

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

第三名

091103

鋁箔包回收再利用之研究

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 職二 鄭鈞瑜 職二 邱育羚 職二 蔡怡樺 | 指導老師： 王俊雄 陳秋庭 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：鋁箔包、紙、氫燃料電池

摘要

本研究目的在探討鋁箔包如何有效的回收利用。探討鋁箔包裁切大小之影響，發現以 E 型裁切紙漿回收率最高；探討果汁機轉速之影響，證明轉速設定在低速較不易產生鋁箔小型碎片；探討刀片類型之影響，改裝為塑膠鈍化刀片，徹底解決紙漿中殘留鋁箔的問題；探討浸漬 HNO_3 之測試，浸漬 HNO_3 可分離出 PE 膜；在 HNO_3 最適濃度之測試， HNO_3 濃度在 3N 以上即可分離；探討 HNO_3 濃度變化之測試，發現濃度影響不大；鋁箔與 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 反應之情形，發現濃度遞增，反應速率愈快；鋁箔產氫氣效能之測試，結果鋁與 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 反應之實測值與理論值相近。我們將回收出的紙漿做成不同厚度的紙張；氫氣提供燃料電池發電，鋁箔加入 5N $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 中，可產生氫氣，使 50 顆白色 LED 發光；殘渣以鐵板加熱加壓可製作出密集板。

壹、研究動機

在一般便利超商皆可輕易看到鋁箔包的出現，鋁箔包飲料的市佔率甚高，相對地，也產生大量的鋁箔包垃圾。鋁箔包是一種積層的複合材質，有些人會誤認為非回收項目，或是被當作廢紙回收。仔細看可發現鋁箔包有標示回收標誌，但沒有專屬的垃圾分類回收標誌，如下圖所示。由於政府對鋁箔包回收的宣導不夠，導致喝完的鋁箔包常被當成一般垃圾處理，既然鋁箔包可回收再利用，可是為什麼鋁箔包的回收率不高呢？因此，我們決定針對鋁箔包回收再利用進行探討。



貳、研究目的

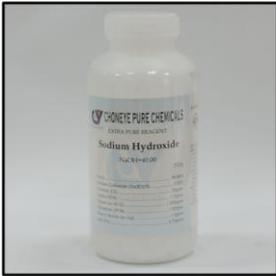
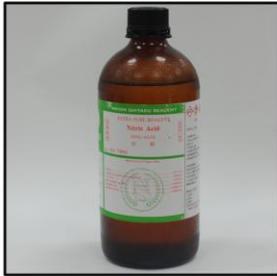
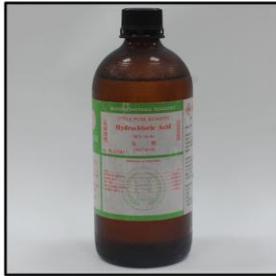
- 一、應用既有的知識技能，有效分離出鋁箔包的積層包裝材質。
- 二、探討如何降低紙、聚乙烯、鋁箔三類積層材質之回收成本。
- 三、建立一套低成本、高效益的鋁箔包回收流程。

參、研究設備及器材

一、設備

| | | |
|--|--|---|
|  |  |  |
| 烘箱 (ADJ.HEAT) | 熱風乾燥機 (DENG YNG) | PH計 (Cyber Scan pH510) |
|  |  |  |
| 粉碎機 (RT-02A) | 果汁機 (神象NJ-666M) | 相機 (Nikon D700) |

二、材料

| | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| NaOH (CHONEYE, Taiwan) | HNO ₃ (NIHON SHIYAKU< 壹級試藥>, JAPAN) | HCl (NIHON SHIYAKU< 壹級試藥>, JAPAN) |
|  |  |  |
| Na ₂ CO ₃ (CHONEYE, Taiwan) | 甲基橙液 (CHONEYE, Taiwan) | 酚酞指示液 (CHONEYE, Taiwan) |

肆、研究過程或方法

一、文獻回顧

(一) 鋁箔包⁽¹¹⁾⁽⁶⁾

在研究鋁箔包怎麼回收前，我們必須先了解鋁箔包是什麼材質做的？鋁箔包是一種複合材料包裝，共有六層材質，主要包含三種成分：75%紙、20%聚乙烯、5%鋁，如圖 1 所示。

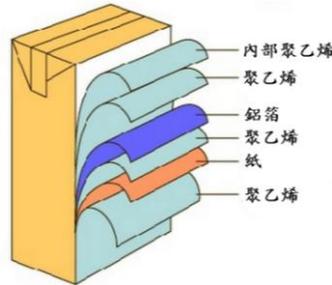


圖 1 鋁箔包共有六層材質

鋁箔包對食品的保鮮程度佳、食品中無須添加任何防腐劑或化學藥品、最節省的包裝材料、運送的相對效益高、垃圾源頭減量成效高、對保存自然資源與資源再造、節約能源及降低環境衝擊等優點。

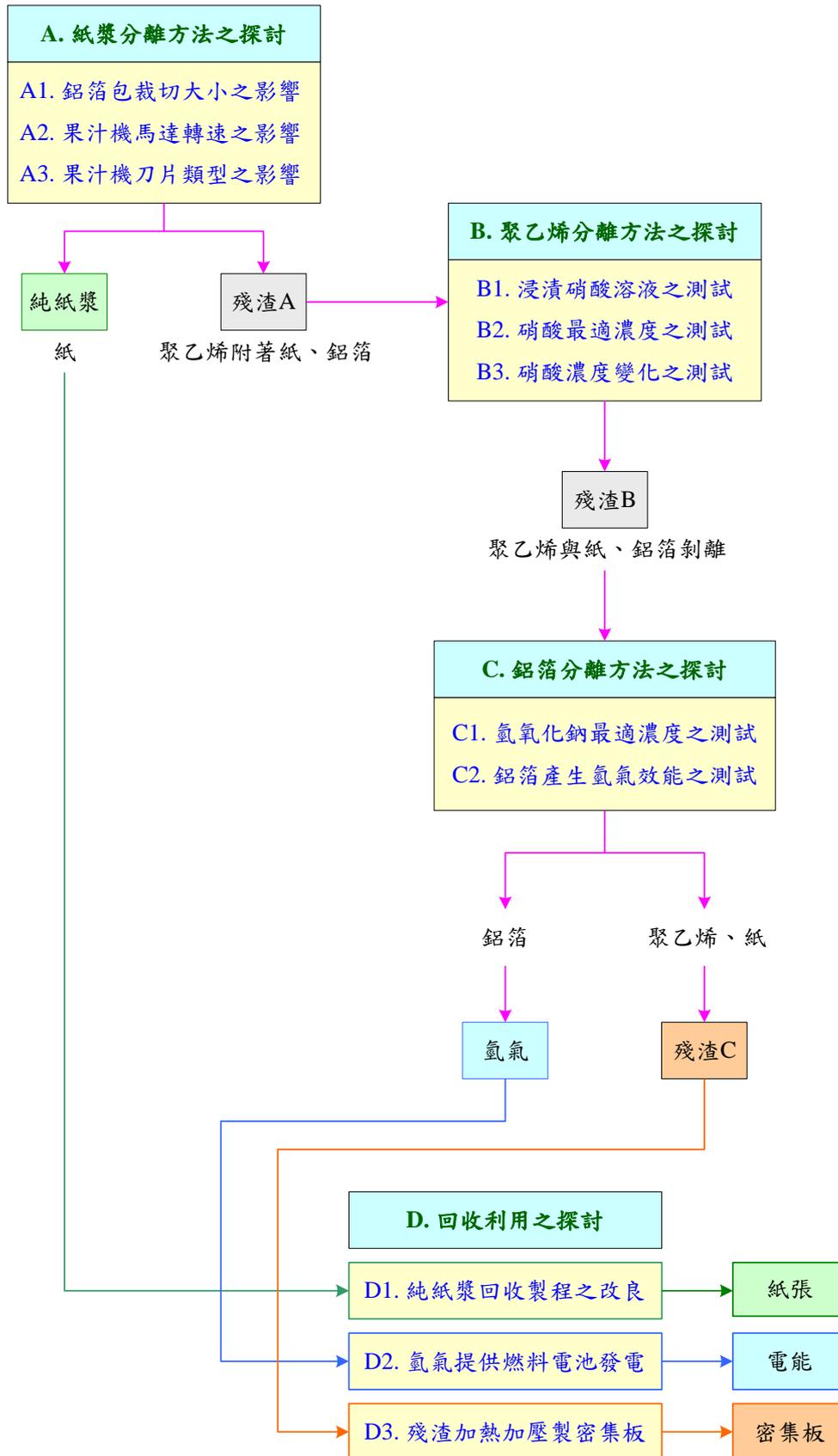
政府已將廢鋁箔包列為廢棄物資源回收的項目之一，但是不可諱言，鋁箔包這種複合材質是難以資源回收，也不好掩埋的，連焚化也要費盡力氣，因此廢鋁箔包的回收成效始終不彰，每年回收率僅維持在25%左右，表示著廢鋁箔包的回收處理有難以克服的問題

目前行政院環境保護署係將廢鋁箔包列為必須回收處理之廢棄物，國內外回收清除處理廢鋁箔包的方式有下列幾種：回收紙纖維、焚化、掩埋、燃料回收能源等。目前廢鋁箔包回收之方法，我們發現廢紙漿最好的處理方式就是再生利用，但廢渣中殘留紙、聚乙烯與鋁箔三種物質不易被分離，必須將其一併掩埋或焚化，又會有產生回收汙染問題。然而鋁金屬也是一種資源，如果可以將廢鋁箔有效回收，對環保更是一大幫助。所以我們可以嘗試將紙、聚乙烯與鋁箔三者分離回收方向進行研究。

(二) 鋁箔包回收再生成本⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽¹⁰⁾

鋁箔包既然印有回收標誌，表示鋁箔包可回收再利用，可是我們蒐集資料發現，有些資料顯示鋁箔包很環保，有些資料卻顯示鋁箔包不環保。我們很納悶，為什麼會有兩種完全不同的觀點呢？，因此，我們決定探討鋁箔包的包裝材質到底是否環保？是否值得回收再利用？

二、研究架構



三、研究方法

A. 紙漿分離方法之探討

我們蒐集許多有關鋁箔包回收的資料⁽²⁾⁽³⁾，發現由鋁箔包回收的紙漿中，仍夾雜一些鋁箔碎片，所製成的紙張會殘留鋁箔，如圖 2 所示。因此，我們第一步想改良紙漿回收方法，提高紙漿回收率，改善紙張會殘留鋁箔的缺點，提高再生紙張之商業價值。



圖 2 由鋁箔包回收的紙漿所製成的紙張會殘留鋁箔

A1. 鋁箔包裁切大小之影響

前言：

首先，我們將沒有裁切的鋁箔包，直接放入果汁機中，設定中速攪打 1 分鐘，結果鋁箔包並無法完全打碎，仍殘留一大片，如圖 3 所示。而由蒐集的有關鋁箔包回收的資料⁽²⁾⁽³⁾中發現，鋁箔包裁切大小並沒有一定標準，如圖 4 所示。因此，我們想探討鋁箔包到底要初步裁切至何種大小較為適宜呢？



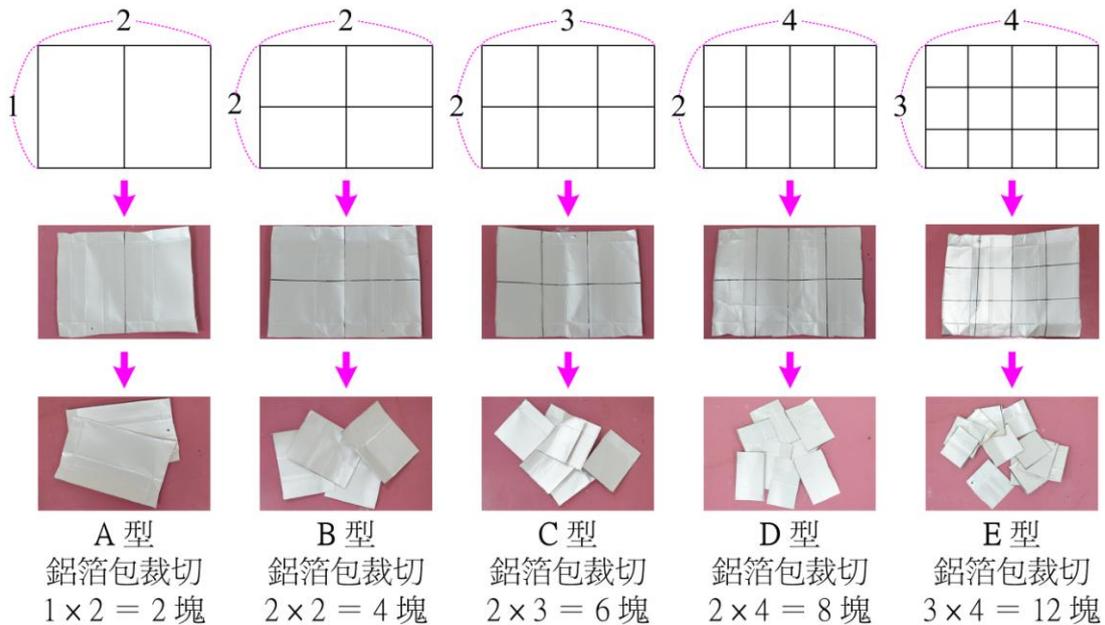
圖 3 沒有裁切的鋁箔包無法完全打碎



圖 4 蒐集的資料中鋁箔包裁切大小並沒有一定標準

步驟：

1. 實驗變因：鋁箔包裁切大小。(A、B、C、D、E五種型式)
2. 鋁箔包裁切大小共有下列五種型式：



3. 將五種裁切碎片，分別放入果汁機中，設定中速攪打 1 分鐘。
4. 先經第一道篩網 (5mesh, 孔徑 4.00mm) 過濾留下殘渣。
5. 再經第二道篩網 (18mesh, 孔徑 1.00mm) 過濾留下紙漿。
6. 觀察拍攝各樣品之殘留情形。
7. 濕紙漿以烘箱 105°C 乾燥，並秤量乾燥後紙漿重量。



8. 計算出紙漿回收率(%)。

$$\text{紙漿回收率(\%)} = \frac{\text{回收紙漿重量}}{\text{鋁箔包重量}} \times 100\%$$

結果：

1. 由圖 5 顯示，A 型裁切碎片放入果汁機中速攪打 1 分鐘，經第一道篩網過濾後，仍殘留大型碎片；B、C、D、E 型裁切碎片放入果汁機攪中速攪打 1 分鐘，經篩網過濾後，則呈現較小型碎片。

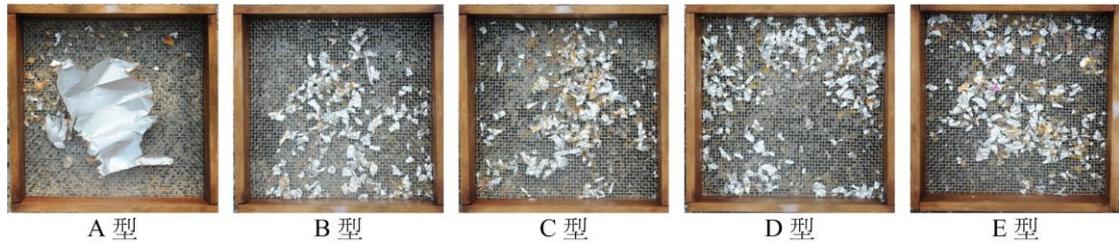


圖5 第一道過濾留下的殘渣 (聚乙烯附著紙、鋁箔)

2. 由圖 6 顯示，E 型裁切碎片經果汁機中速攪打 1 分鐘後經第二道篩網過濾，殘留在紙漿中的鋁箔小型碎片最少。

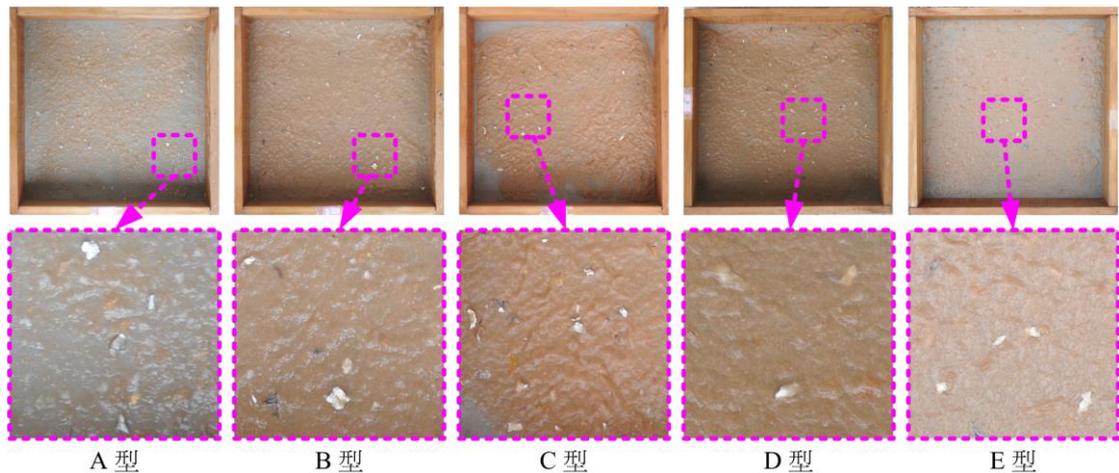


圖6 第二道過濾留下的紙漿 (夾雜少量鋁箔碎片)

3. 由表 1、圖 7 顯示，各種裁切類型之紙漿回收率中，以 A 型之回收率最低，約 29%；以 E 型之回收率最高，約 65%。

表 1 五種裁切型式之紙漿回收率

| 裁切型式 | 回收率 | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 測試一 | 測試二 | 測試三 | 平均 | 標準差 |
| A | 25.67% | 28.04% | 34.02% | 29.24% | 4.30% |
| B | 58.81% | 51.73% | 53.28% | 54.61% | 3.72% |
| C | 62.27% | 57.06% | 64.39% | 61.24% | 3.77% |
| D | 59.87% | 66.37% | 64.43% | 63.56% | 3.34% |
| E | 65.39% | 61.88% | 66.37% | 64.55% | 2.36% |

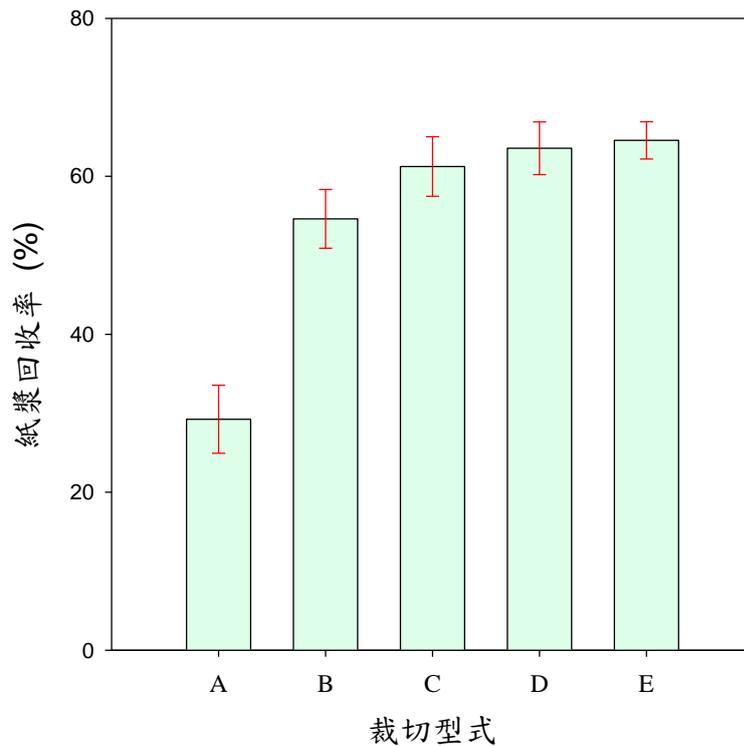


圖 7 五種裁切型式之紙漿回收率

討論：

1. 由本實驗結果顯示，E 型裁切碎片放入果汁機中速攪打 1 分鐘，經第一道、第二道篩網過濾後，紙漿中所殘留在的鋁箔小型碎片最少。而且其紙漿回收率最高，因此我們決定採取 E 型裁切碎片，其碎片大小約 5cm×5cm。
2. 雖然 E 型裁切方式所殘留在的鋁箔小型碎片最少，且其紙漿回收率最高，但是紙漿中仍會殘留少許的鋁箔碎片，回收紙漿方法仍有改良的空間。

A2. 果汁機馬達轉速之影響

前言：

由我們所蒐集的資料顯示⁽³⁾，鋁箔包使用果汁機攪打紙漿時，是在「果汁機強力攪拌下」進行，如圖 8 所示。我們推測，若果汁機馬達高速運轉，可能造成鋁箔被高速強力的葉片攪打成小碎片，本實驗探討果汁機馬達的轉速應在何種轉速下進行較適宜。



圖 8 沒有裁切的鋁箔包無法完全打碎

步驟：

1. 實驗變因：果汁機馬達轉速。(低速、中速、高速)
2. 我們分別將果汁機馬達設定三種轉速進行打漿 1 分鐘。
3. 先經第一道篩網（5mesh，孔徑 4.00mm）過濾留下殘渣。
4. 再經第二道篩網（18mesh，孔徑 1.00mm）過濾留下紙漿。
5. 觀察拍攝各樣品之殘留情形。

結果：

1. 由圖9顯示，以高速、中速攪打，經第一道篩網過濾後，殘渣呈現較小型的碎片，與「實驗A1」之結果相似。但是以低速攪打，經第一道篩網過濾後，殘渣則呈現較大型的碎片。



圖9 第一道過濾留下的殘渣（聚乙烯附著紙、鋁箔）

2. 由圖 10 顯示，以高速攪打，經第二道篩網過濾，殘留在紙漿中的鋁箔小型碎片最多；而以低速攪打，經第二道篩網過濾，殘留在紙漿中的鋁箔小型碎片最少。

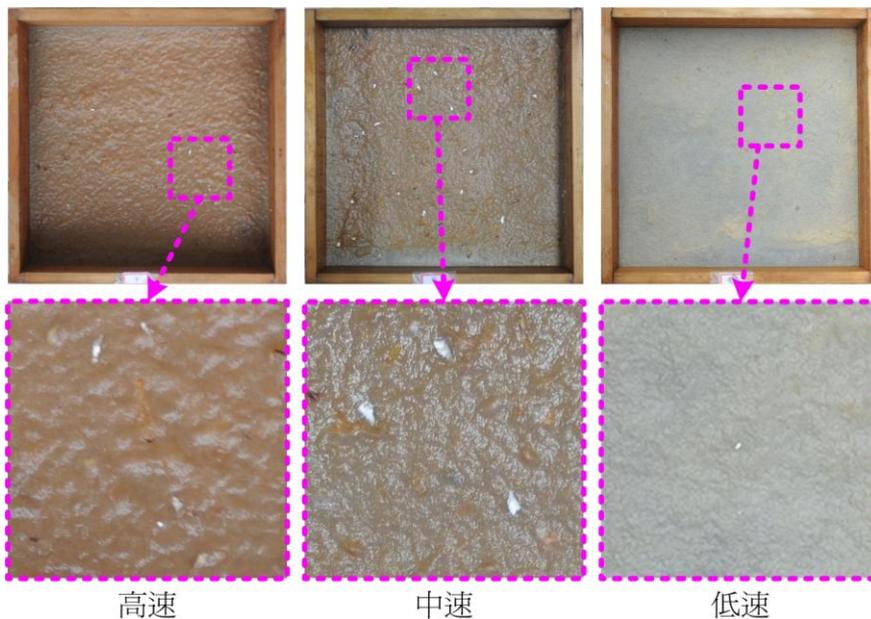


圖10 第二道過濾留下的紙漿（夾雜少量鋁箔碎片）

討論：

1. 由本實驗結果證明，果汁機馬達轉速會影響殘渣中夾雜的鋁箔小型碎片數量，馬達設定在低速運轉較不易產生鋁箔小型碎片。
2. 為何果汁機馬達設定在低速時，產生鋁箔小型碎片最少呢？應該是低速運轉所產生的剪切力量較小所致。

A3. 果汁機刀片類型之影響

前言：

雖然「實驗 A2」已經證明果汁機馬達設定在低速時，產生鋁箔小型碎片最少，但是紙漿中還是會夾雜少許的鋁箔小型碎片，本實驗希望徹底解決此問題。因此，我們參考回收紙漿用的散漿機葉片之構造⁽³⁾⁽⁹⁾，推測果汁機中原有的金屬鋒利刀片，較易將 PE 膜、鋁箔切碎，若改為塑膠鈍化刀片，提供類似搓揉的力量，預期可將鋁箔包中的紙纖維分離出來，而且較不易將 PE 膜、鋁箔切碎。

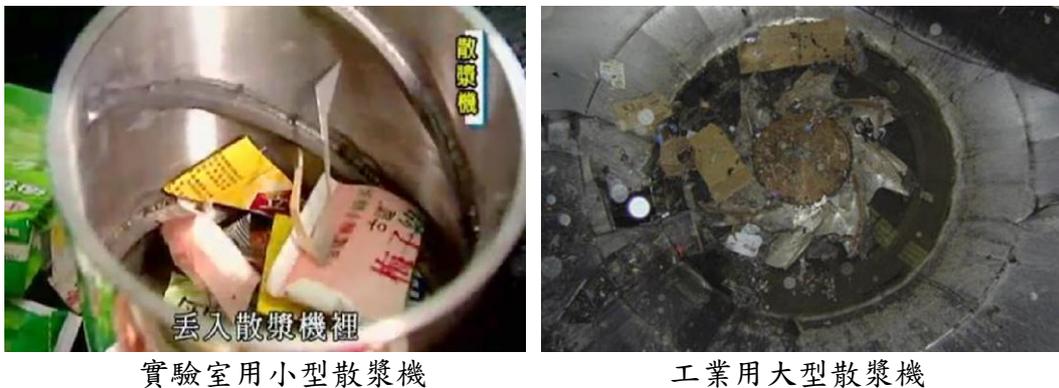


圖 11 散漿機⁽³⁾⁽⁹⁾

步驟：

1. 實驗變因：刀片類型。(金屬鋒利刀片、塑膠鈍化刀片)
2. 我們利用塑膠板為材料，裁切出和金屬刀片相同長度的塑膠刀片，並將塑膠刀片安裝在果汁機上，如圖12所示。

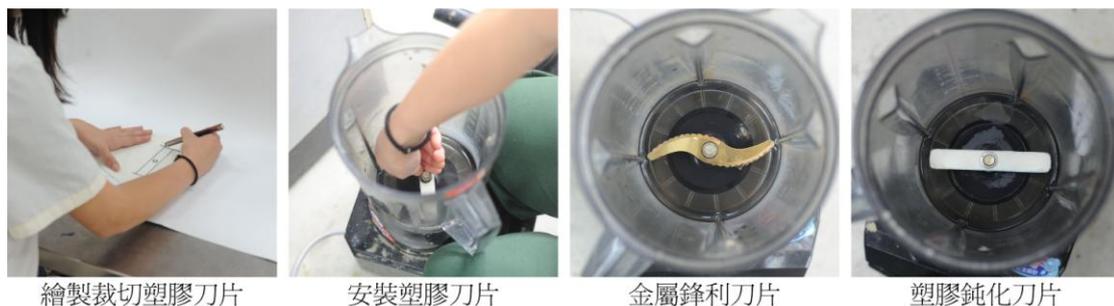


圖12 將果汁機的金屬鋒利刀片改裝為塑膠鈍化刀片

3. 我們分別將果汁機安裝金屬鋒利刀片、塑膠鈍化刀片，馬達設定低速進行打漿 1 分鐘。
4. 先經第一道篩網（5mesh，孔徑 4.00mm）過濾留下殘渣。
5. 再經第二道篩網（18mesh，孔徑 1.00mm）過濾留下紙漿。
6. 觀察拍攝各樣品之殘留情形。

結果：

1. 由圖13顯示，以金屬鋒利刀片攪打，經第一道篩網過濾後，殘渣則呈現較小型的碎片。若以塑膠鈍化刀片攪打，經第一道篩網過濾後，殘渣則呈現較大型的碎片。



圖13 第一道過濾留下的殘渣（聚乙烯附著紙、鋁箔）

2. 由圖 14 顯示，以金屬鋒利刀片低速攪打，經第二道篩網過濾，紙漿中夾雜少許的鋁箔碎片；而以塑膠鈍化刀片低速攪打，經第二道篩網過濾，紙漿中則沒有夾雜鋁箔碎片。

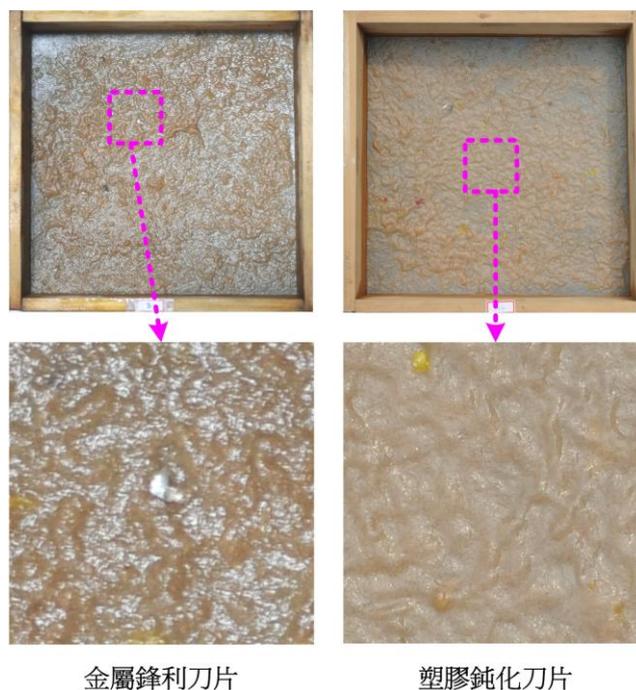


圖14 第二道過濾留下的紙漿（夾雜少量鋁箔碎片）

討論：

1. 由本實驗證明，若將果汁機的金屬鋒利刀片，改裝成塑膠鈍化刀片，在低速下攪打，經第二道篩網過濾，紙漿中則沒有夾雜鋁箔碎片。
2. 我們藉由「實驗 A1」、「實驗 A2」、「實驗 A3」一連串的實驗驗證，回收鋁箔包的紙漿，應注意下列三個關鍵點：
 - (1) 配合散漿機將鋁箔包初步裁切成適當大小，利於在短時間內分離出紙漿。
 - (2) 散漿機之轉速不宜過高，可避免將鋁箔包上的 PE 膜、鋁箔攪打成小碎片，進而回收紙漿之純度。
 - (3) 散漿機之葉片應採用圓鈍外形，可提供類似搓揉的力量分離紙漿，而不至於將 PE 膜、鋁箔切碎，達到純化紙漿之目標。

B. 聚乙烯分離方法之探討

由初步蒐集的資料顯示⁽²⁾⁽³⁾，鋁箔、PE 膜均可回收利用，如圖 15A 所示。我們仔細觀察發現，想要回收殘渣中的鋁箔、PE 膜並不容易，因為殘渣中的仍然夾雜大量的紙纖維，如圖 15B 所示。



A. 鋁箔、PE 膜均可回收利用

B. 殘渣中的仍然夾雜大量的紙纖維

圖 15 鋁箔包回收紙漿後留下之殘渣 (鋁箔、PE 膜、紙纖維之混雜物)

B1. 浸漬硝酸溶液之測試

前言：

鋁箔包回收紙漿後留下之殘渣，不受回收業者青睞的主因，應該是 PE 膜仍然與鋁箔、紙纖維緊密附著，三種材質不易分離。我們發現先前實驗留下的殘渣「PE」並未單獨分離出來，紙與鋁箔都會黏附 PE，如圖 16 所示。因此，必須尋求分離 PE 的方法。我們蒐集相關文獻發現⁽⁷⁾，「PE」會與「濃硝酸」反應；而「鋁」與「硝酸」會發生鈍化現象，只在表面形成一層緻密的氧化膜，所以我們預期浸漬濃硝酸對 PE 有分離效果。

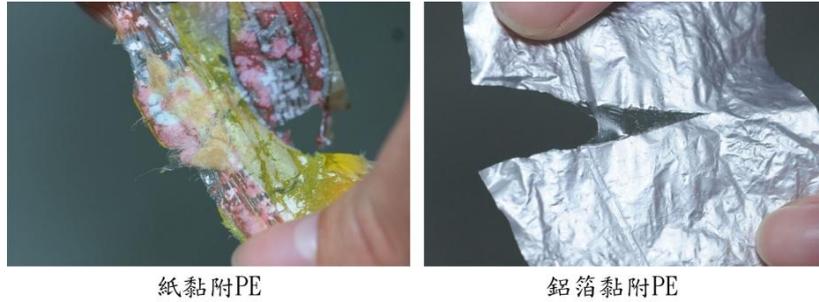


圖16 紙與鋁箔都會黏附PE

步驟：

1. 將鋁箔包回收紙漿後留下之殘渣，浸漬在濃硝酸中。
2. 觀察拍攝濃硝酸對 PE 之分離效果。

結果：

由圖17顯示，浸漬濃硝酸可快速有效分離出PE膜。

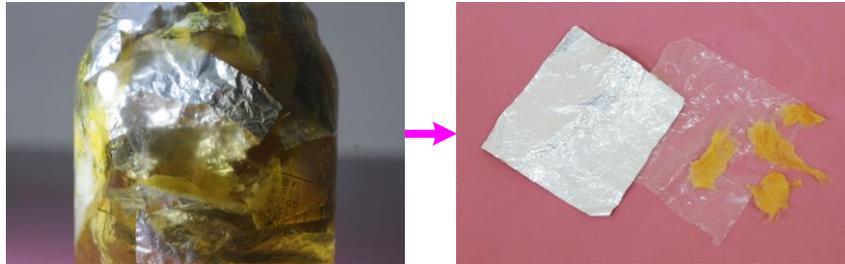


圖17、浸漬濃硝酸可有效分離出PE層

討論：

1. 濃硝酸對PE之分離效果，確實符合我們的預期。
2. 鋁箔包回收紙漿後，留下殘渣中的 PE 膜仍然與鋁箔、紙纖維緊密附著，三種材質不易分離之難題已迎刃而解，就有機會提高殘渣之利用價值了。

B2. 硝酸最適濃度之測試

前言：

由【B1.浸漬硝酸溶液之測試】證實浸漬濃硝酸可讓 PE 層分離，但我們想進一步探討硝酸溶液之濃度，希望以較低濃度的硝酸溶液達到分離 PE 膜之目標。

步驟：

1. 實驗變因：硝酸溶液之濃度。(1N、2N、3N、4N、5N)
2. 將鋁箔包以「E 型」方式裁切(約 5cm×5cm)，分別以 1N、2N、3N、4N、5N 硝酸溶液浸漬 24 小時。
3. 浸漬 24 小時後撈起殘渣，以清水洗滌殘留表面之硝酸溶液。
4. 觀察拍攝 PE 層分離情形。

結果：

1. 由圖 18 顯示，若硝酸溶液濃度愈高，則 PE 層分離情形愈明顯。
2. 浸漬時間若以 24 小時為基準，硝酸濃度在 3N 以上即可分離，但以 5N 分離效果最佳。

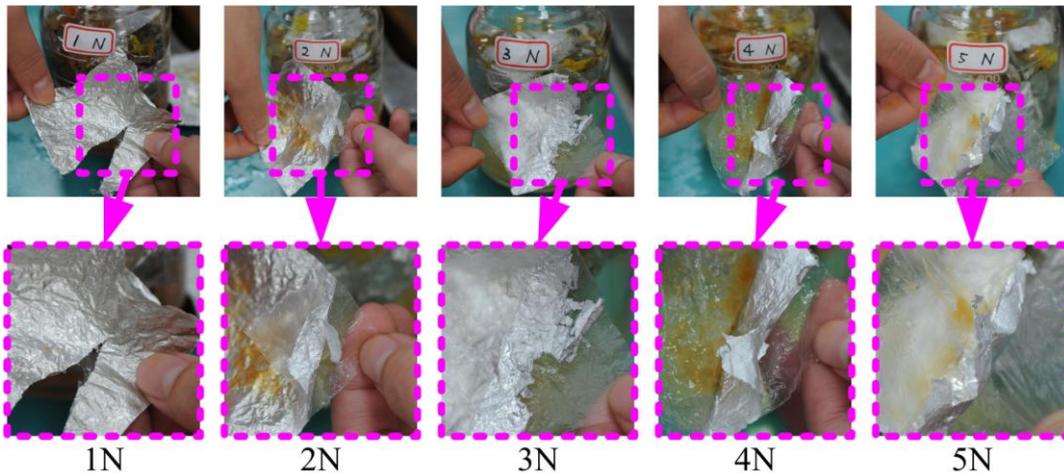


圖 18 硝酸最適濃度之測試

討論：

1. 雖然硝酸溶液之濃度愈高，分離效果愈好，但原料成本、操作危險性也愈高。
2. 硝酸濃度在 3N 以上即可分離，但考量分離各材質之效果，本研究之後的實驗，決定採用 5N 的硝酸溶液進行分離。

B3. 硝酸濃度變化之測試

前言：

為了降低成本，我們希望浸漬用的 5N 硝酸溶液可重複使用，我們擬探討浸漬 1~5 天的硝酸溶液其 pH 值變化情形。

步驟：

1. 實驗變因：浸漬殘渣次數。(0次、1次、2次、3次)
2. 將鋁箔包以「E 型」方式裁切(約 5cm×5cm)，以 5N 硝酸溶液 200ml 浸漬一天(24 小時)為一次。
3. 浸漬在硝酸溶液中的殘渣，每天更換新殘渣，並測定記錄硝酸溶液之 pH 值。
4. 將 pH 值之變化情形計算繪圖。

結果：

由表 2、圖 19 顯示，以 5N 硝酸溶液浸漬殘渣連續 3 次(3 天)，硝酸溶液之 pH 值升高之情形並不明顯。

表 2 浸漬殘渣次數對硝酸溶液 pH 值之影響

| 浸漬殘渣次數 | pH 值 | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 測試一 | 測試二 | 測試三 | 平均值 | 標準差 |
| 第 0 次 | -0.71 | -0.70 | -0.69 | -0.70 | 0.01 |
| 第 1 次 | -0.65 | -0.68 | -0.67 | -0.67 | 0.02 |
| 第 2 次 | -0.64 | -0.66 | -0.63 | -0.64 | 0.02 |
| 第 3 次 | -0.62 | -0.62 | -0.61 | -0.62 | 0.01 |

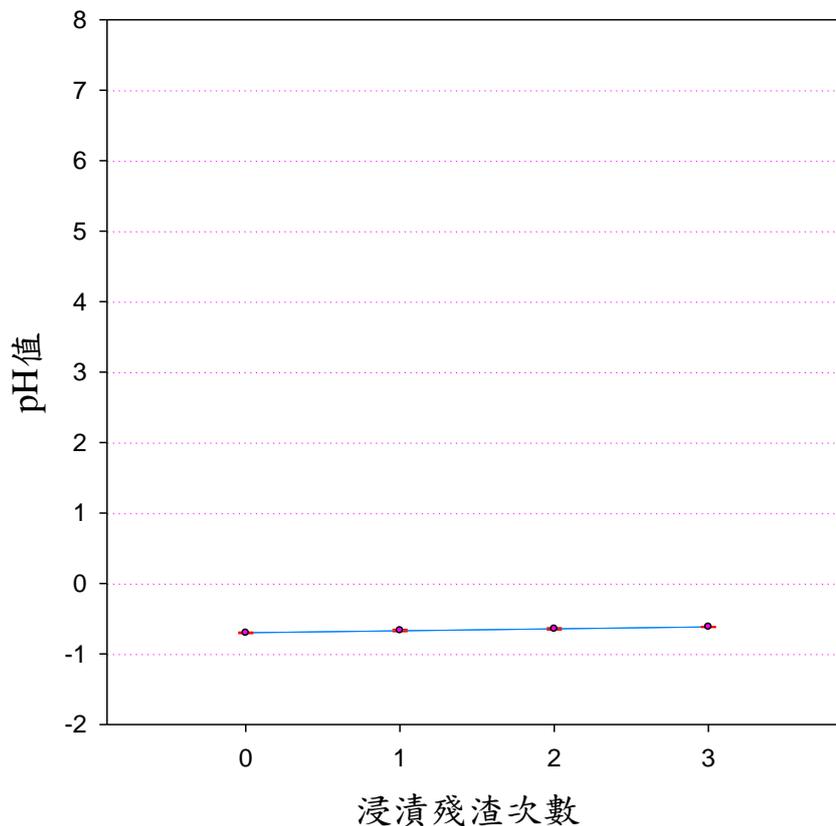


圖 19 浸漬殘渣次數對硝酸溶液 pH 值之影響

討論：

1. 我們進一步將圖 20 中硝酸溶液 pH 值之變化情形，經線性回歸分析，其回歸方程式為： $y=0.0403x-0.7543$ ， $R^2=0.9049$ 。此方程式之斜率為 0.0403，這表示 pH 值每次(每天)上升速率約 0.0403，上升速率非常小。
2. 若將表 2 中硝酸溶液 pH 值，利用 EXCEL 換算成硝酸溶液濃度(N)，我們由換算結果發現，如表 3、圖 20 所示，浸漬殘渣 4 次後的硝酸溶液是 4.14N，此

值仍然高於 4N。將圖 20 中硝酸溶液濃度(N)之變化情形，經線性回歸分析，其回歸方程式為： $y = -0.2850x + 4.9750$ ， $R^2 = 0.9989$ ，此方程式之斜率為 -0.2850 ，這表示濃度每次(每天)下降速率約 $-0.2850(N)$ ，下降速率非常小。

表 3 浸漬殘渣次數對硝酸溶液濃度(N)之影響

| 浸漬殘渣次數 | 硝酸溶液 pH 值 | 硝酸溶液濃度(N) |
|--------|-----------|-----------|
| 第 0 次 | -0.70 | 5.01 |
| 第 1 次 | -0.67 | 4.64 |
| 第 2 次 | -0.64 | 4.40 |
| 第 3 次 | -0.62 | 4.14 |

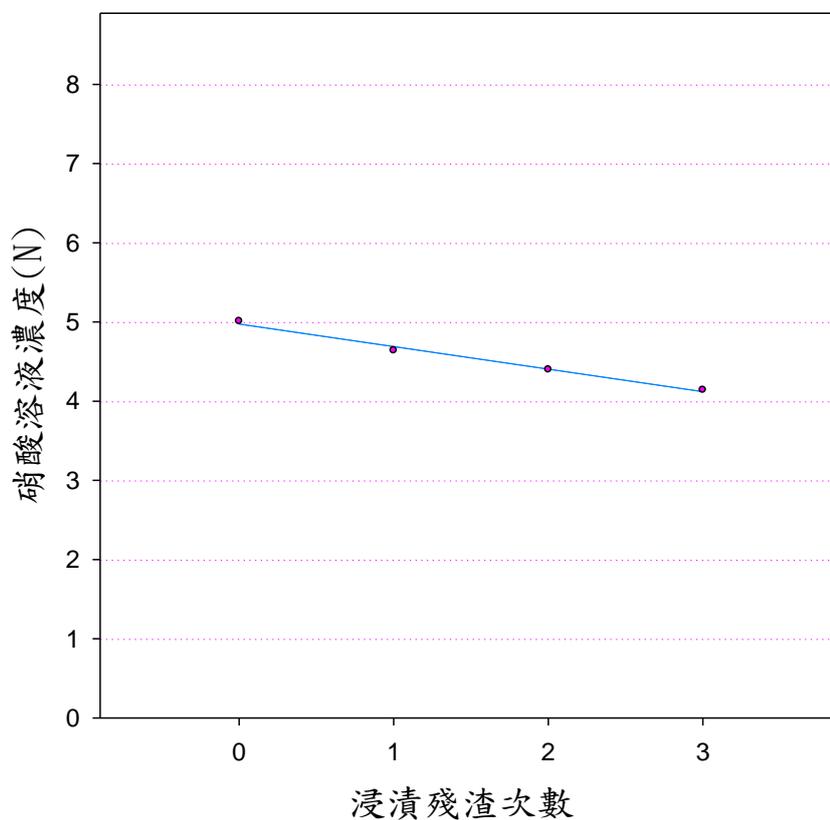


圖 20 浸漬殘渣次數對硝酸溶液濃度(N)之影響

- 由本實驗證明，5N 的硝酸溶液浸漬殘渣 3 次數後，對其濃度之影響不大，所以硝酸可以重複使用，當濃度降低至 4N 時，可再添加濃硝酸提高其濃度。因此，以 5N 硝酸溶液分離鋁箔包的 PE 層之成本不高。

C. 鋁箔分離方法之探討

C1. 氫氧化鈉最適濃度之測試

前言：

由相關資料⁽⁷⁾得知，鋁會與氫氧化鈉溶液反應產生氫氣，而氫氧化鈉溶液之應該多少較適宜呢？

步驟：

1. 實驗變因： $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 濃度。(1N、2N、3N、4N、5N)
2. 取少量殘渣中的鋁箔揉成糰狀，置入不同濃度的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 中反應。
3. 觀察拍攝鋁箔與 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 反應情形。

結果：

1. 鋁箔與 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 反應之情形，會隨著濃度遞增，反應速率愈快，如圖 14 所示。
2. 由圖 21 顯示，以 5N 的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 反應速率較適宜。

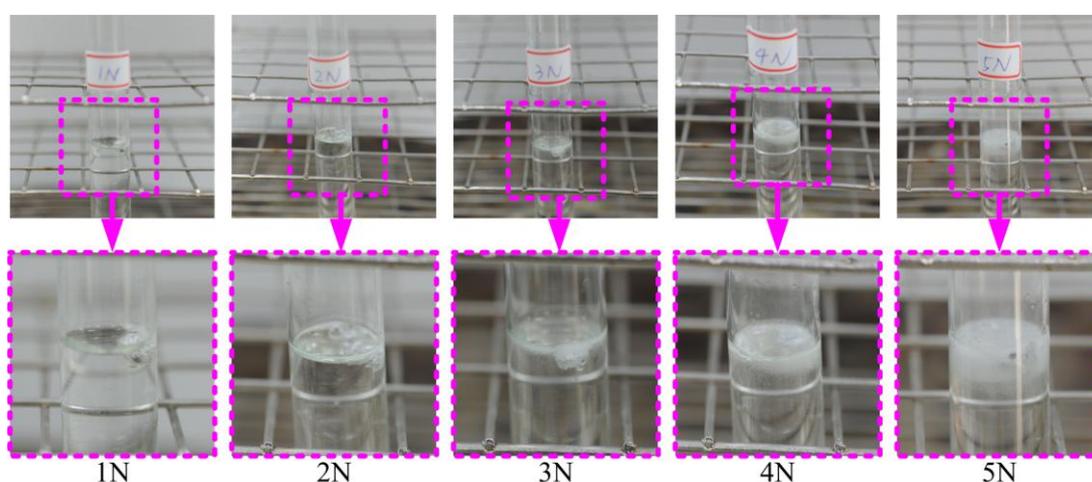


圖 21 硝酸最適濃度之測試

討論：

1. 本實驗結果， $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 濃度愈高，反應速率愈快，這與化學課本反應速率理論相符合。
2. 本研究之後的實驗，決定採用 5N 的氫氧化鈉溶液進行分離。

C2. 鋁箔產生氫氣效能之測試

前言：

鋁會與氫氧化鈉溶液反應產生氫氣，而產氫效能到底如何呢？

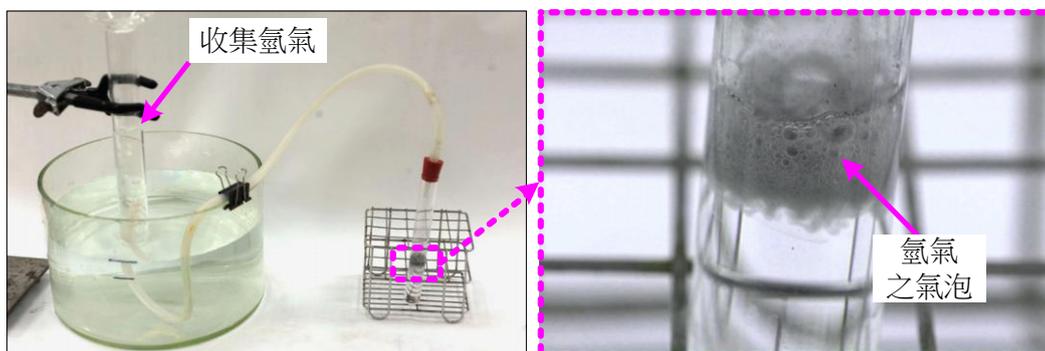
步驟：

1. 精確稱取約 0.04g 的鋁箔(殘渣中的鋁箔)。
2. 將鋁箔揉成糰狀，置入 5N NaOH_(aq) 中反應產生氫氣。
3. 以排水集氣法收集氫氣。
4. 讀取記錄收集氫氣之體積。
5. 計算鋁箔與 NaOH_(aq) 反應之產氫能力。

$$\text{產氫能力(ml/g)} = \frac{\text{產氫體積(ml)}}{\text{鋁箔重量(g)}}$$

結果：

1. 鋁箔會立即與 5N NaOH_(aq) 反應產生氫氣，如圖 22 所示。



以排水集氣法收集氫氣

鋁箔與氫氧化鈉溶液反應產生氫氣

圖 22 鋁箔會與 5N NaOH_(aq) 反應產生氫氣

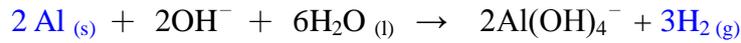
2. 鋁箔與 5N NaOH_(aq) 反應產生氫氣鋁箔的體積，利用如表 3 所示。

表 4 鋁箔會與 NaOH_(aq) 反應之產氫能力

| | 測試一 | 測試二 | 測試三 | 平均 | 標準差 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 鋁箔重量 (g) | 0.0403 | 0.0394 | 0.0419 | 0.0405 | 0.0013 |
| 產氫體積(ml) | 53.0 | 48.2 | 53.1 | 51.4 | 2.8 |
| 產氫能力(ml/g) = $\frac{\text{產氫體積(ml)}}{\text{鋁箔重量(g)}}$ | 1315 | 1223 | 1267 | 1269 | 46 |

討論：

1. 經本實驗證明，鋁會與氫氧化鈉溶液反應，並快速產生氫氣。
2. 鋁會與氫氧化鈉溶液之反應式如下：⁽⁷⁾



3. 我們利用上述反應式及理想氣體方程式，計算鋁之產氫能力：

$$\text{莫耳數比} \Rightarrow \text{Al} : \text{H}_2 = 2 : 3$$

$$1\text{g Al} = \frac{1}{27} \text{ mole Al 可產生} \Rightarrow \frac{1}{27} \times \frac{3}{2} \text{ mole H}_2$$

$$\frac{1}{27} \times \frac{3}{2} \text{ mole H}_2 \text{ 之體積 (假設在 } 25^\circ\text{C、1atm 下)}$$

$$\Rightarrow PV = nRT$$

$$\Rightarrow 1 \times V = \left(\frac{1}{27} \times \frac{3}{2}\right) \times 0.082 \times (273 + 25)$$

$$\Rightarrow V = 1.358 \text{ (l)}$$

$$\Rightarrow V = 1358 \text{ (ml)}$$

$$\therefore \text{產氫能力之理論值} = 1358 \text{ (ml/g)}$$

4. 由表 4 之實驗結果顯示，鋁與氫氧化鈉溶液反應之實測產氫能力 = 1269(ml/g)
用理想氣體方程式計算，鋁與氫氧化鈉溶液反應之理論產氫能力 = 1358(ml/g)
實測值與理論值二者相近。
5. 我們發現產氫完後試管的底部會有淤泥，如圖 23 所示。參考資料後發現，鋁和氫氧化鈉反應後除了會產生氫氣，還會產生副產物 Na【Al(OH)₄】。由圖 24 所示，Na【Al(OH)₄】其實是鋁礬土要提煉成氧化鋁的一個中間產物。因此，我們只需從 Na【Al(OH)₄】開始提煉，就可以省略前面的步驟，節省成本以及時間。

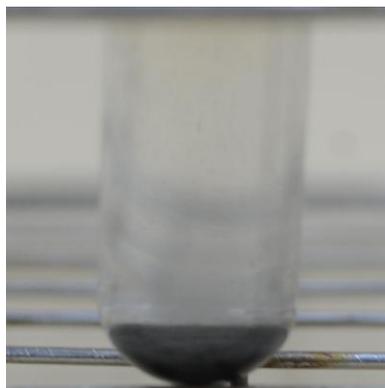


圖 23 反應完後底部淤泥

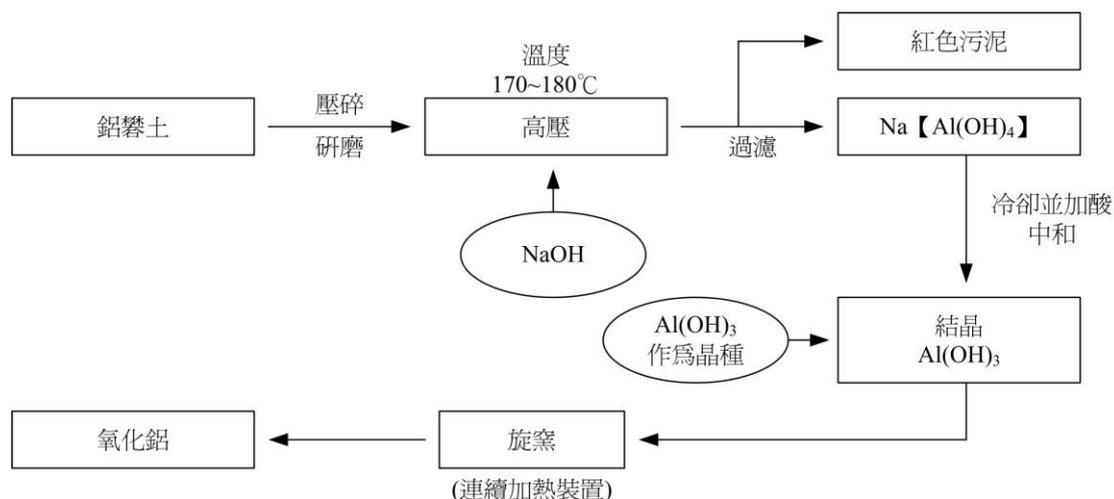


圖 24 鋁礬土製成氧化鋁過程

D. 回收利用之探討

D1. 純紙漿回收製程之改良

前言：

第一層比較粗的過濾網過濾完後，再利用較小的過濾網即可過濾出純紙漿。

步驟：

1. 我們參考相關資料⁽⁴⁾進行紙張之製作。
2. 先前漿液是以孔徑4.00mm的濾網進行過濾，其許多紙漿纖維太長，或凝聚成團，並不適合直接製作紙張。
3. 我們使用果汁機安裝金屬鋒利刀片，設定低速再打漿1分鐘，漿液以孔徑2.00mm的濾網進行過濾。濾液中紙漿之纖維較短，適合作較薄的紙張；濾網上留下的紙漿之纖維較長，適合作較厚的紙張。

結果：

我們參考製紙的相關資料，分別將纖維較長及纖維較短的紙漿製成不同厚度的紙張，如圖 25 所示。



圖25 將紙漿製成不同厚度的紙張

討論：我們可以利用纖維長和纖維短的紙漿都可以製成不同厚度的紙張。

D2. 氫氣提供燃料電池發電

前言：

由中華民國紙包裝食品推廣協會的資料顯示⁽⁵⁾，鋁箔包回收紙漿後留下之殘渣，可進一步分離鋁箔、PE 膜，再生成鋁原料、塑膠粒。此技術為西元 2005 年台灣最新發展，於 10 月已開始運作，如圖 24 所示。至於回收成本多少？並未顯示任何資料，是否其回收成本偏高，值得懷疑。



圖 26 鋁箔包可回收 PE 膜、鋁、紙纖維⁽⁵⁾

另一方面，由行政院環境保護署的資料顯示⁽¹¹⁾，在實際回收現況中，鋁箔包並非 100% 回收再利用，因為回收目標是紙漿，至於回收紙漿後留下之殘渣，通常是直接送往掩埋場掩埋或焚化。若採焚化產生熱能之回收途徑，勉強可視為 100% 的回收利用，但此種回收方法會因焚燒聚乙烯而產生廢氣，故應配備相關廢棄處理設施，其因應成本支出需列入考量。

由「實驗 B1」證實，浸漬硝酸溶液可使紙、PE 及鋁箔分開，但三者仍混雜在一起，如何使三者完全分離仍是難題。由於鋁的回收過程相當耗費能源，本研究利用氫氧化鈉溶液與鋁箔反應產生氫氣，進而轉換成電能，此一回收利用途徑，可回收潛藏在鋁箔包的能源，更加符合環保目標。

步驟：

1. 配合市售質子交換膜之規格，使用 Auto CAD 繪製壓克力板、不鏽鋼板之設計圖，利用 CNC 製作壓克力板、不鏽鋼板，如圖 27。

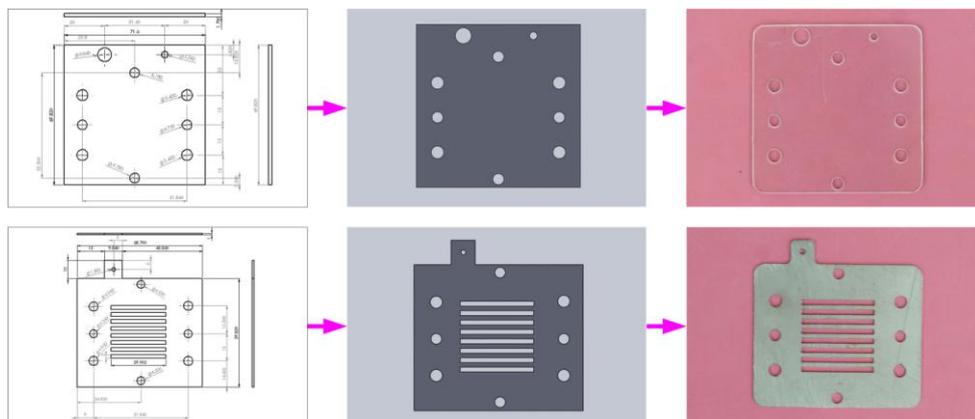
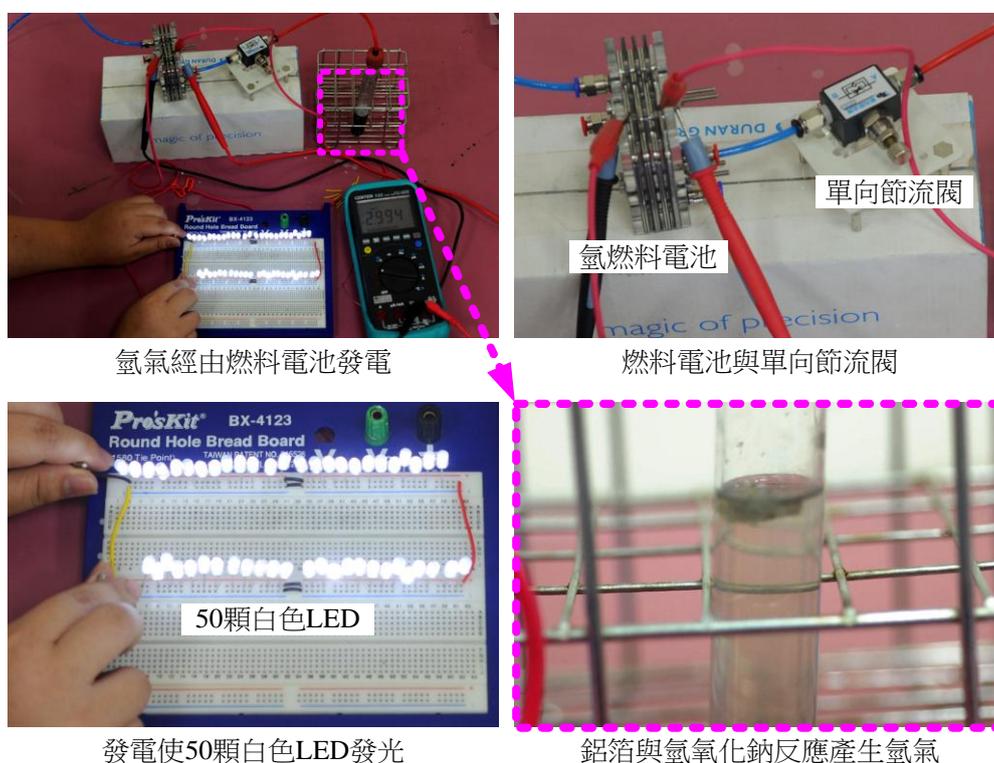


圖 27 壓克力、不鏽鋼板之設計圖與成品

2. 將市售質子交換膜、自製壓克力板、自製不鏽鋼板等零件，組裝成燃料電池。
3. 取少許含鋁箔的殘渣，加入5N氫氧化鈉10ml，將產生的氣體，連接通入燃料電池中，測試其發電能力。

結果：

由圖 28 顯示，鋁箔加入 5N 氫氧化鈉溶液中，可立即產生氫氣，將氫氣連接進入燃料電池中，可使 50 顆白色 LED 正常發光。



氫氣經由燃料電池發電

燃料電池與單向節流閥

50顆白色LED

發電使50顆白色LED發光

鋁箔與氫氧化鈉反應產生氫氣

圖28 鋁與氫氧化鈉反應產生氫氣供應燃料電池發電

討論： 鋁箔包分離出的鋁箔可以供氫燃料電池發電。

D3.殘渣加熱加壓製密集板

前言：

等燃料電池發電將鋁箔全部用盡之後剩下一些殘渣，再將這些殘渣放進熱風乾燥機乾燥，接著用粉碎機進行粉碎。

步驟：

A.

1. 原先紙漿中所夾雜的鋁箔碎片，已經與氫氧化鈉反應產生氫氣。最終殘渣中夾雜少部分的紙與PE，不易以簡單節能的方法分離。
2. 我們將3%的糯米糊液混合殘渣及部份紙漿混合，均勻塗佈在雙層鐵板之間，利用烤箱140°C加熱，，經加熱加壓處理製成密集板，如圖29所示。



圖 29 以 3% 糯米糊液放入鐵板加熱加壓

B.

1. 將 70% 殘渣加高密度的聚乙烯放入塑譜儀混煉。
2. 放入熱壓機加熱加壓製成密集板。



圖 30 將 70% 殘渣加高密度的聚乙烯加熱加壓

C.

1. 我們將殘渣進行粉碎，放入鐵板。
2. 鐵板以螺絲加壓
3. 以烤箱設定 140°C 進行加熱。

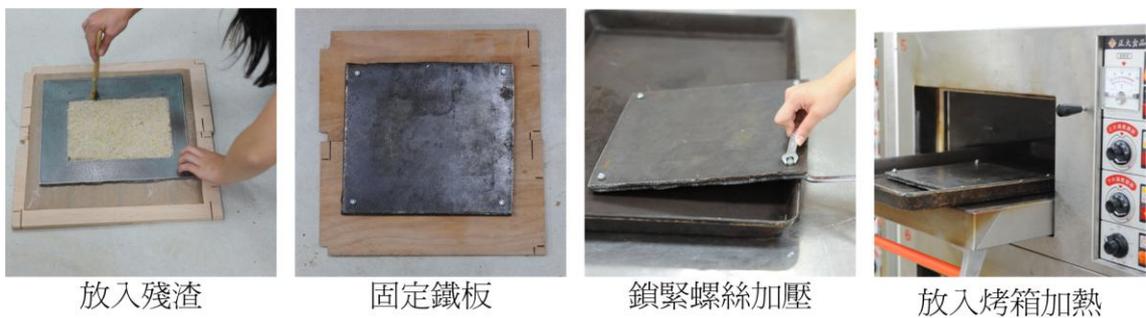


圖 31 加熱加壓

結果：

A. 加 3% 糯米糊液以鐵板加熱加壓製成密集板。



圖 32 加 3% 糯米糊液製密集板

B. 經由熱壓機以不同溫度加熱加壓後製成密集板。

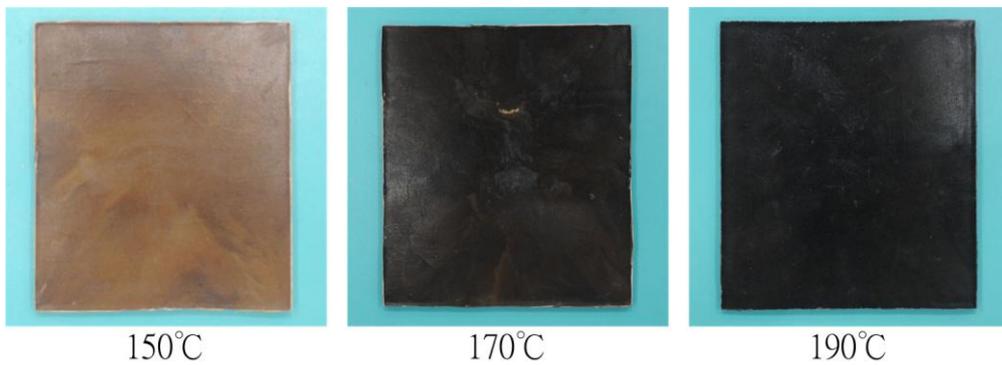


圖 33 熱壓機以不同溫度製密集板

C. 經由鐵板加熱加壓後製成密集板。



圖 34 鐵板加熱加壓製密集板

討論：

- 1.加 3%糯米糊液以鐵板加熱加壓製成的密集板，硬度並不夠硬。
- 2.經由熱壓機以不同溫度加熱加壓後製成的密集板，雖然他的硬度比較硬，但他的外觀比較黑。
3. 經由鐵板加熱加壓後製成的密集板，硬度夠且外觀比較好。

伍、研究結果

一、實驗結論

A1. 鋁箔包裁切大小之影響：

在各種裁切類型之中，以 E 型裁切碎片(約 5cm×5cm)之回收率最高，約 65%。因此本研究決定採用 E 型裁切碎片(約 5cm×5cm)。

A2. 果汁機馬達轉速之影響

由本實驗結果證明，果汁機馬達轉速會影響殘渣中夾雜的鋁箔小型碎片數量，馬達設定在低速運轉較不易產生鋁箔小型碎片。

A3. 果汁機刀片類型之影響

將果汁機中的金屬鋒利刀片，改裝為塑膠鈍化刀片，以低速攪打鋁箔包，經篩網過濾後，紙漿中則沒有夾雜鋁箔碎片。

B1. 浸漬硝酸溶液之測試

鋁箔包回收紙漿後，留下殘渣中的 PE 膜仍然與鋁箔、紙纖維緊密附著，三種材質不易分離，而浸漬濃硝酸可快速有效分離出 PE 膜。

B2. 硝酸最適濃度之測試

硝酸溶液濃度愈高，則 PE 層分離情形愈明顯，浸漬時間若以 24 小時為基準，硝酸濃度在 3N 以上即可分離，但以 5N 分離效果最佳。

B3. 硝酸濃度變化之測試

由本實驗證明，5N 的硝酸溶液浸漬殘渣 3 次(3 天)後，對其濃度之影響不大，所以硝酸可以重複使用

C1. 氫氧化鈉最適濃度之測試

鋁箔與 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 反應之情形，會隨著濃度遞增，反應速率愈快，但濃度過高，會反應太激烈，產生 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 溢出之危險，因此本研究決定採用 5N 的硝酸溶液進行分離。

C2. 鋁箔產生氫氣效能之測試

由實驗結果顯示，鋁與氫氧化鈉溶液反應之實測值與理論值相近。。

D1. 純紙漿回收製程之改良

我們成順利分別將纖維較長及纖維較短的紙漿製成不同厚度的紙張。

D2. 氫氣提供燃料電池發電

鋁箔包分離出的鋁箔可以供氫燃料電池發電。

D3. 殘渣加熱加壓製密集板

將 3%的糯米糊液混合殘渣及部份紙漿混合，再以雙層鐵板加熱加壓即可順利製作出密集板。

二、未來展望

(一) 紙張

我們每天使用大量的紙張，樹木也因為紙張原料需求而多數砍伐，藉由過濾分離的方法可讓鋁箔包中佔 75% 的紙再加以利用，例如：衛生紙、書本用紙等用途。

(二) 電能

氫氣是最理想的燃料之一。在重量相等的情況下，氫氣比其它燃料蘊藏更多的能量，氫氣的燃燒也很乾淨，除了水蒸氣外，幾乎沒有其他的產物，未來氫氣可能取代部分電力能源。

(三) 密集板

密集板大多數為鋁箔包的塑膠原料及粗纖維的紙，然而粗纖維的紙品質並不好，所以與塑膠製成密集板。

三、相關課程之應用

| 科目名稱 | 教學單元 | 作品應用部分 |
|-------------|-----------------|----------------|
| 食品化學與分析 I | 溶液的濃度及配製 | 硝酸最適濃度之測試 |
| 食品化學與分析實習 I | 酸鹼中和滴定 | 硝酸濃度變化之測試 |
| 食品化學與分析實習 I | pH 計之操作及 pH 值測定 | 硝酸與氫氧化鈉濃度變化之測試 |
| 電工概論與實習 | 直流電路 | 串、並聯電路的定義 |

陸、討論

A1. 鋁箔包裁切大小之影響：

雖然 E 型裁切方式所殘留在的鋁箔小型碎片最少，且其紙漿回收率最高，但是紙漿中仍會殘留少許的鋁箔碎片，回收紙漿方法仍有改良的空間。

A2. 果汁機馬達轉速之影響

為何果汁機馬達設定在低速時，產生鋁箔小型碎片最少呢？應該是低速運轉所產生的剪切力量較小所致。

A3. 果汁機刀片類型之影響

我們藉由「實驗 A1」、「實驗 A2」、「實驗 A3」一連串的實驗驗證，回收鋁箔包的紙漿，應注意下列三個關鍵點：

- (1) 配合散漿機將鋁箔包初步裁切成適當大小，利於在短時間內分離出紙漿。
- (2) 散漿機之轉速不宜過高，可避免將鋁箔包上的 PE 膜、鋁箔攪打成小碎片，進而回收紙漿之純度。
- (3) 散漿機之葉片應採用圓鈍外形，可提供類似搓揉的力量分離紙漿，而不至於將 PE 膜、鋁箔切碎，達到純化紙漿之目標。

B1. 浸漬硝酸溶液之測試

鋁箔包回收紙漿後，留下殘渣中的 PE 膜仍然與鋁箔、紙纖維緊密附著，三種材質不易分離之難題已迎刃而解，就有機會提高殘渣之利用價值了。

B2. 硝酸最適濃度之測試

硝酸濃度在 3N 以上即可分離，但考量分離各材質之效果，本研究之後的實驗，決定採用 5N 的硝酸溶液進行分離。

B3. 硝酸濃度變化之測試

5N 的硝酸溶液浸漬殘渣 3 次數後，對其濃度之影響不大，所以硝酸可以重複使用，當濃度降低至 4N 時，可再添加濃硝酸提高其濃度。因此，以 5N 硝酸溶液分離鋁箔包的 PE 層之成本不高。

C1. 氫氧化鈉最適濃度之測試

本實驗結果， $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 濃度愈高，反應速率愈快，這與化學課本反應速率理論相符合，本研究之後的實驗，決定採用 5N 的氫氧化鈉溶液進行分離。

C2. 鋁箔產生氫氣效能之測試

鋁會與氫氧化鈉溶液反應，並快速產生氫氣。

D1. 純紙漿回收製程之改良

我們可以利用纖維長和纖維短的紙漿都可以製成不同厚度的紙張。

D2. 氫氣提供燃料電池發電

鋁箔包分離出的鋁箔可以供氫燃料電池發電。

D3. 殘渣加熱加壓製密集板

加 3% 糯米糊液以鐵板加熱加壓製成的密集板，硬度並不夠硬。經由熱壓機以不同溫度加熱加壓後製成的密集板，雖然他的硬度比較硬，但他的外觀比較黑。經由鐵板加熱加壓後製成的密集板，硬度夠且外觀比較好。

柒、結論

- (一) 可以有效提高鋁箔包的紙漿純度及回收率。
- (二) 利用用 5N 硝酸溶液可輕易分離鋁箔包殘渣的積層包材。
- (三) 經硝酸溶液處理的鋁箔包殘渣，加入氫氧化鈉溶液可與鋁箔反應產生氫氣，進而透過燃料電池產生電能。
- (四) 最終殘渣經加熱加壓製成密集板，可作為家具、文具製作材料。
- (五) 本研究將鋁箔包達到 100% 回收再利用。

捌、參考資料及其他

- 1.大愛電視。呼叫妙博士－認識鋁箔包。
<https://www.youtube.com/watch?v=gUwpiMUL79Y>
- 2.大愛電視。新聞報導－鋁箔包碳足跡。
<https://www.youtube.com/watch?v=ULeFepx4R2A>
- 3.大葉大學 環境工程系。流言追追追-鋁箔包回收過程大公開！
<https://www.youtube.com/watch?v=nsquzO7XW1g>
- 4.中村三郎 著／高淑珍 譯 (2003)。圖解資源回收與再生利用，初版，p38~p40、p114~119。世茂出版社。
- 5.中華民國紙包裝食品推廣協會。舉手之勞作回收-「鋁箔包」正確回收分類。
<http://www.papercarton.org.tw/index.pHp?module=intro&mn=1>
- 6.利樂包裝股份有限公司網站。<http://www.tetrapak.com/tw>
- 7.曾國輝 (1993)。化學 第二版 (下)，再版，P.860。藝軒圖書出版社。
- 8.維基百科。<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%81%9A%E4%B9%99%E7%83%AF>
- 9.劉國青 (2006)。廢紙包投入散漿機桶槽作業之安全探討。勞工安全衛生研究所。
- 10.環保生活網。購買鋁箔包飲料前請三思。
http://my.so-net.net.tw/gaia_hwang/main/life/f991003.htm
- 11.魏國棟 (1999)。廢鋁箔包及廢紙盒包回收清除處理之成本效益評估。行政院環境保護署。

【評語】 091103

1. 本作品探討一種鋁箔包回收再利用方法，探討操作變因包括鋁箔包裁切尺寸、果汁機轉速、果汁機刀片類型、浸漬硝酸濃度、氫氧化鈉濃度等，並將回收分離出的鋁箔與氫氧化鈉反應產生氫氣，將回收紙漿製成紙張及將殘渣壓製成密集板。
2. 鋁箔包是目前大量使用的食品容器之一，由於結構包含多層塑膠膜與紙，不易回收再利用，造成環保問題。本作品提出一套回收再利用方法，實作架構大致完整，具體可行，已獲初步成果。
3. 本組學生表達清晰，對於作品內含亦相當熟悉，值得肯定。
4. 本作品的研究目的之一在建立一套低成本、高效益的鋁箔包回收流程，但仍運用高濃度硝酸與氫氧化鈉，宜進一步評估所產生廢水的處理技術。另宜檢索鋁箔包回收再利用技術專利及文獻，再進行深入研究。