

循環經濟實例

咖啡膠囊鋁殼回收技術之研究

王逢新 / 優勝奈米科技研發工程師
許景翔 / 優勝奈米科技總經理

本研究主要是利用化學方式回收咖啡膠囊的鋁外殼，將咖啡膠囊分解後，將鋁殼以環保鹼性鋁剝除劑溶解，將其製成氫氧化鋁 (Al(OH)₃) 粉末，而咖啡渣能夠回收變成肥料、衣服。實驗結果顯示，鋁剝除劑能夠有效、安全地溶解鋁外殼，過濾掉外層的塗料與內層的塑膠膜，再經由酸鹼中和，就能夠取得氫氧化鋁沉澱。將原本在使用後廢棄的咖啡膠囊變成可再利用的資源，達成循環經濟的理念，有助於膠囊咖啡產業的永續經營。

一、前言

咖啡膠囊的特色在於，能夠簡單方便的沖泡出一杯香濃的咖啡，根據美國咖啡協會 (National Coffee Association) 統計，全美已有四分之一的消費者使用咖啡膠囊。然而在驚人的銷售量背後，使用後棄置產生的環保問題，使咖啡膠囊的發明

者 John Sylvan 都認為：「有時候真後悔發明了它！」。

鋁製的咖啡膠囊有可能導致阿茲海默症 (Alzheimer's disease)，根據 SGS 檢測，每顆雀巢膠囊沖泡的咖啡含鋁量為 0.15ppm，因此長期飲用是否會造成鋁金屬在體內的沉積，也是個值得關注的議題。

據統計，全球每年超過 200 億個膠囊被使用，產生的垃圾高達 9 萬公噸，而只有 5% 被回收，也就是說絕大多數都被棄置。被當成垃圾的膠囊送到掩埋場掩埋，得花上數百年才能夠分解，而被送去焚化爐的膠囊，除了會造成 PM 2.5 及戴奧辛的空氣汙染，焚燒後的爐渣若處理不當，還會造成土壤的汙染^[1-2]。少數被回收的鋁殼，則進行冶煉製成鋁錠，但是會產生具毒性的廢鋁渣，會與空氣中的氮氣反應，產生有刺激性的氨氣^[3-4]。綜合上述，找到安全、環保的咖啡膠囊的回收技術，已成為一項重要的

課題，也是本研究重點。

咖啡膠囊可分為咖啡渣、塑膠膜與鋁殼三大部分，含有許多可回收的成分。咖啡渣含有大量的氮化物，很適合當肥料，或將咖啡渣混合再生紙漿、澱粉，製成各類紙製品，也能將咖啡渣萃油後，做成防臭的纖維，還有許多不同種類的回收用途^[5]；耐熱的塑膠膜則能回收製成電器外殼、輪子等有彈性的產品；而鋁殼能夠回收再製成各種鋁製品。

NESPRESSO 咖啡已有一套咖啡膠囊的回收流程，但是鋁的回收是使用傳統高耗能、產生有毒廢鋁渣的熔煉方式，雖然概念上朝向循環經濟邁進，可是使用的方法仍然會對環境造成傷害。本研究提出另一種有效、安全的回收方式：使用環保鹼性剝鋁劑溶解鋁外殼後，再經由酸鹼中和，取得氫氧化鋁 (Al(OH)₃) 沉澱，達成回收鋁的目的。

二、實驗方法

(一) 拆解

本研究是以使用過的市售鋁製咖啡膠囊進行測試，先以簡單的工具將膠囊底部切開，將咖啡渣倒出後，將其烘乾，測得咖啡渣含水率 66%，再將拆解後的膠囊分為咖啡渣、外殼、塗料+塑膠膜等三部分，如圖 1 所示。各組成的重量比例分別為咖啡渣 80%、外殼 19%、塗料+塑膠膜 1%，如圖 2 所示。本研究僅取鋁殼進行至下一個步驟。

濾後，進行酸鹼中和，調整 pH 值 廢水排放標準，其 pH 值 6~9，能至 6，就會形成氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 夠達成廢液酸鹼中和。沉澱。而剩餘的濾液，符合目前的

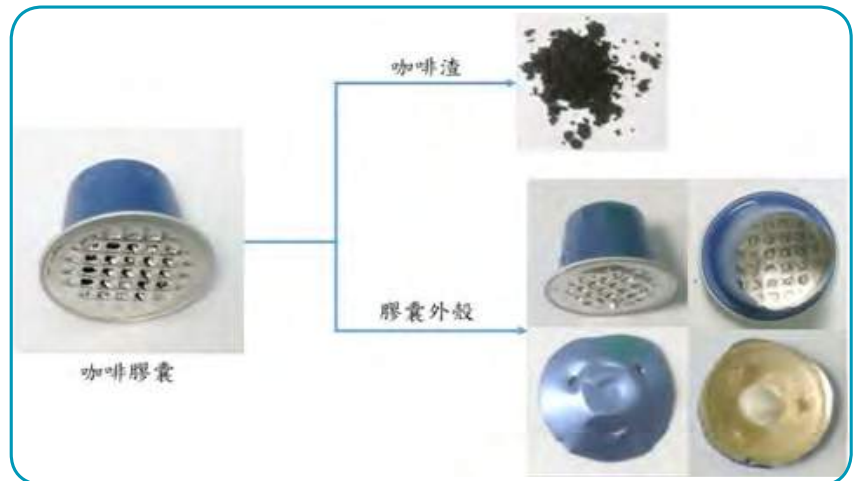


圖 1 咖啡膠囊分解

(二) 溶解鋁殼

將鋁殼以環保鹼性鋁剝除劑進行溶解，濾掉殘渣 (塗料+塑膠膜)，依照氫氧化鋁在不同 pH 值時的溶解度 (表 1)，可以發現在 pH 值為 6 時溶解度最低，故將濾液進行酸鹼中和至 pH=6，能夠得到最多氫氧化鋁沉澱。實驗操作如圖 3 所示，經酸鹼中和至 pH=6，過濾並將其烘乾，取得氫氧化鋁粉末。

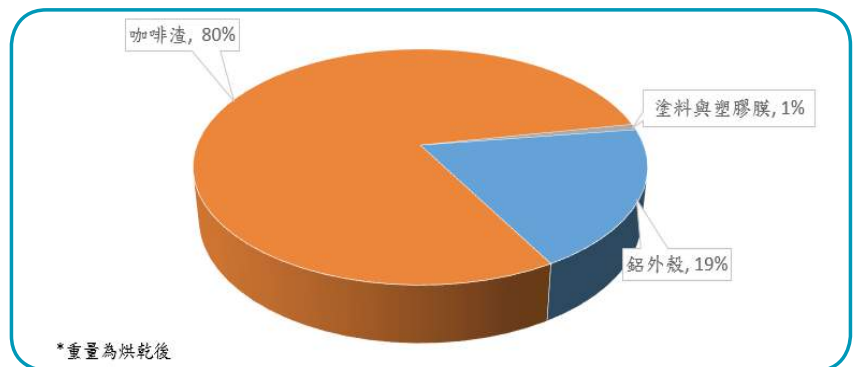


圖 2 咖啡膠囊重量分布

表 1 氫氧化鋁在不同 pH 值下的溶解度

pH 值	溶解度 (mol/L)
4.0	2.0×10^{-2}
5.0	2.0×10^{-5}
6.0	4.2×10^{-7}
7.0	4.2×10^{-6}
8.0	4.0×10^{-5}
9.0	4.0×10^{-4}
10.0	4.0×10^{-3}
11.0	4.0×10^{-2}
12.0	4.0×10^{-1}

三、結果與討論

使用環保鹼性剝鋁劑，在溶解鋁殼的反應過程中不會有氣體產生，反應也不會很劇烈，屬於安全的溶解過程，如表 2 所示。溶解完的鋁殼會以偏鋁酸鹽 ($[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$) 存在於剝鋁劑中，將塗料與塑膠膜過

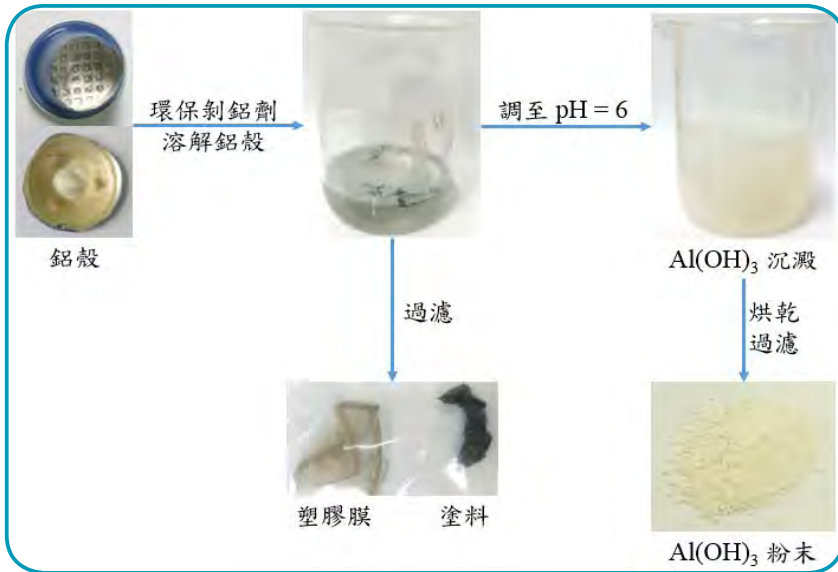


圖 3 鋁殼處理流程

參考文獻

[1] 廢棄物處理與資源化, 章裕民著, 新文京出版社, 2011
 [2] 固體廢棄物處理, 黃正義、謝錦松著, 淑馨出版社, 2003
 [3] 有害廢棄物污染防治, 張漢昌著, 新文京出版社, 2008
 [4] 鋁渣熔煉排放飛灰共處理高濃度含氟廢水同時除去重金屬與氟離子之技術研究, 國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系, 蔡政賢, 郭益銘, 郭素卿, 蔡瀛逸, 2010
 [5] 咖啡渣再利用之研究, 國立成功大學工程學系, 周榮華, 林以萱, 2014
 [6] 循環經濟, 黃育徵, 天下雜誌出版, 2017

表 2 環保鹼性剝鋁劑操作規範

參數	操作範圍	建議參數
環保剝鋁劑	200~400 g/L 加水配置成 1L	300 g/L 加水配置成 1L
溫度	30~70°C	50°C
反應時間	30~180 分鐘	90 分鐘

本研究溶解鋁殼生成氫氧化鋁，提取率大於 98%，能夠有效的取出咖啡膠囊中的鋁；使用一種對環境無害的方式進行鋁的回收，以解決咖啡膠囊隨意丟棄的問題。

四、結論

本研究藉由環保鹼性剝鋁劑取出咖啡膠囊中的鋁，提供一種對環境友善的回收咖啡膠囊方式，以綠色的方法達成循環經濟；而剩餘的材料：咖啡渣及塑膠膜，能夠進入

回收系統，再製造成肥料、衣服或其他塑膠製品，完成整顆咖啡膠囊的回收，使其成為可再利用的資源，達到循環經濟的理念：零排放、零廢棄；產生出的副產物或廢棄物並不會被看作是「垃圾」，而是可成為新的生產週期的原材料和素材^[6]。

《本文為 TCIA 會員優勝奈米科技研發成果》