定保麗龍溶解後，其聚合物長鏈是否斷裂並降解為單元體——**苯乙烯 (Styrene)**。若能在回收液中偵測到苯乙烯的特徵吸收峰，則可推論該溶劑具備將聚苯乙烯轉化為單體之潛力。

(一) 建立標準特徵波長（基準掃描）

首先，根據之前的實驗，苯乙烯單元體可以溶解於丙酮溶液中。將純苯乙烯液體溶解於丙酮中進行紫外光段掃描，發現在 **310nm** 有吸收高峰。在進行檢測前，需分別以實驗所用之有機溶劑（丙酮）為**空白對照組 (Blank)** 進行歸零校正。記錄苯乙烯在紫外光區 (UV range) 的最大吸光度值（**310nm**），訂定是否於丙酮中溶解出苯乙烯單元體。

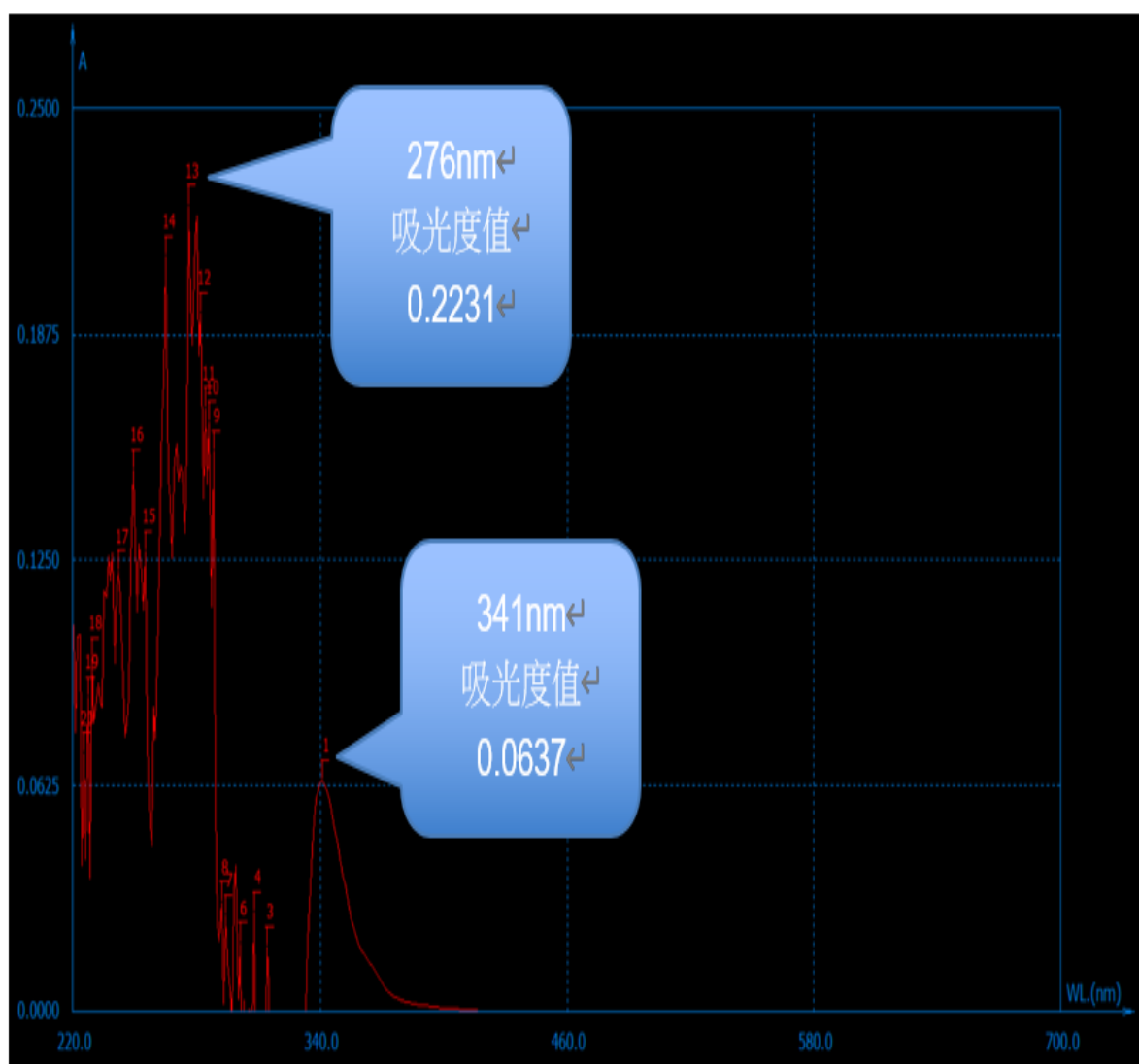


圖 6-1 丙酮溶解低密度保麗龍之吸光度值表現

(二) 溶劑系統樣品準備

將保麗龍分別投入以下三種有機溶劑中，使其充分溶解反應後，抽取其混合液作為檢測樣本：

- **樣本 A：** 丙酮與保麗龍回收液。
- **樣本 B：** 乙酸乙酯與保麗龍回收液→放進丙酮中測量。
- **樣本 C：** 乙酸丁酯與保麗龍回收液→放進丙酮中測量。

(三) 光學比對與單體存在判定

將上述各樣本置入專用的石英比色管 (Quartz cuvette) 中，利用分光光度計於紫外光區進行掃描，並比對所得之吸收光譜圖：

- **判定原則：** 若樣本在步驟 1 所確立的特徵波長位置（苯乙烯吸收峰）出現波峰，即可判定該溶液中含有苯乙烯單體，代表保麗龍發生了化學降解。
- **對照分析：** 若僅有溶解現象但未觀測到特徵吸收峰，則顯示保麗龍在該溶劑中僅轉化為液態聚合物（物理溶解），未分解為單體。

柒、研究結果與討論

一、 乙酸乙酯溶解保麗龍之最大溶解度分析

我們選擇低密度保麗龍作為研究材料，取 2 毫升的乙酸乙酯發現：

- (一) 2 毫升的乙酸乙酯至多可溶解 156 立方公分的低密度保麗龍。
- (二) 溶解的過程中，溶液逐漸變黏稠，最後須施加壓力才能繼續溶解低密度保麗龍。
- (三) 最後的溶液呈現膏狀，不容易流動與攪動，流變性低。

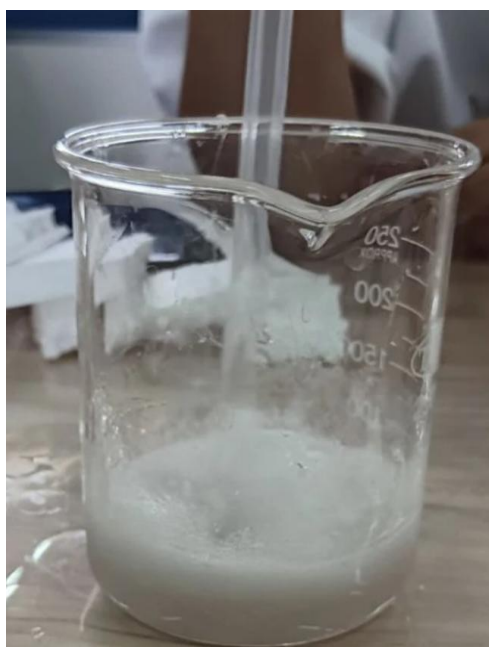
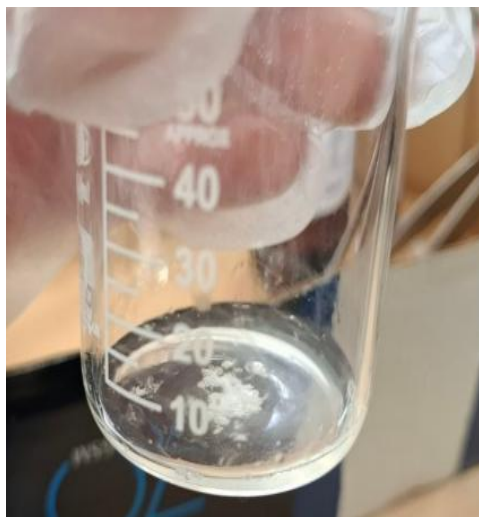


圖 7-1 乙酸乙酯溶解低密度保麗龍狀況

二、乙酸乙酯溶解保麗龍使用分光度計進行苯乙烯單元體檢測

(一) 首先在 3 毫升的乙酸乙酯中加入 1 毫升的苯乙烯，混合均勻後倒入石英比色管中，掃描後發現在 298nm 有較高的吸光度值。

(二) 研究發現乙酸乙酯可以溶解低密度保麗龍，且可把低密度保麗龍分解成為苯乙烯單元體。

(三) 此發現可說明乙酸乙酯不是物理性溶解低密度保麗龍，而是化學性溶解低密度保麗龍。

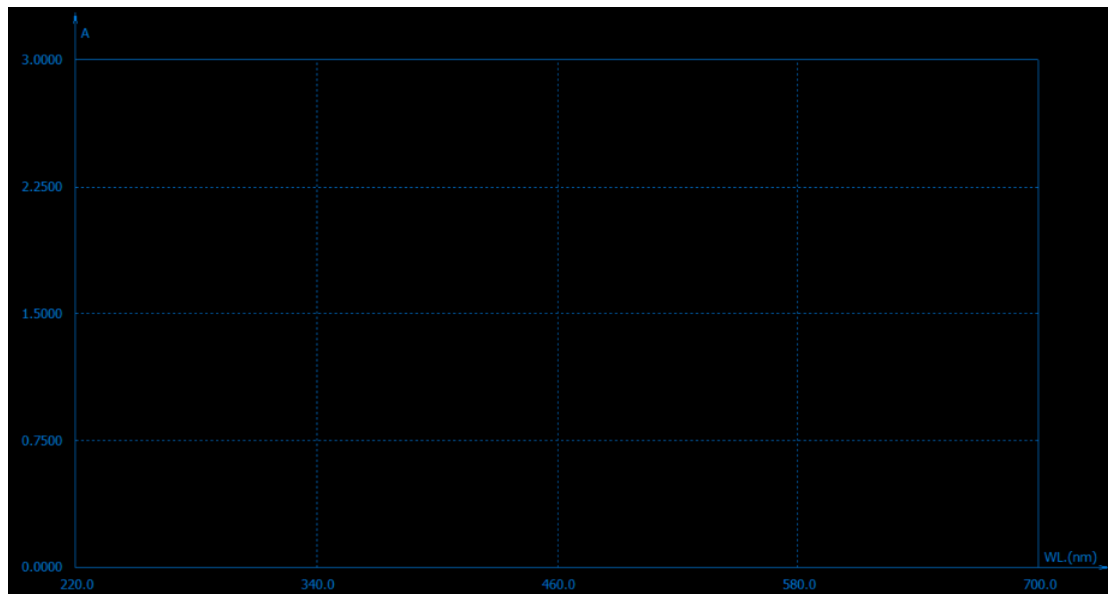


圖 7-2-1 乙酸乙酯當成背景值之吸光度值表現

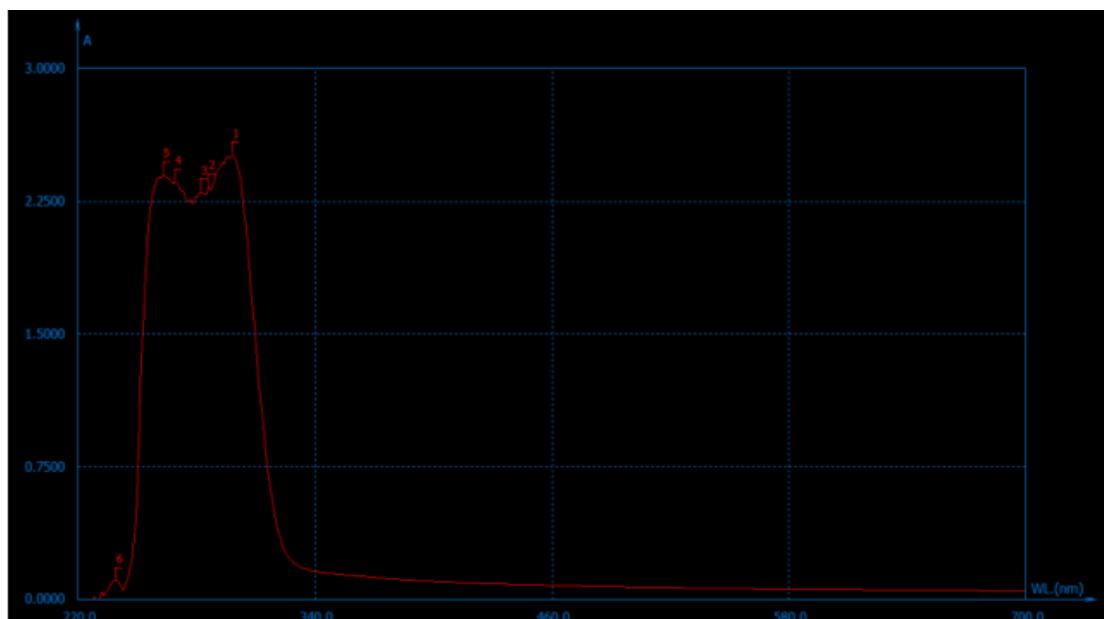


圖 7-2-2 乙酸乙酯溶解低密度保麗龍之吸光度值表現

三、 乙酸乙酯溶解保麗龍製成透明薄膜之探討

(一) 這段落我們取乙酸乙酯 2mL、4mL、6mL、8mL、10mL 分別溶解 27 立方公分的低密度保麗龍，其結果如下所示：

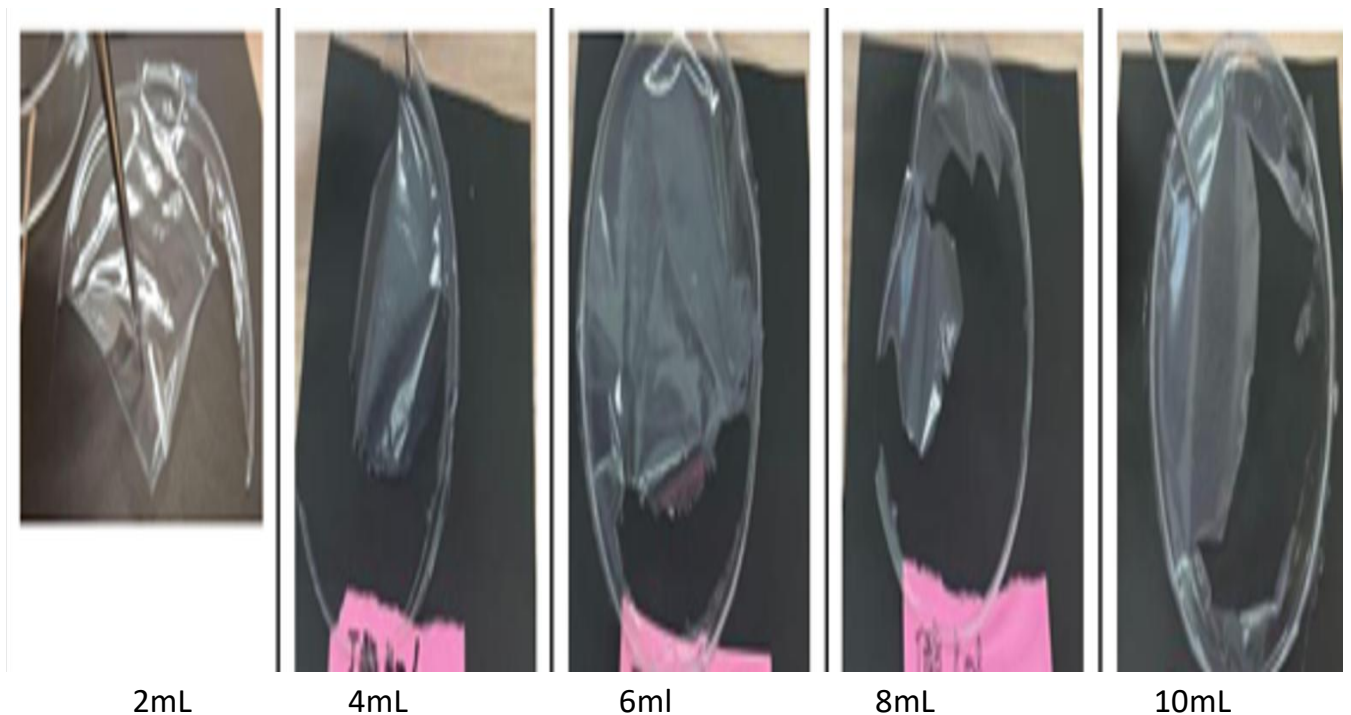


圖 7-3 不同毫升數的乙酸乙酯溶解低密度保麗龍的成膜狀況

(二) 以上結果顯示都可成為透明的薄膜，但是都很容易脆裂，不具有延展性。

(三) 那麼這些薄膜是否在熱水中加熱會溶解出有害的苯乙烯單元體呢？於是我們進行下一個實驗。

四、 乙酸乙酯溶解保麗龍製成透明薄膜在熱水中加熱是否會溶解出 苯乙烯單元體分析

- (一) 這段落研究我們將上述研究結果二的薄膜放到熱水中加熱到沸騰，持續 30 分鐘。
- (二) 三十分鐘之後取沸騰的熱水 10 毫升，進行冷卻。
- (三) 取上述的水樣加入 10 毫升的丙酮混合均勻。
- (四) 取混合液 4 毫升放入石英比色管中，以紫外光波段掃描。
- (五) 發現五組的保麗龍成膜在熱水中加熱 30 分鐘，都沒有溶解出苯乙烯單元體。
- (六) 表示經過本研究的方法所形成的新薄膜不具有熱溶性。

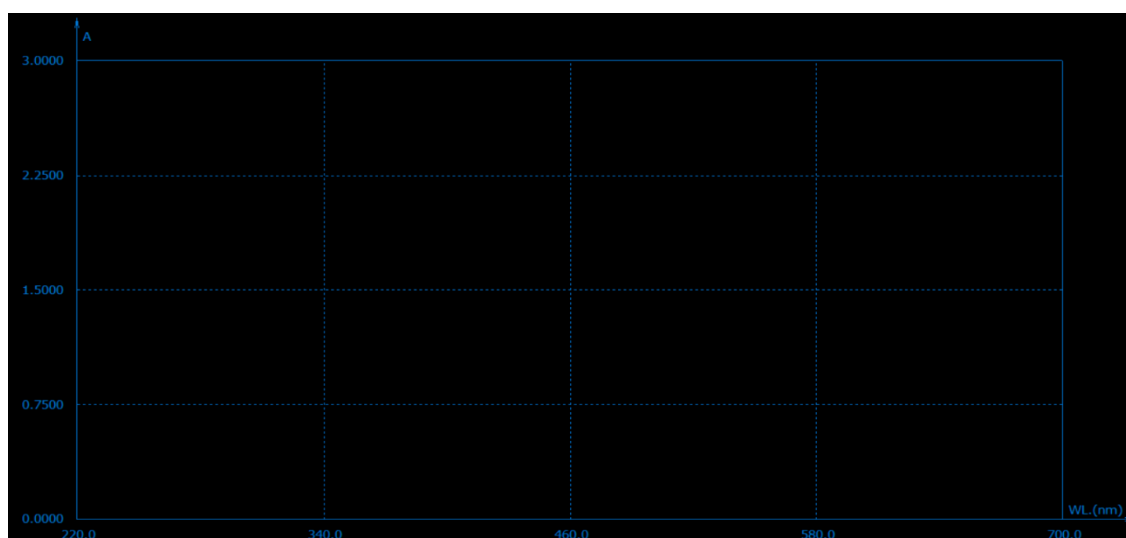


圖 7-4-1 丙酮當成背景值之熱水吸光度值表現

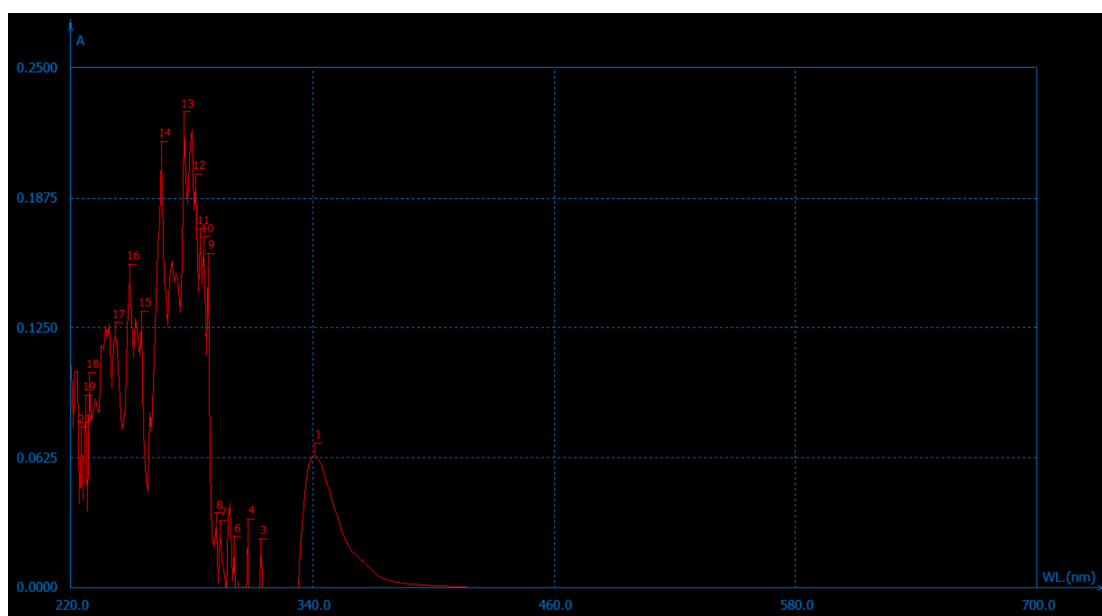


圖 7-4-2 丙酮中的苯乙烯單元體之吸光度值表現

五、 乙酸乙酯溶解保麗龍製成透明薄膜之反覆成膜與加熱實驗之分析

- (一) 我們將上述的薄膜重複以乙酸乙酯 2mL、4mL、6mL、8mL、10mL 重新溶解後再倒入培養皿中。
- (二) 發現仍然可以成膜。
- (三) 將這些透明的膜在放到熱水中加熱三十分鐘後，取沸騰的熱水 10 毫升，進行冷卻。
- (四) 取上述的水樣加入 10 毫升的丙酮混合均勻。
- (五) 取混合液 4 毫升放入石英比色管中，以紫外光波段掃描。
- (六) 發現五組的保麗龍成膜在熱水中加熱 30 分鐘，都沒有溶解出苯乙烯單元體。
- (七) 表示經過本研究的方法所形成的新薄膜不具有熱溶性且具有重複成膜特性。
- (八) 我們將這些膜重複加熱→乙酸乙酯溶解→成膜→加熱→乙酸乙酯溶解→成膜…經過 5 次循環，在熱水中都沒有發現苯乙烯單元體的存在。

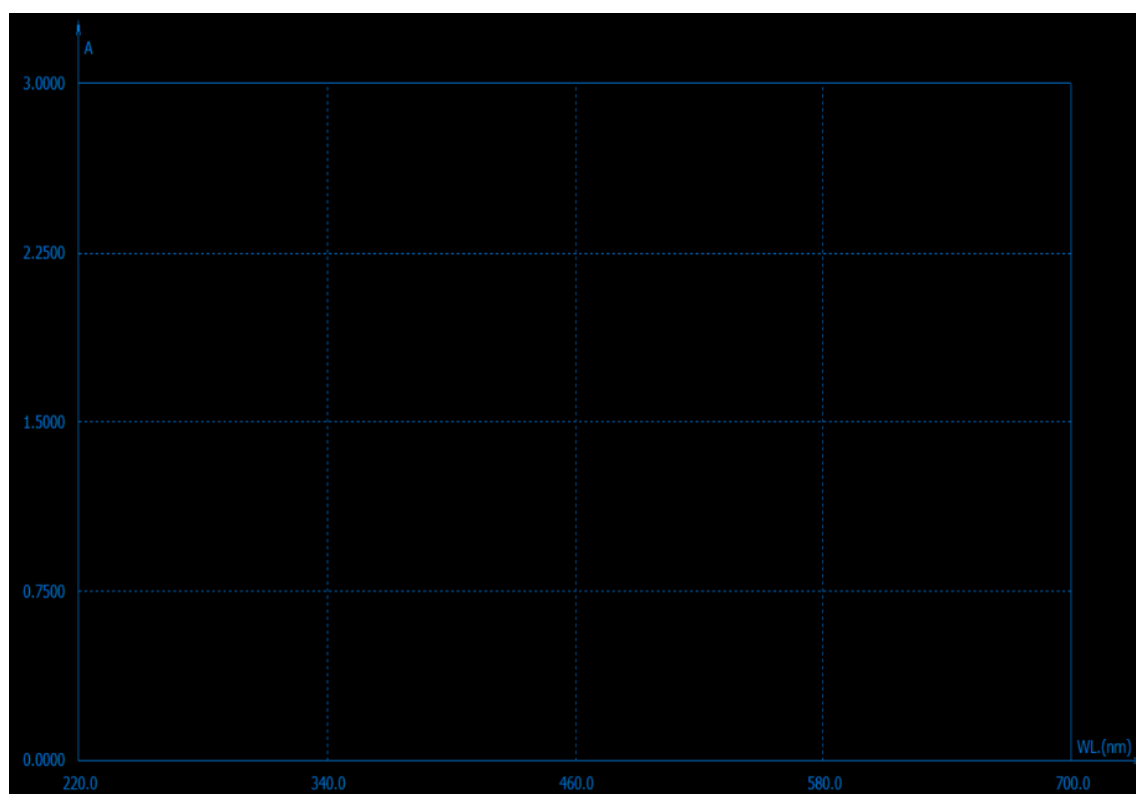


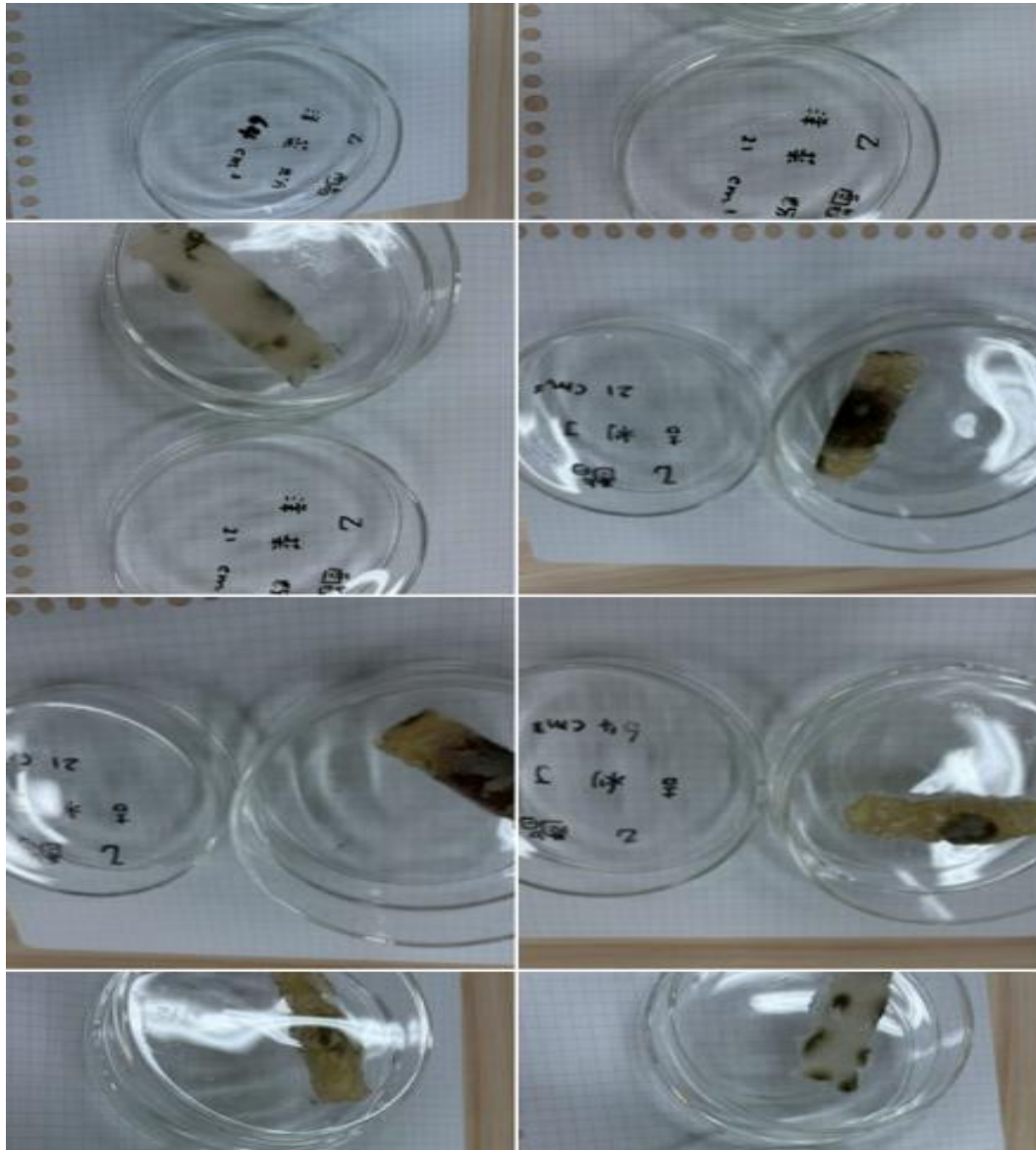
圖 7-5-1 丙酮當成背景值之熱水吸光度值表現

六、 乙酸乙酯/乙酸丁酯與植物性蛋白(洋菜)、動物性蛋白(吉利丁)
製成之條狀延展性分析(尚在分析中，未於這次書審中呈現)



((實驗六已完成，但是數據未整理，
其裝置如上所示，請推薦我們參加縣
賽，會整理到海報上與新版報告))

七、 乙酸乙酯/乙酸丁酯與植物性蛋白(洋菜)、動物性蛋白(吉利丁)
製成之條狀之發霉性分析(尚在分析中，未於這次書審中呈現)



((實驗七已完成，但是數據未整理，
其裝置和初步數據紀錄如上所示，請
推薦我們參加縣賽，會整理到海報上
與新版報告))

八、 乙酸乙酯/乙酸丁酯製成透明薄膜之透光度分析(尚在分析中，未於這次書審中呈現)

九、 乙酸乙酯/乙酸丁酯與植物性蛋白(洋菜)、動物性蛋白(吉利丁)製成之條狀透光性分析(尚在分析中，未於這次書審中呈現)

((實驗八和九已完成，但是數據未整理，其裝置和初步數據紀錄如下所示，請推薦我們參加縣賽，會整理到海報上與新版報告))



	乙 酉 126 cm ³	乙 酉 112 cm ³	乙 酉 84 cm ³	丁 酉 70 cm ³	丁 酉 56 cm ³	丁 酉 42 cm ³
L						
H	164	164	164	164	164	164
	164	164	164	164	164	164
	164	164	164	164	164	164
H H		162.5	164	162	161	161.5
		167.5	167.5	163.5	169	166
		167	164	165	168	162

捌、綜合討論

問題一：

實驗數據顯示乙酸乙酯溶解保麗龍後出現了苯乙烯特徵吸收峰，這對保麗龍回收的科學意義為何？

- 一般溶劑回收保麗龍多被歸類為「物理溶解」，即僅是破壞發泡結構使氣體逸出，高分子長鏈並未斷裂。但在本研究中，利用分光光度計掃描發現，樣本在 298 nm 處出現了與純苯乙烯一致的特徵吸收峰。這說明乙酸乙酯不僅能溶解保麗龍，更能使其聚合物長鏈發生斷裂，降解為單元體。這意味著該過程屬於**化學性溶解**，未來具備進一步純化單體並重新聚合為「全新塑膠」的潛力，而不僅僅是降級回收製成花盆。

問題二：

研究中發現保麗龍成膜後「易脆裂且不具延展性」，實驗計畫中加入「植物性與動物性蛋白」的主要動機為何？

- 根據實驗結果，單純由乙酸乙酯溶解保麗龍後所形成的薄膜雖然透明，但極易脆裂。為了提升回收材料的實用價值（如製成防水膠帶或包裝膜），必須改善其物理物性。文獻指出加入增韌劑可改質材料，因此本研究嘗試引入吉利丁（動物性蛋白）與洋菜粉（植物性蛋白）作為添加劑。除了期望透過蛋白質分子與聚苯乙烯鏈段的交互作用來增加膜的延展性與**抗拉強度**外，也同時探討生物性蛋白加入後是否會影響材料的防霉效果。

問題三：

本研究強調「循環利用性」，實驗是如何驗證回收薄膜具備重複再利用潛力的？

- 我們設計了「反覆成膜」實驗，將已成膜的薄膜重新投入乙酸乙酯中再次溶解並重新塑形。結果顯示，經過 **5 次循環**後，保麗龍依然能穩定成膜，且物理外觀無明顯劣化。更關鍵的是，我們將這些重複成膜後的樣本放入熱水中加熱 **30 分鐘**，再次進行紫外光掃描，結果均未偵測到苯乙烯單體釋出。這證明了該回收路徑不僅具備**高度的重複利用性**，且成膜後的結構穩定，不具熱溶性，符合環保與安全的需求。

玖、暫時研究結論

一、展現優異的減容與溶解能力

實驗證實，僅需 **2 毫升**的乙酸乙酯，即可溶解體積高達 **156 立方公分**的低密度保麗龍。在溶解過程中，溶液會隨著保麗龍加入量的增加而逐漸趨於黏稠，最終呈現流變性較低的膏狀物質。這說明乙酸乙酯對於保麗龍具有極佳的體積縮減效果，能有效解決保麗龍因體積龐大導致運輸成本過高的問題。

二、證實保麗龍發生化學性降解

透過分光光度計對溶解後的液體進行掃描，在波長 298 nm 處偵測到明顯的吸光度峰值，該特徵與苯乙烯單元體的光譜特徵相符。此一結果證明，乙酸乙酯對保麗龍的作用不僅僅是物理性的鏈段舒展（物理溶解），而是能進一步破壞聚合物長鏈，使其降解產生單元體成分，屬於**化學性溶解**。

三、再生薄膜具備重複成膜與熱穩定性

本研究成功將保麗龍回收液製成透明薄膜，且該材料具備良好的反覆再生潛力，即使經過 5 次「溶解—成膜」的循環，依然能維持穩定的成膜特性。此外，實驗觀察到這些再生薄膜在沸水中持續加熱 30 分鐘後，水樣中並未測得苯乙烯單體釋出，顯示該回收材料具有良好的**熱穩定性與安全性**。

壹拾、 參考文獻

中華民國保麗龍回收再生協會（無日期）。保麗龍是什麼？。

<http://www.ctepsra.org.tw/zh/eps/102-q-1>

何宣頤、林大森、陳盈宏（2022）。《再生保麗龍之研究》。臺灣網路科教館—全國中小學科學展覽會。

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=16344&sid=16664>

林建安、張志維、王俊凱（2015）。《微生物分解保麗龍之初探》。臺灣網路科教館—全國中小學科學展覽會。

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=12468&sid=12657>

東海大學環境安全與衛生中心（2009）。乙酸乙酯物質安全資料表 (MSDS)。

<https://orglab.thu.edu.tw/MSDS/030.pdf>

徐瑞蓮、陳品妤、黃郁筑（2004）。《把保麗龍用酸溶液測試—探討不同酸液對保麗龍之影響》。臺灣網路科教館—全國中小學科學展覽會。

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=45&sid=3401>

張惠民（2000）。環保小尖兵——保麗龍的回收再利用。科學教育月刊，(226)，30-33。

[https://www.sec.ntnu.edu.tw/uploads/asset/data/62564194381784d09345bf72/2000-226-06\(30-33\).pdf](https://www.sec.ntnu.edu.tw/uploads/asset/data/62564194381784d09345bf72/2000-226-06(30-33).pdf)

綠色和平組織（2023）。2023 年 8 月起這些場所禁用 PLA！生物可分解塑膠無法有效回收？。<https://www.greenpeace.org/taiwan/update/35304/>

Noguchi, T., Miyashita, M., Inagaki, Y., & Yamaguchi, H. (1998). A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent. *Polymer Recycling*, 3(3), 207-214.

Onwudili, J. A., Insura, N., & Williams, P. T. (2009). Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 86(2), 293-303.

<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2009.07.008>