

【2021 科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中(職)組 成果報告表單

題目名稱：你別再塑膠了 — 解聚 PET 之探討

一、摘要：

醇解法為一反應條件簡單、過程溫和且不會產生多餘副產物的解聚聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) 方法，且醇解法能使用非均相觸媒，具工業化潛力。本研究利用廢電池中的鋅作為催化劑用以解聚 PET 成單體對苯二甲酸乙二酯 (BHET)，並討論其反應的因素與發展應用，此方法不但成本低廉，也符合本研究的核心「綠色化學」。

本研究已透過最適化條件搜尋，發現在解聚 5 克的 PET 時，催化劑劑量 0.2 克、反應時間 4 小時、反應溫度 180 度，有最佳效果之 BHET 產率 75.8% 和 PET 轉化率 93.2%。根據最適化反應條件，並比較不同種的鋅化合物作為催化劑，發現廢電池中的鋅作為催化劑反應，具有較佳的轉化率與產率。

二、探究題目與動機

處理不當的塑膠產品除了會縮減人們的活動空間以外，還會對海洋生物產生一系列的影響，如日前在泰國南部，一隻鯨魚的死亡引發了全國的哀悼，牠死亡時，體內被發現至少誤食了超過 85 個塑膠袋垃圾；而瀕臨絕種的江豚、短吻海豚，也多次在泰國發現吃進塑膠的狀況。回到臺灣，每一公里的海岸垃圾是日本的 2.4 倍、韓國的 1.7 倍，每 100 公尺的海岸垃圾就有 13 個黑色大垃圾袋那麼多。而全球的海洋垃圾量甚至能環繞地球 400 多圈。

塑膠一般需要 500 到 1000 年的時間才可自然分解，換句話說，大部分的塑膠製品都以某種形式存在著。而目前處理塑膠製品的方法有很多種，像是將聚酯瓶上的非聚酯的瓶蓋、瓶座底、標籤等通過機器方法進行分離後，將聚酯瓶洗滌、破碎、造粒的物理回收法；還有需要在一定的溫度和壓力下完成的醇解法，本研究選擇探討以鋅作為催化劑進行酯交換反應的醇解法，並期望能對我們的地球盡一份心力。

三、探究目的與假設

- (一) 查詢解聚 PET 之相關文獻
- (二) 利用 DSC (微示差掃描熱卡分析儀) 確認 PET 解聚之產物
- (三) 探討各種變因 (時間、溫度、催化劑劑量等) 對 PET 轉化率與 BHET 產率的影響，尋找解聚之最適化條件
- (四) 比較不同鋅催化劑對解聚反應之影響

四、探究方法與驗證步驟

(一) 醇解法介紹：

酯化反應是一種可逆反應，而本實驗利用酯交換反應即為其逆反應。酯交換反應的催化劑可以分為鹼性催化劑、酸性催化劑及生物催化劑。依其反應位置又可以分為易溶於醇的催化劑 (均相反應) 以及固體的催化劑 (非均相反應)，根據文獻顯示在各式各樣的固態鹼性催化劑中，運用鋅作為催化劑的效果，相較於其他的鹼性催化劑更勝一籌。

本研究中，基於綠色化學的考量，希望能夠達到物盡與再生的原則，嘗試搜尋生活中常用的含鋅廢料，因此選擇利用廢電池中的鋅殼，作為催化劑進行實驗。本研究中自行拆取廢電池中的鋅殼，並將鋅殼裁成大小相等之碎片，作為 PET 解聚的催化劑。

其中本研究中所提到產率與轉化率定義如下：

$$\text{PET 轉化率 (conversion)} = \frac{\text{實際 PET 消耗量}}{\text{理論 PET 消耗量}} \times 100\%$$

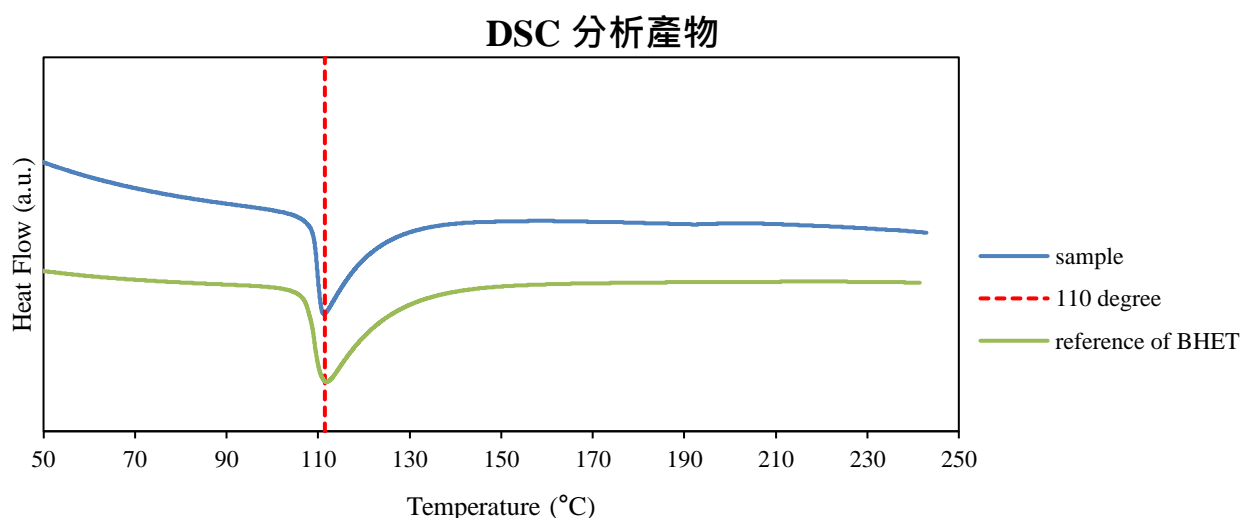
$$\text{BHET 產率 (yield)} = \frac{\text{實際 BHET 產出量}}{\text{理論 BHET 產出量}} \times 100\%$$

(二) 實驗一、產物檢測分析

1 操作步驟：

- (1) 將針狀晶體樣品與購入之參比物 BHET 分別放入 DSC 儀器中
- (2) 觀察這段時間樣品產生的 DSC 曲線

2 實驗結果如圖一：



圖一：樣品與參比物 BHET 之差示掃描分析圖

3 結論：

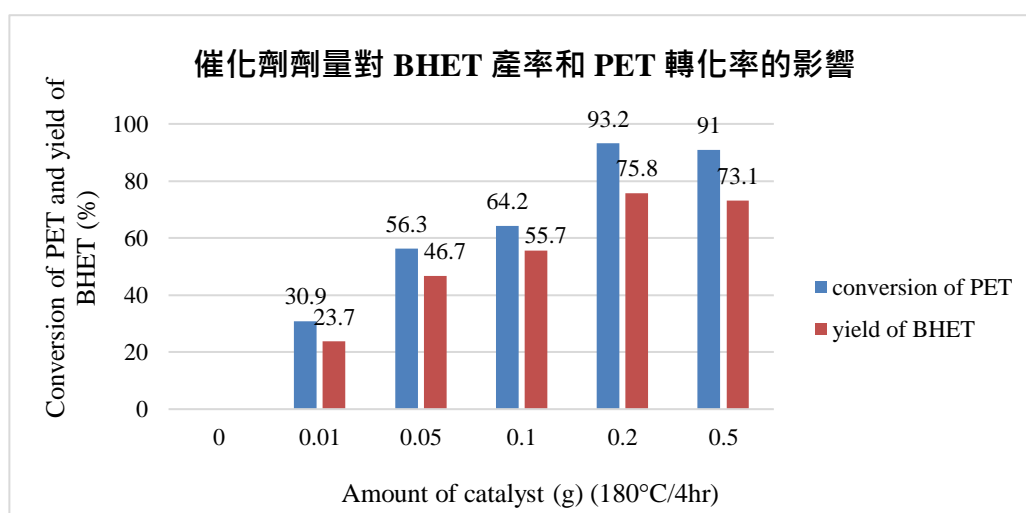
藉由該儀器升溫至預設的溫度，再觀察這段時間樣品的熱流變化，而由樣品的熱流變化判斷它的熔點。參比物 BHET 的熔點約落在 110°C，與樣品之熔點相同，因此可以推論樣品即為 BHET，且無參雜其餘物質。

(三) 實驗二、反應溫度、時間、催化劑劑量對 BHET 產率和 PET 轉化率的影響

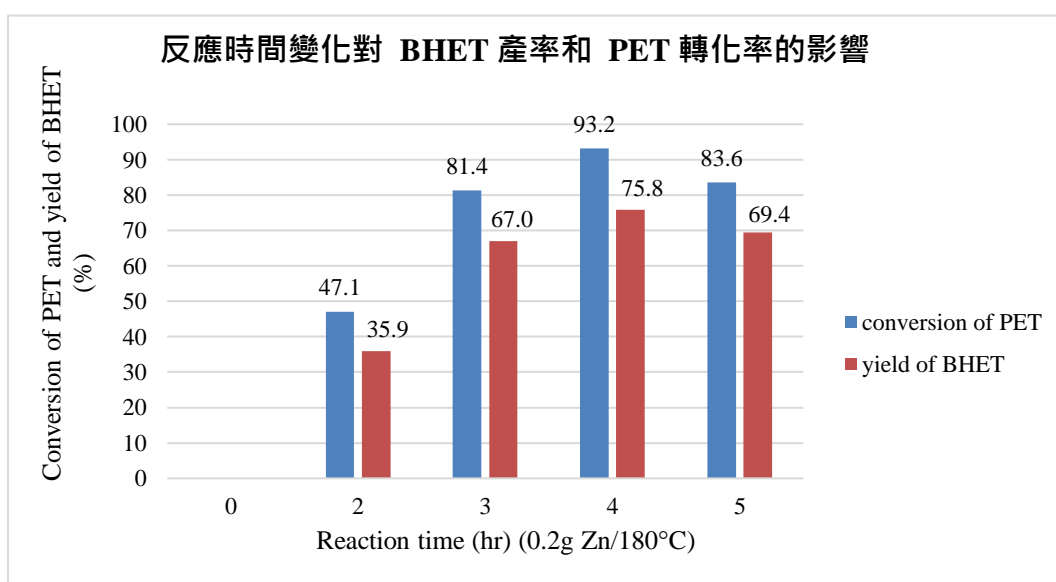
1 操作步驟：

- (1) 秤量實驗藥品 (聚對苯二甲酸乙二酯、乙二醇、廢電池中的鋅金屬、氧化鋅、醋酸鋅及純鋅)
- (2) 置於加熱攪拌器上攪拌數分鐘混和均勻，並放入指定溫度 (150°C、160°C、170°C、180°C、190°C) 的矽油中加熱數小時後降至室溫
- (3) 利用布氏漏斗以及布氏燒瓶，將混合物抽氣過濾，分離未反應的聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) 和溶液，並將未反應的 PET 烘乾 24 小時
- (4) 將過濾出的溶液加熱濃縮，室溫冷卻後放入冰箱 16 小時以上
- (5) 放入冰箱後的溶液，將會產生白色針狀結晶 (BHET) 在溶液中

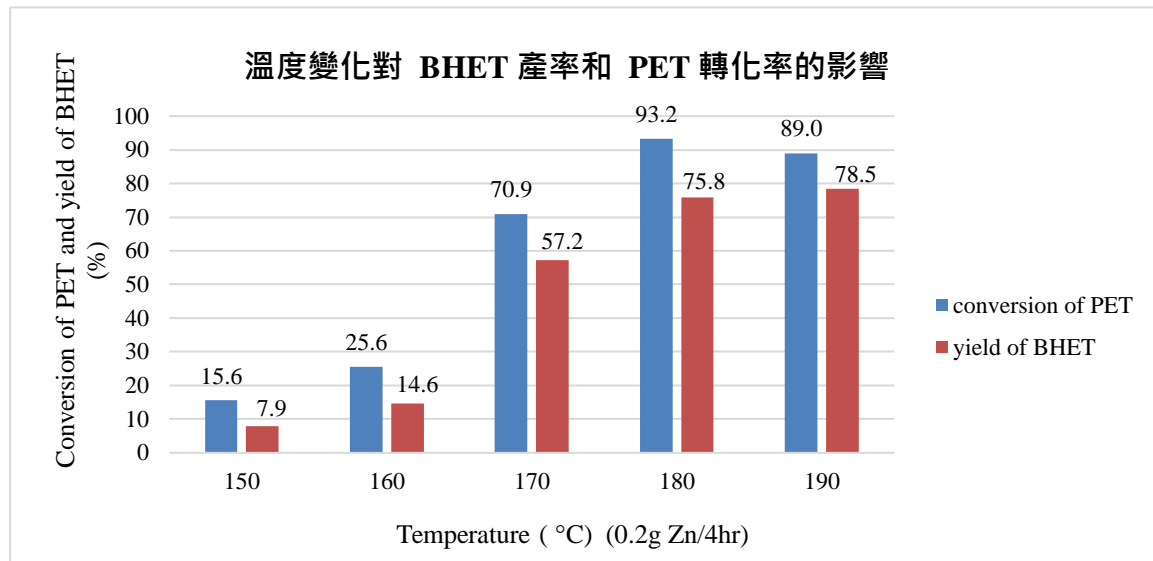
2 實驗結果如圖二、圖三、圖四：



圖二：催化劑鋅劑量變化對 BHET 產率和 PET 轉化率影響關係圖



圖三：反應時間變化對 BHET 產率和 PET 轉化率影響圖



圖四：溫度變化對 BHET 產率和 PET 轉化率影響

3 結論：

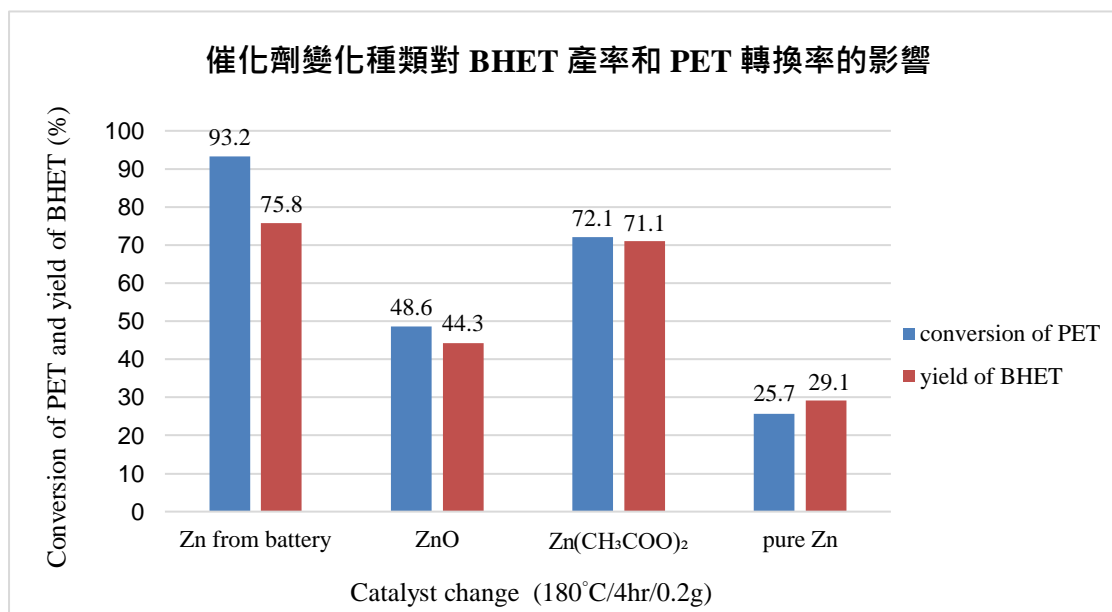
在解聚 5g 的 PET 時，催化劑劑量 0.2 克，反應時間 4 小時，反應溫度 180°C，其反應之 BHET 產率和 PET 轉化率即可達最佳效果，可達 75.8% 產率與 93.2% 轉化率。

(四) 實驗三、不同鋅催化劑對 BHET 產率和 PET 轉化率的影響

1 操作步驟：

運用前面所求得的最適化反應之條件，0.2 克的催化劑的用量，反應溫度 180 度，4 小時為反應時間，觀察不同新催化劑對於解聚 PET 之影響。

2 實驗結果如圖五：



圖五：催化劑變化對 BHET 產率和 PET 轉化率影響

3 結論：

在催化劑 0.2 克時，反應溫度 180 度，反應時間為 4 小時時，廢電池中的鋅、氧化鋅、醋酸鋅以及純鋅作為催化劑，進行 BHET 產率和 PET 轉化率的比較，其中利用廢電池中的鋅作為催化劑，具最佳的轉化率及產率，其反應產率為 75.8 % 以及轉化率 93.2 %。

五、結論與生活應用

- (一) 文獻指出，得知鋅金屬可以作為催化劑加速解聚 PET 為 BHET 的進行。
- (二) 本研究利用自行拆解廢電池後，蒐集電池的鋅殼，並剪碎後用以作為催化劑嘗試催化 PET 的解聚，經實驗研究確實可利用此鋅殼作為催化劑解聚 PET。
- (三) 利用 DSC(微示差掃描熱卡分析儀)，確認本實驗反應後之產物為 PET 的單體 BHET，且無多餘雜質產生。
- (四) 最適化實驗中，本研究利用廢電池拆解下的鋅殼作為催化劑，進行 PET 解聚為 BHET 的實驗指出，經過最適化實驗討論催化劑用量、反應時間、反應溫度等變因對 BHET 產率與 PET 轉化率的影響。並指出當催化劑使用量為 0.2 克、反應時間 4 小時、反應溫度 180°C 時，有最佳效果之 BHET 產率 75.8% 和 PET 轉化率 93.2%。
- (五) 利用其他鋅的化合物用以分析比較，得知以廢電池中的鋅作為催化劑時，相較於其他鋅化合物的轉化率以及產率較高。
- (六) 未來展望：
 - 1 將解聚產物單體 BHET 聚合為多種聚合物。
 - 2 利用其他鋅的化合物用以分析比較：本研究希望透過對比其他鋅化合物反應後之轉化率與產率後，得知何種鋅化合物最有利於反應的進行，並理解負極中其他內容物對於

反應的影響。

- 3 比較不同電池品牌的鋅作為催化劑時的解聚效果。
- 4 將解聚後之產物重複再利用，再製成高價值的聚氨酯 PU。

參考資料

- 一、王少博 (2016)。PET 聚酯的乙二醇解聚與再生共聚研究。知網空間。取自 <http://cdmd.cnki.com.cn/Article/CDMD-10255-1016776828.htm>
- 二、季麗娜 (2013 年 2 月 9 日)。PET 聚酯的化學解聚原理及發展狀況。行知部落。取自 <https://www.xzbu.com/1/view-4985249.htm>
- 三、科學玩具柑仔店 (2013 年 2 月 9 日)。科學玩具 - 電化學-拆解碳鋅電池。Blogger。取自 http://kingdarling.blogspot.com/2013/02/blog-post_6264.html
- 四、曾國輝 (2018)。化學問題指引。新北市：藝軒圖書出版社
- 五、醇解反應 (2015 年 6 月 2 日)。華人百科。取自 <https://www.itsfun.com.tw/%E9%86%87%E8%A7%A3%E5%8F%8D%E6%87%89/wiki-0576644-8993624>
- 六、塑膠工業技術發展中心 (2003 年 11 月 25 日)。塑膠物：聚氨酯 (polyurethanes, PU)。塑膠 e 學院。取自 <http://psdn.pidc.org.tw/ike/doclib/2003/2003doclib/2003ike18-0/2003ike18-0-307.asp>