

廢棄物類

臺灣熱裂解處理廢塑膠再利用 製油技術介紹

楊仁泊*、劉耀仁**

摘 要

廢塑膠一直是臺灣石化王國欲減量廢棄物，每年在海灘出現大量廢塑膠垃圾時有所聞，對於海洋生態破壞也為人所詬病。保守估計每年國內產生廢塑膠量約有 162 萬公噸，至少約有 100 萬公噸廢塑膠未進入再利用體系，僅能依賴焚化或掩埋方式處理，惟目前各焚化廠又拒收這些廢塑膠資收物，使得廢塑膠處理儼然成為國內急迫亟待解決一大課題。由於廢塑膠具有非常高揮發物成分，且熱裂解又可以處理所有種類廢塑膠，使得熱裂解技術在處理廢塑膠具有極大優勢。本文所介紹熱裂解處理廢塑膠技術，乃屬國內自行開發已可商業化技術，連續式混合進料且不添加任何催化劑，每天可處理至少 50 公噸以上廢塑膠，產物中再生燃料油比例約為 40% (35~45%)、石油氣(petroleum gas) 20% (12~25%)、碳黑 20% (15~25%)以及水分 20% (15~25%)，同時提出空氣污染防制處理及技術特色，最後並對本技術設置提出概估之投資及操作營運成本分析，提供國內業界以及主管機關參考。

【關鍵字】廢塑膠、熱裂解、再生燃料油

* 百崙環境科技股份有限公司 總經理








** 百崙環境科技股份有限公司 工程師

一、前言

1.1 廢塑膠種類與用途

塑膠屬於石化製品，原本於自然界中並不存在，也無法經自然分解後回歸自然界循環使用，因而造成了所謂的「萬年垃圾」；加上石油的開採、運輸和煉製等過程，都會消耗相當多的資源、能源及製造一定程度的污染。因此，基於愛惜資源及疼惜環境，回收並重複使用廢塑膠物品及容器有其必要。一般社區或學校進行回收工作時，通常將所有的塑膠歸為一個大類，回收商回收後需要進一步將之細分類為 PET(聚乙稀對苯二甲酸酯)、PVC(聚氯乙稀)、PE(聚乙稀)、PP(聚丙稀)、PS(聚苯乙烯)等，才能為後端再生工廠所利用，目前這部分的工作還多倚賴人工進行分類。塑膠材質因種類多、辨識不易，美國塑膠工業協會製定一套 3 個順時針方向循環箭頭構成的三角形號碼標識，分別編碼來代表 7 類不同的塑膠材質(如表 1 所示)。廢塑膠依加熱性質不同，主要可區分為熱塑性塑膠以及熱固性塑膠兩大類。其中表 1 所示 7 大標誌之 1~6 均係屬於熱塑性塑膠，國內在此方面之資源回收工作做得相當不錯，統計 104 年回收了 18.4 萬公噸的廢塑膠容器，創造了約 29.3 億元產值的再生原料。以 PET 瓶(俗稱寶特瓶)為例，經過分類回收再利用處理後，可製成假髮、拉鍊、包裝盒(紙)、填充棉、不織布、聚酯布料、衣物及毛毯等(Singh et al., 2017)。慈濟用於賑災的毛毯，就是 100% 以我國回收的寶特瓶所製成的紡織品，為垃圾變綠金的實例(環保署 103 年 4 月號資源回收電子報)。

表 1 美國塑膠工業協會製定 7 類塑膠材質三角形號碼標識及用途

七大標誌							
塑膠材質	聚乙稀對苯二甲酸酯	高密度聚乙稀	聚氯乙稀	低密度聚乙稀	聚丙烯	聚苯乙烯 (若有發泡即保麗龍)	其他類(PE、ABS、PA or Nylons、PBT)
常見用品	保特瓶	清潔劑瓶、鮮奶瓶	沙拉油瓶、收縮膜、標籤	塑膠袋、夾鏈袋、塑膠杯	免洗餐具、飲料瓶、杯蓋	養樂多瓶、泡麵碗、豆漿杯、免洗湯匙	複合材質及其他塑膠類如牙膏、壓克力、耐龍
回收再生用品	假髮、蛋盒、包裝盒、填充棉不織布	工具箱、水管、垃圾袋	人造皮革、電線覆皮、水管	塑膠棧板、帽沿	花盆架、OA傢俱、運動器材、腳踏墊、汽車保險桿	玩具、筆筒、相機及錄影帶外殼、建築合成材料	鋁箔、繩子、安全帽

資料來源：臺中市政府環境保護局再生製品網站資料

1.2 廢塑膠近似分析(proximate analysis)

有關廢塑膠近似分析，或稱為一般分析，整理如表 2 所示(Anuar Sharuddin et al., 2016; Al-Salem et al., 2017)，包括有水分(moisture)、固定碳(fixed carbon)、揮發物(volatile)以及灰分(ash)等。表中顯示，廢塑膠組成以揮發物比例最高，幾乎都在 9 成重量百分比(wt%)以上，這也顯示倘以純(乾淨)廢塑膠進行製油時，殘留固體物(residue)如碳黑(carbon black)或炭(char)比例將極為低微，大都以油(crude oil)、氣(gas)之產物呈現。固定碳比例最高者為 PET(聚乙烯對苯二甲酸酯)之 7.77~13.17 wt%，其次為 PVC(聚氯乙烯)之 5.19~6.30wt%，而以 LDPE(低密度聚乙烯)之 0.00 wt%、高密度聚乙烯(HDPE)之 0.01~0.03wt% 以及聚乙烯(PE)之 0.04wt% 等聚乙烯類型塑膠所含固定碳之比例最低。

表 2 廢塑膠近似分析表

廢塑膠分類	水分(wt%)	固定碳(wt%)	揮發物(wt%)	灰分(wt%)
PET	0.46~0.61	7.77~13.17	86.20~91.77	0.00~0.02
HDPE	0.00	0.01~0.03	98.57~99.81	0.18~1.40
PVC	0.74~0.80	5.19~6.30	92.90~94.07	0.00
LDPE	0.30	0.00	99.30~99.70	0.00~0.40
PP	0.15~0.18	0.16~1.22	95.05~97.70	1.99~3.55
PS	0.25~0.30	0.12~0.20	99.50~99.63	0.00
PE	0.10	0.04	98.87	0.99
ABS	0.00	1.12	97.87	1.01
PA or Nylons	0.00	0.69	99.31	0.00
PBT	0.16	2.88	96.96	0.00

資料來源：Anuar Sharuddin et al.(2016)；Al-Salem et al.(2017)

1.3 廢塑膠熱裂解製油比例文獻

廢塑膠進行熱裂解主要控制參數包括有熱裂解溫度、反應器型式、停留時間、壓力(真空、常壓或加壓)、催化劑以及進料速率(flow rate)等。溫度越高，熱裂解反應越快，相對的耗能亦越大。國外文獻中廢塑膠熱裂解產物主要以油(crude oil)、氣(gas)及殘留固體物(residue)等 3 類為主，整理比較如表 3 所示(Anuar Sharuddin et

al., 2016; Kunwar et al., 2016; Al-Salem et al., 2017; Wong et al., 2015; Miandad et al., 2016)，熱裂解溫度介於 300~740℃，以 PVC 塑膠之產油量最低(12.3~12.79wt%)，其次為 PET 塑膠(23.1~38.89wt%)，其他種類(HDPE、LDPE、PP、PS、PE)則皆有高逕 90wt% 以上水準。由於 PVC 塑膠係由 57% 氯(chlorine)以及 43% 碳(carbon)所製造而成，因高比例含氯，使 PVC 具良好耐火性(fire resistance)，適合用於電氣絕緣(electrical insulation)，例如電線覆皮(Anuar Sharuddin et al., 2016)。Miranda 等人(1998)採真空批次式熱裂解 PVC 塑膠，熱裂解溫度為 520℃，爐體壓力為 2kPa，可得到 12.79wt% 之產油量，但也產生 58.2wt% 鹽酸；Williams PT 及 Williams EA (1998)採流體化床常壓(1atm)下進行熱裂解 LDPE 塑膠，熱裂解溫度為 600℃，得到 51.0wt% 之產油量，同時亦產生 24.8wt% 之蠟(Anuar Sharuddin et al., 2016)。

表 3 廢塑膠熱裂解產物比較表

廢塑膠分類	油(wt%)	氣(wt%)	殘留固體物(wt%)	備註
PET	23.1~38.89	52.13~76.9	0~8.98	
HDPE	68.5~91.2	4.1~31.5	0~9.7	
PVC	12.3~12.79	0.34~87.7	0~12.3	鹽酸(HCl)=58.2wt%
LDPE	51.0~95.0	5.0~24.2	0~7.5	蠟(Wax)=24.8wt%
PP	48.8~92.3	4.1~49.6	0.12~13.3	
PS	89.5~97.0	2.50~9.9	0~4.0	
PE	88~96	7.0	0~10	
ABS	72~84	5~20	4~11	

資料來源：Anuar Sharuddin et al.(2016)；Kunwar et al.(2016)；Al-Salem et al.(2017)；Wong et al.(2015)；Miandad et al.(2016)

二、臺灣廢塑膠再利用概況

2.1 臺灣廢塑膠產量推估

臺灣廢塑膠依使用來源可分為民生用品(即執行機關垃圾清理部分)以及工業製程等兩部份所產生。由於工業製程產生廢棄物之可燃部分大都進入焚化體系方式處理，故以國內 24 座大型垃圾焚化廠處理方式進行推估。根據 105 年執行機關垃圾清理狀況推估顯示，一般垃圾中廢塑膠組成佔約 16.61%，所以廢塑膠量約有 505,824

公噸，巨大垃圾及資源垃圾中廢塑膠比例逕以 15% 推估得到塑膠量約有 568,493 公噸，兩者合計得到塑膠量 I (推估 1)約有 1,074,317 公噸，此與直接採用總垃圾量 7,411,184 公噸之 15% 計算得到塑膠量 I (推估 2)約有 1,111,678 公噸數據相近。而在一般事廢(含辦公場所等)進入焚化體系推估方面，105 年垃圾焚化處理量為 6,392,158.84 公噸，扣除執行機關垃圾清理之焚化量 2,993,435 公噸，一般事廢焚化處理量約有 3,398,723.84 公噸，直接以 15% 進行估算廢塑膠量，可得到廢塑膠量 II 約有 509,808.58 公噸。最後再將廢塑膠量 I (推估2)之 1,111,678 公噸與廢塑膠量 II 之 509,808.58 公噸兩者加總，可得到廢塑膠總產量約有 1,621,486.58 公噸，亦即國內每年廢塑膠產量約有 162 萬公噸(如表 4 所示)。

表 4 國內 105 年垃圾清理量推估廢塑膠產量分析結果表

執行機關垃圾清理	總計(公噸)	一般垃圾	巨大垃圾	資源垃圾	廚餘
	7,411,184 (100.0%)	3,045,299 (41.1%)	149,201 (2.0%)	3,640,753 (49.1%)	575,932 (7.8%)
	廢塑膠量 I (推估1) ¹	505,824	568,493		
		1,074,317			
	廢塑膠量 I (推估2) ²	1,111,678			
	焚化量(公噸)	2,993,435			
垃圾焚化廠焚化處理	總進廠量(公噸)	一般廢棄物(公噸)		一般事業廢棄物(公噸)	
	6,441,999.22 (100.0%)	4,271,178.81 (66.3%)		2,170,820.41 (33.7%)	
	焚化處理量(公噸)	6,392,158.84			
	焚化處理量扣除執行機關垃圾清理之焚化量(公噸)	3,398,723.84			
	廢塑膠量 II ³	509,808.58			
廢塑膠總產量(公噸) ⁴		1,621,486.58			
假設	• 巨大垃圾以及資源垃圾之廢塑膠比例為 15% • 垃圾焚化廠焚化執行機關清理垃圾焚化量以外之廢棄物中廢塑膠比例亦為15%				
計算說明	¹ 廢塑膠量 I (推估1)： 505,824=3,045,299×16.61%(塑膠比例)； 568,493=(149,201+3,640,753)×15%；1,074,317=505,824+568,493 ² 廢塑膠量 I (推估2)：1,111,678=7,411,184×15% ³ 廢塑膠量 II：509,808.58=3,398,723.84×15% ⁴ 廢塑膠總產量(公噸)：1,621,486.58=1,111,678+509,808.58				

資料來源：環保署統計資料庫網站

2.2 申報廢塑膠再利用

在工業製程產生廢塑膠申報統計方面，95~105 年事業單位申報廢塑膠量(R-0201)資料，整理如表 5 所示。總計 95~105 年事業單位申報每年廢塑膠(R-0201)產量平均約有 1.8 萬公噸，且國內對於廢塑膠處理方式，大都以再利用方式為主，亦即這些申報廢塑膠均已進入回收商體系。

雖然國內對於廢塑膠大都採以再利用方式為主，然而統計國內廢塑膠產量發現，每年廢塑膠產量約有 162 萬公噸，倘扣除資源垃圾 364 萬公噸之 15% 約有 55 萬公噸廢塑膠已回收再利用，以及工業製程每年申報 1.8 萬公噸廢塑膠(R-0201)產量(不含廢塑膠容器)，初估每年至少約有 100 萬公噸廢塑膠沒有進入再利用體系，這些無法回收再利用廢塑膠應該全部直接進入焚化或掩埋處理體系。但因國內係採取業者須主動申報制度，恐有部分業者礙於處理廢塑膠問題，仍以非法棄置、非法貯存等方式恣意處理，此部分未經妥善處理之廢塑膠量可能無法於申報資料或再利用量中顯示；再者民生用品或工業製程(事業單位)產生之廢塑膠一旦接觸油墨或骯髒流體時，很難被回收商所接受，故這些廢塑膠亦可能直接進入焚化或掩埋方式處理體系。目前統計國內廢塑膠(R-0201)再利用機構約有 358 家，其中具有廢塑膠再利用用途具有製成再生油品原料者共計有 19 家，且此 19 家中僅具再生油品原料之用途者只有 1 家，其他再利用機構大都以廢塑膠製成塑膠粒原料、塑膠製品原料或輔助燃料等用途項目為主。雖然國內每年廢塑膠再利用率很高，但誠如前述，對於那些工業製程(事業單位)產生廢塑膠無法申報，或民生用品的廢塑膠若接觸油墨或骯髒流體，無法被回收商所接受時，大量廢塑膠還是以焚化等處理作為最後處理手段。

表 5 95~105 年國內事業單位申報廢塑膠 (R-0201) 量統計表

年度	廢塑膠申報量(公噸)
95	17,732
96	25,299
97	22,595
98	22,541
99	17,582
100	13,717
101	17,660
102	14,065
103	15,362
104	11,144
105	17,045
年平均	17,704

資料來源：環保署事業廢棄物申報及管理資訊系統網站

2.3 廢塑膠資源化技術評析

廢塑膠採用熱分解(thermolysis)處理技術製油主要可分為熱裂解(pyrolysis)、氫化(hydrogenation)以及氣化(gasification)等 3 種(Al-Salem et al., 2009)。國外學者(Singh & Ruj, 2016)利用混合廢塑膠(58.8% HDPE&LDPE、26.9% PP、8.7% PS&5.6% PET)在 450~600℃ 進行熱裂解反應分析，得到大約有油 80%、氣 10% 以及炭(char) 2~10%。而在現有廢塑膠資源化技術中(經濟部工業局，廢棄物資源化技術資料彙編)，對於熱塑性塑膠回收技術主要包括有製造再生棉、製成不織布等再製品、熱裂解法、製作再生塑膠粒、製成複合再生材料、溶劑萃取法等；熱固性塑膠回收技術則包括有製成再生塑膠粒、熱裂解法、溶劑萃取法等。在廢塑膠資源化處理技術之適用對象，唯有熱裂解法可適用所有類型之廢塑膠(包含熱塑性及熱固性塑膠)，可見不論熱塑性塑膠或是熱固性塑膠，均可採用熱裂解技術製油，這也是熱裂解技術可處理所有廢塑膠的優勢與特色。茲將廢塑膠資源化技術列如表 6 所示。

表 6 廢塑膠資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點（含應用限制）
製造再生棉	機械破碎→熔融→抽絲	寶特瓶、廢聚酯粒	再生棉或填充材料	已商業化	可替代部分新棉之製造，但其品質要求須達一定之標準，應考量二次廢棄物之收集與處理。
製成不織布等再製品	機械破碎→製再生棉→混紡	再生棉、紡織廢棄物	不織布製造	已商業化	產品用途廣，應考量二次廢棄物之收集與處理。
高溫熱裂解法	破碎→(觸媒)→裂解→分餾	所有類型之塑膠	能源回收油品、可燃性氣體及焦炭	已商業化	副產品皆可再利用，應考量產生酸性廢氣之收集與處理。
原料再生	1.比重法 機械破碎→分選→粉碎→造粒或摻配用	熱塑性塑膠	回收塑膠料	已商業化	將各類塑膠分離，應考量二次廢棄物之收集與處理。
	2.磨粉法 粗破→分選→破碎→粉碎→收集→再利用	熱固性塑膠	回收塑膠料	已商業化	再生料為混合狀態，應考量二次廢棄物之收集與處理。
製成複合再生材料	再生料與其他材質混合，製成複合再生材料	熱塑性塑膠	電木粉等一體成型之物件	已商業化	用途配合汽車內裝之發展而逐漸推廣，應考量二次廢棄物之收集與處理。
溶劑萃取法	廢料→清洗→溶解→過濾→分離	PVC、ABS等專一類別	回收塑膠料	已商業化	再生料純度高，可得其他純度高之副產品，如：銅線，溶劑應注意其揮發之控制。

資料來源：經濟部工業局(1999)，廢棄物資源化技術資料彙編

三、廢塑膠製油處理介紹

3.1 熱裂解技術

熱裂解(pyrolysis)技術在前面國外文獻提到，熱裂解溫度介於 300~740℃ 之間，根據經驗以熱裂解溫度介於 420~750℃ 處理廢塑膠效果較佳，尤其溫度越高處理速率越快，甚至可高達 800℃。在較低的程序溫度(300~500℃)以及較長的蒸氣駐留時間下，產生「碳黑」；中等溫度(500~600℃)、較短駐留時間下，產生「液體－裂解油」；高溫(600~800℃)、較長駐留時間下，會增加生質能轉換成「氣體－石油氣(petroleum gas)」。燃燒係屬有氧放熱反應，生成二氧化碳等溫室氣體而破壞環境(例如焚化)；熱裂解則屬無氧吸熱反應，能生成石油氣、再生燃料油等，不會(或極微量)生成二氧化碳，有節能減碳之效，是很值得推廣之產生綠能環保技術。一般而言在熱裂解反應中，如在高溫條件下，氣態的碳氫化合物比例較高；在中溫條件下，液態產物之比例較高，而在廢塑膠熱裂解時，固態產物比例很小。

熱裂解處理廢塑膠技術係採連續進料式熱裂解反應，並未添加任何催化劑，熱裂解溫度控制在約 700℃，將混合種類廢塑膠以及與加熱燃料分開狀態下進行熱裂解，反應生成大部分石油氣(油與氣)以及少量碳黑，石油氣藉由油氣分離槽區將油與氣分離且各自收集生成之再生油品與油氣，再生油品直接進入再生燃料油之貯槽；油氣的部分則經過冷凝器後將會產生較低溫油與氣，油與氣分別導入油水緩衝槽以及氣體緩衝槽，油水緩衝槽將分別生成再生油品與生成水，氣體緩衝槽內所生成油與氣分別再導入油水分離槽以及燃燒機作為補充燃料使用。油水緩衝槽、氣體緩衝槽以及油水分離槽即形成一個迴路，以有效分離油、氣以及水等 3 個相態。因此廢塑膠藉由無氧方式之熱裂解，將產生再生燃料油、石油氣、碳黑以及水分等 4 大類。根據經驗，本技術處理廢塑膠所產生再生燃料油(再生油品)，其成分在 C5~C9 (輕石油腦，Light Naphtha)以及 C10~C16 (煤油，Kerosene)等兩者比例約可高至 80% 以上，其餘大部分均為 C16~C26 (重石油腦，Heavy Naphtha)。因實際現場無法進行廢塑膠細分類，故僅能以經驗方式入料，控制產油氣比例達一定水準。倘有 PVC 以及 PET 廢塑膠進料，將採取少量添加並配合其他大量廢塑膠(如 PP、PS、PE 等)固定配比入料方式，

以維持一定之生成油量。本技術開發所產生之再生燃料油，並非屬於生質柴油，其製造與販賣均須遵照「酒精汽油生質柴油及再生油品之生產輸入摻配銷售業務管理辦法」以及「石油製品認定基準」等相關規定辦理。

3.2 廢塑膠製油處理流程

- 1. 廢塑膠進廠後貯存於廠內堆置場中，視原料的大小進行破碎前處理。
- 2. 將破碎後原料以輸送帶送入熱裂解反應爐，進行無氧熱裂解處理。
- 3. 廢棄物熱處理(焚化處理除外)程序(以廢塑膠進行衍生燃料製造)，廢塑膠熱裂解流程如圖 1 所示。
- 4. 倘以每日熱裂解處理廢塑膠 50 公噸，1 年工作 300 天，則每年可處理 15,000 公噸廢塑膠。由於廢塑膠種類繁多，故以混合廢塑膠進行推估其產量，廢塑膠經由熱裂解後產生之產物種類整理比較如表 7 所示。

表 7 熱裂解廢塑膠後產物比較表

原料	比例	數量	產物	比例	重量	比重	產量
廢塑膠	100%	15,000 Ton/year	再生 燃料油	40% (35~45%)	6,000 Ton/年	0.9591 kg/L	6,256 KL/年
			石油氣	20% (15~25)	3,000 Ton/年	1.025 kg/M3	2,927 M3/年
			碳黑	20% (15~25)	3,000 Ton/年	—	—
			水	20% (15~25%)	3,000 Ton/年	1 kg/L	3,000 M3/年

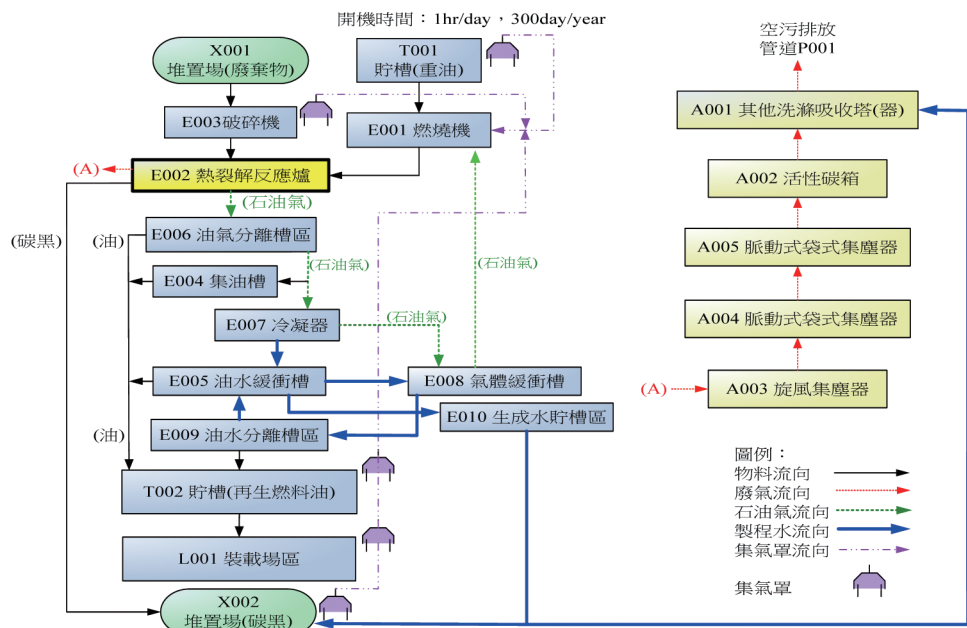


圖 1 廢塑膠製油製程流程圖

3.3 空氣污染防治處理

本技術乃每日處理廢塑膠至少 50 公噸以上，主要造成環境污染類別屬於空氣污染防制，其污染防制流程如圖 2 所示。茲將各空污處理設備列舉說明如下。

1. A001 其他洗滌、吸收塔(器)

- (1)原理即藉由氣液兩相接觸之氣體吸收程序，將氣體中之溶質吸收輸送至液體內部，可處理廢氣中之粒狀物，同時亦可去除廢氣中所含之氣態污染物。
- (2)洗滌液則由製程中產生之廢水經由處理後再利用做為洗滌使用，洗滌液再處理後繼續循環使用。
- (3)洗滌液流率 800L/min，廢氣入口溫度 120℃，用電量 15 度/時，廢氣處理量 100 M³/min。

2. A002 活性炭箱

- (1)以活性炭為吸附材質，吸附主要乃將廢氣中之物質，通過一多孔固體，使之附著於其固體表面上，來達到去除之目的。

(2)更換週期為每 50 天更換 1 次，入口溫度 120℃。

3. A003 旋風集塵器

(1)將廢氣以慣性定律方式將廢氣中之粒狀污染物予以去除。

(2)廢氣處理量 100M³/min，入口溫度 200℃。

4. A004 及 A005 脈動式袋式集塵器

(1)採用濾布製成袋子形狀，藉由堆積粉塵層之加成過濾作用以達到捕集粉塵之目的。

(2)濾袋更換週期 2 次/年，廢氣入口溫度 180℃，氣布比 1.68m³/m²/min，集塵器壓降 200mmH₂O。

(3)集塵分為 4 大部分：

A.慣性衝擊、直接攔截及擴散作用機制附著於濾布織線上。

B.粉塵在織線間形成粉塵架橋現象。

C.濾布表面形成初次塵餅（又稱為底層塵餅）。

D.覆蓋在初次塵餅上之粉塵層將逐漸增厚而形成表面塵餅。

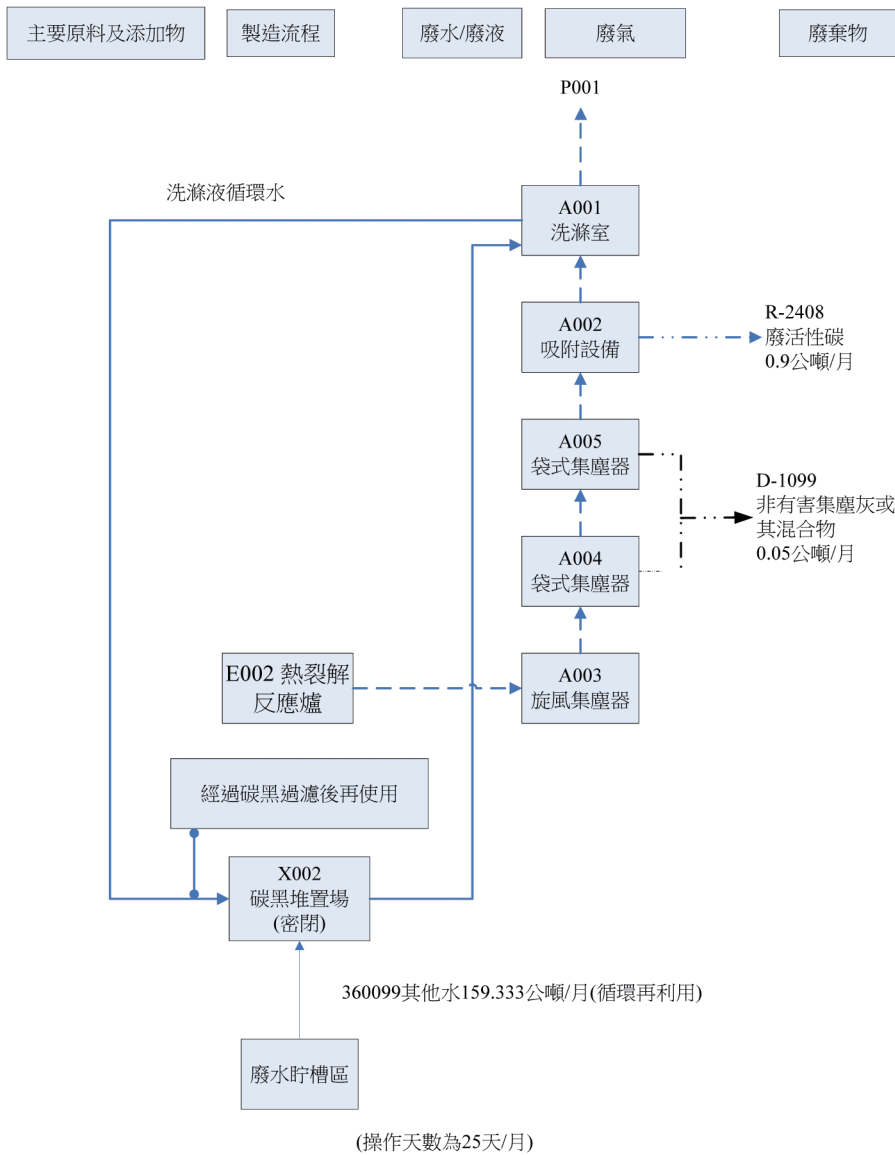


圖 2 空污防制設備處理流程圖

3.4 熱裂解廢塑膠製油處理特色

本技術具備適合無法回收廢塑膠處理、處理效率高、占地面積小、符合綠能發展環境永續潮流以及熱裂解產生再生燃料油可供農/漁民使用等 5 大特色，茲說明如下。

1. 適合無法回收廢塑膠處理

塑膠熱裂解煉油的優勢在於可以處理不同類型的塑膠。由於目前廢塑膠回收的項目有限，且無論是 PP、PE、寶特瓶、保麗龍等，都須經過嚴格的塑膠分類才能再處理。所以未經分類、特殊材質、複合材質以及保麗龍等塑膠類就只能被當成垃圾。

當這些未經分類、特殊材質、複合材質、保麗龍以及接觸油墨或骯髒流體等無法被回收商所接受之廢塑膠類垃圾，甚至掩埋場進行活化時，所篩分出來大量廢塑膠，不論採取暫置或恣意棄置，均會造成環境二次污染衛生等困擾。而本技術所提供綠能技術恰好能處理這些所謂廢塑膠類垃圾，對於目前國內家戶垃圾減量去化以及掩埋場活化，提供最佳解決方案。

2. 處理效率高

本技術資源化處理廢塑膠之方式，不同於其他各國批次式處理，係採全連續進料方式處理，當日進料之廢塑膠，可於當日處理完畢，無隔夜或長時間堆放產生環境污染、環境衛生等二次污染之問題。

由於本技術係屬連續式處理方式，因此更能處理大量廢塑膠。批次式處理最大缺點在於處理效率較低，亦即每天能夠處理廢塑膠數量有限，本技術所開發連續式熱裂解廢塑膠技術，不僅獨步全球，且能有效彈性操作，對於廢塑膠製油提供快速及有效之處理。

3. 占地面積小

本技術所提供廢塑膠熱裂解製油方法，不僅資源化後產生再生燃料油可提供寶貴能源利用外，亦可節省大量掩埋場之土地資源，且系統設備占地面積小，節約土地資源，廢棄物之資源化再利用程度極高，經濟效益和環境效益均相當優異。

4. 符合綠能發展節能減碳循環經濟潮流

本技術在國內係屬於獨立開發完成且技術成熟處理方式，對於目前國內垃圾大戰頻傳可提供一有效替代解決方案。如眾所周知，家戶垃圾中塑膠成分比例很高(至少 15% 以上)，問題在於這些二次分類卻無法回收再利用之廢塑膠，仍得依賴焚化處理方式解決，目前國內 24 座大型垃圾焚化爐已陸續面臨 20 年除役甚至得延役問題，沒有設置焚化爐縣市常面臨無法外運垃圾得大量暫置垃圾困擾，倘若能將這些無法回收再利用廢塑膠應用本技術，不僅能將垃圾減量達成節能減碳目標，亦能避免垃圾暫置困擾，且能達到回收製油成效，符合國際綠能發展、節能減碳、環境永續等循環經濟潮流趨勢。

5. 熱裂解再生燃料油可供農/漁民使用

塑膠熱裂解煉油的另一個亮點在解決離島塑膠垃圾問題。由於離島沒有焚化廠，塑膠廢棄物只能採取掩埋或是運回臺灣，部分民眾也會以露天燃燒方式處理，不僅破壞環境，就是要付出高額運輸成本，亦即將離島垃圾採取打包運回臺灣進行焚化處理，不僅徒增打包成本，更增加海運等清運距離之費用。故倘若能在離島設立 1 座小型熱裂解煉油工廠，不僅能將廢塑膠在地處理完畢，亦可減少運費，處理完成產生的再生燃料油也可就地使用，提供或回饋給農/漁民使用，以造福當地居民。事實上，日本的鳩間島就曾以類似方法處理大量的海漂保麗龍垃圾。該島設立保麗龍煉油工廠後，省下運送保麗龍的運費，製成的再生燃料油則供當地使用，建造成本則在 2 年內回收(陳文姿, 2016)。

四、投資成本分析

本文以再利用處理廢塑膠量 50 噸/日之熱裂解製油廠，進行投資成本估算，每年處理量約達 15,000 公噸。由於申請係以既有之再利用機構，工廠登記需具備有燃料再生油品項目，即可以廢塑膠(R-0201)再利用檢核身分進行申請。故申請所需經費主要包括有規劃設計與各類許可申請費用、廠房承租費用、主體設備費用(如能源設備、資源化設備、附屬設備費、自動控制設備以及設備安裝)、操作維護訓練費用、工安環保衛生工程費用、試車費用以及其他費用(如預備費用)等，經初步概估後總投資成本

約為新臺幣 14,650 萬元整(詳見表 8 所示)。

表 8 廢塑膠製油廠投資成本

項目	金額(新臺幣：萬元)	備註
一、規劃設計與各類許可申請費用	300	廠房土地係以租賃方式計算
二、主體設備費用	10,500	
三、操作維護訓練費用	100	
四、工安環保衛生工程費用	3,500	
五、試車費用	50	
六、其他費用	200	
合計	14,650	

五、每年操作營運成本

本技術每年操作營運成本估算如表 9。計算乃以處理廢塑膠每年 15,000 公噸，每年操作日數為 300 天，同時由於高度自動化，故預計以 10 名員工(含管理人員與現場操作員)進行操作管理。總計本廢塑膠製油廠每年之操作營運成本約為新臺幣 3,210 萬元。

表 9 廢塑膠製油廠每年營運操作成本

項目	金額(新臺幣：萬元)
一、人員薪資	1,200
二、廠房承租費	150
三、水電費	100
四、燃料費	10
五、污染防制費	200
六、設備維修	300
七、設備折舊(10年)	1,050
八、管銷費用	200
合計	3,210

六、投資報酬率

6.1 每年收入估算

本技術之每年收入估算如表 10，其收入主要可分成廢塑膠處理費，以及再生燃料油品販售收入等兩部份。計算乃以處理廢塑膠量每年 15,000 公噸，將生產 6,256 KL(公秉)之再生燃料油。

總計本技術之每年收入約為新臺幣 11,506 萬元。

表 10 廢塑膠製油廠每年收入費用

項目	金額 (新臺幣：萬元)	說明
一、廢塑膠處理費	5,250	3,500 元 / 噸，共 15,000 噸
二、再生燃料油販售	6,256	10,000 元 /KL，共 6,256 KL
合計	11,506	

6.2 投資報酬率估算

廠房土地係以承租方式計算，故成本之投資報酬率計算如后。

每年淨利潤 = 每年營運收入 - 每年營運成本

$$= 11,506\text{萬元} - 3,210\text{萬元} = 8,296\text{萬元}$$

投資報酬率 = 每年淨利潤 ÷ 設備投資成本 × 100 %

$$= 8,296\text{萬元} \div 14,650\text{萬元} \times 100 \% = 56.6\%$$

回本年限 = 14,650萬元 ÷ 8,296萬元

$$= 1.77\text{年} = 21.2\text{個月}$$

七、結論

廢塑膠組成由於含有近乎 9 成重量百分比(wt%)以上之揮發物比例，且在廢塑膠資源化技術中，熱裂解技術能處理所有種類包括不論熱固性或熱塑性廢塑膠，使得熱裂解在處理回收廢塑膠具有極大優勢。尤其在商業化處理層次，更可處理未經分類、特殊分類或複合材質等類別之廢塑膠，這也是現行廢塑膠分類回收處理體系下難以解決之一大課題。本技術乃屬國內自行研發所擁有之本土開發已商業化技術，連續式混合進料(不必細分廢塑膠種類)且不添加任何催化劑，每天可處理至少 50 公噸以上廢塑膠，產物中再生燃料油比例約為 40% (35~45%)、石油氣 20% (12~25%)、碳黑 20% (15~25%)以及水分 20% (15~25%)，應用本技術，各類廢塑膠能回歸再利用體系，不再污染大地及海洋生態。

倘廢塑膠處理量每年 15,000 公噸，每年操作日數為 300 天，廠房土地係以承租方式計算，則投報率約為 56.6%，回收年限約為 21.2 月。相信此綠能開發不僅能達成國內垃圾焚化量減量目的，更能達成節能減碳要求，且不致造成每年焚化廠歲修季節即產生地方垃圾大量囤積現象，同時所產製再生燃料油品亦能回饋地方使用，可謂解決當前面臨垃圾大戰不定時炸彈困擾。本技術設置擺脫傳統無法回收廢塑膠焚化處理後產生焚化灰渣仍需掩埋等最終處置之困擾，以資源化轉換成綠能概念，將原本富含揮發物及熱值之廢塑膠，藉由再利用製油程序，達到廢棄物資源永續發展循環經濟目標。

參考文獻

臺中市政府環境保護局再生製品網站資料，http://recycle.epb.taichung.gov.tw/97recyclable/product_2.asp。

環保署 103 年 4 月號資源回收電子報，主題：創造廢物品/容器不可能的奇蹟，環保署資源回收電子報網站，<http://recycle.epa.gov.tw/epa/rpaper/history.htm>。

環保署統計資料庫網站，<http://statis91.epa.gov.tw/epa/stmain.jsp?sys=100>。

環保署事業廢棄物申報及管理資訊系統網站，<http://waste.epa.gov.tw/prog/IndexFrame.asp?Func=5>。

經濟部工業局，廢棄物資源化技術資料彙編，p75-89，民國 88 年 6 月。

陳文姿，塑膠廢料萬年不滅？回收煉油再創資源價值，環境資訊中心，2016 年 3 月 30 日台北訊，<http://e-info.org.tw/node/114099>。

Al-Salem, S. M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*, 197: p177-198.

Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29: p2625-2643.

Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management* 115: p308-326.

Kunwar, B., Cheng, H. N., Chandrashekar, S. R., & Sharma, B. K (2016). Plastics to fuel: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: p421-428.

Miandad, R., Barakat, M. A., Aburiazaiza, Asad S., Rehan, M., & Nizami, A. S. (2016). Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 102: p822-838.

Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I. P. S., Feo, L., & Fraternali, F. (2017). Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B*, 115: p409-422.

Singh, R. K., & Ruj, B. (2016). Time and temperature depended fuel gas generation from pyrolysis of real world municipal plastic waste. *Fuel* 174: p164-171.

Wong, S. L., Ngadi, N., Abdullah, T. A. T., & Inuwa, I. M. (2015). Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: p1167-1180.

