

循環經濟趨勢下石化產業新技術發展方向

台灣亞太產業分析專業協進會 107 年認證產業分析師 張怡雯

一、前言

近年來受到禁塑、資源逐漸枯竭等因素影響，石化產業技術發展多扣合著循環經濟與環保議題，例如：直接與環保議題相關的生物可降解材料，或是在循環經濟概念下開發塑膠循環利用技術，主要以「材料生產原料生質化」與「材料產品可循環使用化」兩大趨勢發展，全球材料產業技術已由以往追求功能性逐漸轉為注重永續化。以下將以「生物可降解材料」與「塑膠材料循環再利用」詳述各項主要技術發展。

二、石化業新興技術

(一) 生物可降解材料

1. 英國開發椰棗纖維/聚己內酯生物複合材料

英國朴茨茅斯大學的研究團隊開發出一種新的生物複合材料，利用椰棗纖維/聚己內酯生產汽車的非結構部件，例如汽車保險桿和門內襯板。

這種生物複合材料是以椰棗纖維和聚己內酯(polycaprolactone；PCL)為原料，可降解、可回收、可再生，與既往的複合材料，如：玻璃纖維複合材料、碳纖維複合材料完全不同。研發結果顯示，加入椰棗纖維材料後，聚己內酯的抗拉強度和低速抗衝擊性能與傳統複合材料相比皆有提升；如在複合材料中混入28%的椰棗纖維，其強度將由原本的19百萬帕(MPa)提升至25百萬帕。

椰棗纖維是北非和中東地區最常見的天然纖維，椰棗樹的種植會產生大量的農業廢料，不論焚燒、掩埋，都會造成嚴重的環境汙染問題，還會破壞土壤中的微生物系統。因此，該創新材料的開發，具有以下四項優點：1)解決當地農業廢棄物問題；2)為一種輕量化替代材料，幫助汽車減重和節能減排；3)生產本身也比玻纖複合材料和碳纖維複合材料消耗更少的能量；4)它可以完全生物降解並再生利用。

2. 以色列開發海藻類微生物製成生物可降解的塑膠

以色列特拉維夫大學研究人員研發出一種生物可降解塑膠聚羥基羧酸 (polyhydroxy-alkanoates, PHA)，該塑膠是以海藻為主食的微生物(Haloferax mediterranei，簡稱 H. mediterranei)所製成。

目前，已有工廠開始小量商業化規模生產這一類型的生物塑膠，但這些技術生產需要一定程度的資源，如土地、水等，有些地理環境並不適合，例如淡水短缺的國家，包括以色列、中國和印度等，由於H. mediterranei可在鹹水中生存，故此種生產方式可在海水中進行，不影響既有的土地和淡水使用，屬於對環境較為友善的技術開發。上述這些國家便可朝向利用海藻類微生物來製備生物可降解塑膠。

3. 螺旋環雙縮醛結構用於製備可降解熱固性樹脂

中國科學院寧波材料技術與工程研究所生物基高分子材料團隊將螺旋環雙縮醛結構用於生產可降解熱固性樹脂，並應用於碳纖維複合材料。

研究人員發現香草醛基螺旋環雙縮醛結構的降解能力，並用以合成高性能、易回收熱固性樹脂。該樹脂固化後在0.1M鹽酸溶液中可快速降解，且在中性、鹼性溶液及加熱下穩定性良好，同時其熱學、力學性能與Dow的DER331環氧樹脂相當甚至更高。此種碳纖維複合材料的力學性能與DER331環氧基複合材料相當，同時可實現碳纖維的回收。

(二) 塑膠材料循環再利用

1. 可多次迴圈利用的新一代塑膠

美國能源部(DOE)勞倫斯伯克利國家實驗室的研究人員開發出一種名為聚二酮烯胺(PDK)的新材料，可以在分子基礎上分解成其組成部分，然後一次又一次地重新組裝成不同的形狀、紋理和顏色，且不會影響性能或品質。研究團隊從分子角度考慮回收再利用的塑膠組裝新方法，希望透過鼓勵回收和再利用塑膠來降低送入垃圾掩埋場和流入海洋的塑膠。

塑膠回收和再利用可以透過PDK形成的聚合物來實踐，PDK用可逆鍵取代了傳統塑膠的不可變鍵，使塑膠可以更有效地回收利用；與傳統塑膠不同的是，PDK塑膠的單體可以透過將材料浸泡在高酸性溶液中而被回收，並從複合添加劑中釋放出來。這種高酸性溶液有助打破單體之間的化學鍵，並將它們與化學添加劑分離開來。

研究成果證明了回收的PDK單體可以被重新製成聚合物，而這些回收的聚合物可以在不繼承原有材料的顏色或其他特徵的情況下形成新的塑膠材料。他們還可以透過強化額外的功能，來提高塑膠的使用壽命。由於PDK的特性接近於聚氨酯，因此可用來製造防摔背蓋手機殼、鞋底等，或者是當作3D列印材料。

2.Ineos Styrolution 開發解聚技術回收聚苯乙烯

由德國聯邦教育與研究部(German Federal Ministry of Education and Research, BMBF)資助的 ResolVe 計畫，是多個單位共同合作的項目，此計畫執行時間為三年(自2017/08/01~2020/07/31)共投入935,271歐元(約3,195萬台幣)，計畫成員包括：INEOS Styrolution、Neue Materialien GmbH Bayreuth、亞琛工業大學加工與回收研究所(Institut für Aufbereitung und Recycling, I.A.R.)以及塑膠工業研究所(Institut für Kunststoffverarbeitung, IKV)；該團隊於近期完成最終報告顯示：消費後的聚苯乙烯廢棄物確實可成為有價值的原料，再進入食品應用市場。

Ineos向來致力從事ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene, 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物), PS(聚苯乙烯polystyrene)以及 EPS (發泡聚苯乙烯, Expandable Polystyrene)等材料的回收再利用。例如：該公司與義大利的食品包裝生產商Sirap共同研發經由解聚方式，來回收食品包裝中的PS材料，經由熱裂解製程將PS回收料分解成苯乙烯油，再通過蒸餾製程將苯乙烯油變成清晰狀態的苯乙烯，再經聚合後加工成為片材或成型。此種製程雖然昂貴，但因它將回收的PS料還原成苯乙烯單體，這種作法將控制做出的回收料品質可達到新料的等級，特別是可應用於食品包裝領域。

表一 石化產業新興技術方向整理表

技術名稱	技術名稱	國家	公司/研發單位
生物可降解材料	椰棗纖維/聚己內酯生物複合材料	英國	朴茨茅斯大學
	利用海藻類微生物製成生物可降解的塑膠	以色列	特拉維夫大學
	螺旋環雙縮醛結構用於製備可降解熱固性樹脂	中國大陸	中國科學院寧波材料所
塑膠材料循環再利用	可多次迴圈利用的新一代塑膠	美國	美國能源部國家實驗室
	解聚技術回收聚苯乙烯		Ineos Styrolution

資料來源：工研院產科國際所 ITIS 研究團隊 (2020/08)

三、結論

為了降低及減緩塑膠對環境帶來的問題，各國政府以及產業皆開始布局因應策略，不論是規範可再生材料的使用或是提高回收再生料的應用比例，皆顯示了未來關於塑膠原料技術的開發方向。

由以上幾個案例可歸納出未來新技術開發方向供臺灣業者參考：

- 1) 同時解決多項問題：例如「椰棗纖維/聚己內酯生物複合材料」除了開發生物降解材料降低對環境負擔，還解決椰棗對當地造成的困擾，如此更能擴大技術開發的綜效；對臺灣而言，一年產生的農業廢棄物高達 400 多萬公噸一方面應加速擴大農業廢棄物資源再利用，另一方面則開發利用農業廢棄物轉化成可降解塑膠原料技術。
- 2) 化學回收為塑膠回收再利用的方向：以往塑膠回收以物理回收為主，且材料較侷限在 PET、PP、PE，但在塑膠材料回收僅能降階使用，且結構材質強度會減弱，因此國際廠商轉往化學回收方向來開發，期望回收後的塑膠原料能回到原本、甚至更高端應用。

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>