

國立中興大學循環經濟研究學院工業與智慧科技學位學程

林啟明 助理教授

文/王明德

綠色安全替代類



金屬製造業長年面臨嚴峻的環保挑戰，國立中興大學循環經濟研究學院工業與智慧科技學位學程助理教授林啟明，致力投入鋁渣再生與電弧爐冶煉技術研發，運用綠色化學防廢、再生與節能原則，成功開發出一系列創新技術，讓被視為廢料的副產物重獲新生，解決業界長期困擾的廢棄物處理問題，為電弧爐煉鋼產業注入綠色動能。

深入冶煉產業需求 開創廢料再利用契機

臺灣每年產生大量煉鋼副產物，其中精煉渣與鋁渣一直是產業難解的環保課題，由於國內專研於煉鋼冶煉渣劑開發之研究者相當稀少，早期為了幫臺灣電弧爐煉鋼業者解決精煉渣副產物難處理之困境，林啟明投入高效能與高效率移除鋼液雜質磷與硫的造渣劑研究。

臺灣成本高昂且去化量有限的傳統處理方式，背後有其結構性問題，他指出目前臺灣處理鋁渣的方式多採小量化學處理法，成

本約為每公斤25至30元；而精煉渣雖可作為水泥生料的再生原料，但長距離運輸也帶來額外的碳排放問題，「我們的研究可以協助環境達到大量去化精煉渣與鋁渣等副產物再生處理問題；協助產業降低製程成本並達到減少副產物產量的雙贏成效。」

技術突破與實踐 打造煉鋼產業的綠色解方

林啟明團隊成功開發出的「鋁渣再生為電弧爐發泡劑之大去化量技術」、「低能耗電弧爐冶煉技術」及「熱精煉渣回電弧爐技術」等三項關鍵技術，均立基於深厚的冶金專業與綠色化學原則，並在實際產業環境中獲得驗證。

之後為期望協助臺灣電弧爐煉鋼業者進一步降低冶煉的電力成本，他再透過氧化物分子結構學原理，開發出全液態高氧化鋁之優越發泡壽命造渣劑，並藉由物質的高溫化學反應方程式，將鋁渣再生為發泡劑原料，這些創新技術均已在臺灣100公噸級電弧爐的實際製程中成功試驗。

數據顯示，林啟明開發的鋁渣大去化量技術可達到每噸鋼去化16.5公斤鋁渣的效能；低能耗電弧爐冶煉技術則能節能22%，同時每噸鋼可去化3.8公斤鋁渣；熱精煉渣回電弧爐技術更實現了造渣劑減量42%與副產物減量20%的優異成效。與傳統處理方式相比，他們採用的物理法處理成本僅需每公斤10至15元，大幅降低了產業負擔。

林啟明研發過程並非一帆風順，由於電弧爐冶煉製程是處在溫度為1,500至1,600度的環境，「因此如何客製化建立出造渣劑之高溫物理性質量測裝置，是一項艱難的任務。」林教授回憶道。團隊歷經約10年時間，透過業界專家協助、反覆失敗經驗以及文獻閱讀，他的團隊最終成功建立出7項高溫物理性質量測裝置。研究過程中也不乏驚險時刻。「在導入鋁渣的再生造渣劑開發中，因鋁渣中含有氮化鋁、金屬鋁與碳化鋁，遇水會產生氨氣、氫氣與甲烷，反應過程為放熱反應。」他們在桃園進行試驗後搭高鐵返回途中，樣品突然開始反應產生大量煙霧，不得不臨停新竹站，並由鐵路警察製作筆錄，「這些挑戰讓我們更深入了解材料特性，也為日後研究提供珍貴經驗。」

擴大影響力 持續推動金屬產業的永續轉型

林啟明的研究成果不僅止於實驗室或個別廠商的應用，而是為整個產業開創出綠色轉型的可行性。面對臺灣每年至少3萬公噸的鋁渣和



1.5萬公噸的大入熱量潛弧鋁渣產量，他的團隊持續拓展再利用管道，擴大綠色化學在金屬產業的影響力。

「本團隊持續研究鋁渣的再利用管道，如：透過高溫火法處理將鋁渣再生為高比例氧化鋁再生原料，並高比例添加於高鋁質不定型澆注料中。」林啟明表示，未來研究方向將持續擴大廢棄物的再利用範圍與提升再利用價值，為確保技術能夠真正落地，他積極促成產官學研的合作模式，藉由跨領域協作加速技術發展，讓曾被視為環境負擔的工業副產物，如今成為寶貴的再生資源，在電弧爐的高溫冶煉中找到新價值與新生命。

