

一秒辨識衣料材質

廢紡織品全回收智慧分選 及低碳再生技術

快時尚席捲全球，衣服生產快、消費快、丟棄也快，高聳堆積的衣服垃圾山，華服瞬間變成環境殺手。如何讓廢棄衣服也能循環再用？工研院的「廢紡織品全回收智慧分選及低碳再生技術」，提出全球唯一運用雷射光分選廢棄紡織品的技術，打造廢棄衣物的循環經濟鏈，為環境永續提出寶貴解方。

撰文／陳怡如

櫥窗裡，五花八門的華美服飾吸引消費者目光，每一件都想包回去！在快時尚風潮下，衣服周周上架，根據統計，全球每年產出約1,000億件紡織品，雖滿足了消費者的購物慾，卻也造成大量廢棄衣物問題。

工研院材料與化工研究所經理朱仁佑表示，快時尚導致二手衣市場萎縮，衣服的去化方式大多是掩埋跟焚燒，對環境衝擊大。好在，近年全球掀起淨零排放（Net-Zero Emission）浪潮，全球36家公司、250個品牌，包含Adidas、Nike、H&M等品牌大廠相繼宣示，2030年將百分之百採用循環、永續材質生產服飾。但以目前全球紡織品最大宗材料、占比高達52%的聚酯纖維來看，回收料源幾乎只來自寶特瓶回收再製，「綠色料源嚴重不足。」

工研院材化所研究員江叡涵也引述麥肯錫顧問公司的統計指出，受限於衣料分選技術，目前當中僅少於1%的回收衣物會被用作製成新的成衣。紡織品



工研院的織物回收用纖維分選器提升「拉曼光譜」的效率，可達到1秒辨識一件衣服的速度，穩定又不受衣服顏色干擾，辨識聚酯纖維的精準度可達95%。

材質複雜，像是聚酯纖維、純棉、彈性纖維，還有各種材質、不同比例的混紡，若要回收，就必須將衣服按材質歸類，才能進行後續對應的處理。因此現今廢棄紡織品的回收再製技術至今多在實驗室階段，且僅能處理已知成分的布料，應用十分有限。

目前國際上唯一發表的紡織品分選機台，使用近紅外光掃描辨識輸送帶上的衣服材質，運用不同材質產生不同光譜的原理進行分選，再以設置於輸送帶

旁的噴嘴，將辨識出的紡織品吹入分類籃中。但目前聚酯纖維的分選度約82%，分出來的聚酯纖維仍有雜質，需經進一步篩揀才能作回收再製，無法完全解決大量混紡纖維的分類問題。

自動追焦加AI辨識 大幅提升分選效率

以10、20年研究光譜的經驗為基礎，工研院團隊挑選解析度更高的「拉曼光譜」技術，「這是一種指紋光譜，就像材料的身分證，」朱仁佑說。團隊特別鎖定波長1,064的雷射光，作為激發拉曼光譜的光源，既穩定又不受衣服顏色干擾，辨識聚酯纖維的精準度可達95%。

拉曼光譜雖然精準，卻有個致命缺點，就是效率。近紅外光只需不到1秒就能辨識一件衣服，但拉曼光譜卻要花上30秒，原因在於兩者特性不同。朱仁佑解釋，近紅外光屬於彈性散射光譜，拉曼光譜則是非彈性散射光譜，就像打撞球時，若有100萬顆光子打到材料上，彈性散射大概會有50萬顆光子反射回來讓偵測器接收，但非彈性散射卻只有1顆光子會反射回來，「所以拉曼光譜的效率只有近紅外光的10⁻⁶倍。」

「我們最大的突破，就是提升拉曼光譜的效率。」團隊在輸送帶上設計了一個高度感測器，記錄衣服皺褶的高度形狀，即時回饋給電腦，當衣服在輸送帶上移動時，利用時間差，預先控制偵測器的透鏡

位置，達到自動追焦，一次同時追蹤10個焦點。「我們讓雷射光在掃描衣服時，永遠是在最好的焦平面上做掃描，也就是在最能反射光的位置，」因此拉曼光譜可達到1秒辨識一件衣服的速度，再透過團隊自建的AI模型，自動辨識材質，大幅提升效率。

廢纖維再生 應用商機大

朱仁佑表示，現階段該設備一年分選量可達7,000噸，回收1噸衣服不僅可減少約2.52噸碳排，分選後的聚酯纖維還可做不同應用，減碳效益可觀。高含量的聚酯混紡纖維，透過前處理技術、棉降解及染料移除的製程優化，聚酯的部分經過解聚再聚製程，重新紡絲，可獲得低碳再生的PET（rPET）纖維，再製為衣服，達到服裝循環的目的。

低含量的聚酯纖維，透過增韌相容劑與異型押出技術，優化加工溫度，解決棉碳化的問題，開發出的再生酯粒，可應用於高強度的環保木塑建材，衝擊強度及韌性都優於目前市售的高密度聚乙烯（HDPE）木塑板材，為廢纖維的再利用，提供更經濟的解決方案。

朱仁佑透露，這套技術已與廠商展開初期的可行性評估，未來不只紡織業，透過光譜自動化分析技術，也能複製到其他循環經濟產業，像是包材、瓶罐、海洋廢棄物及高價金屬等，加速材料回收應用，擴大循環經濟的應用，創造更大的永續效益。■

廢紡織品全回收的智慧分選及低碳再生技術

