

# 從浪費到智慧——有效運用伐木廢棄資材

◎林業試驗所林業經濟組·詹為巽 (frog@tfri.gov.tw)

◎林業試驗所技術服務組·鄭美如

森林資源運用多以取得「木材」為主要目標，一般林木在伐採後隨即於林地進行造材作業，僅將完成截斷與初步分等處理之原木運出利用，再進行林地清理與造林等後續工作。而在伐木、造材以及林地清理等過程中會產生大量的鋸屑、枝條及樹梢等木質資材，但大多未加以利用而成為廢棄資材，主要因這些木質廢棄資材體積龐大且含水率相當高，將其運出加工利用往往不符合成本，導致大多棄置於現場或者以燃燒方式處理，不但造成可用資源的浪費也產生許多環境汙染問題。而根據第六次全國農業會議總結結論，期望臺灣能於10年內達到木材自給率5%之目標，為達成此一目標未來國內之林木砍伐勢必增加，對於伐採過程產生之各種廢棄資材之應用更可及早規劃。因此本文以美國能源部與農業部共同補助進行Waste to Wisdom計畫為例，介紹該計畫為將林業廢棄資材作為生質能源加以商業化再利用之源起、目標、做法及效益等，期能做為臺灣未來發展之參考。

## Waste to Wisdom計畫起源與目標

美國統計因傳統伐木及林地清理等作業過程，每年約產生6,800萬公噸的廢棄資材，而這些廢棄資材通常於原地堆置或是直接燃燒未被再利用。主要是因為如將這些廢棄資材進行利用，所需之收集、篩選及運輸成本每公噸約50美元，然而市場價值每公噸卻僅有25~40美元，儘管已有一些研究開發出新的

現地操作技術改善其效率，但將廢棄資材運輸到市場利不及費仍是其運用的最大阻礙。因此，美國能源部及農業部於2013~2017年共補助588萬美金，由漢保德州立大學(Humboldt State University)及其他15個區域夥伴所共同執行本計畫，透過發展生物質轉化技術(biomass conversion technologies, BCTs)，並與新的森林作業法結合，針對森林伐採以及疏伐作業等所產生之廢棄資材轉換為具有價值的生質能或生物質產品(bio-based products)，讓伐木產生之廢棄資材更具有經濟效益。

本計畫共發展三項生物質轉化技術目標產品，將伐木廢棄資材轉化為生物炭(bio-char)、炭磚(briquette)以及焙燒木材(torrefied wood)，並分為原料準備、生物質轉化技術以及永續性分析等三大關鍵目標進行相關工作，首先原料準備部分係發展將木質廢棄資材轉變為提供生物質轉化技術使用之規格化原料，以及相關處理程序規劃等；生物質轉化技術係發展三種目標產品之產製技術、機械及運作評估等；最後永續性評估則是對於將伐木廢棄資材轉化為各種目標產品之經濟效益、環境影響、生命週期及永續性等進行整體評估，詳細各關鍵目標與內容請參考表1。

## 計畫效益

藉由本計畫所開發有之生物質轉化技術，將伐木剩餘資材轉換為生質能及相關產品，可以帶來減少化石燃料的使用、降低森林管理與復育成本、促進依賴林業之社區經

表 1 Waste to Wisdom計畫之關鍵目標與內容

關鍵目標項目	重點工作
原料準備	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 發展創新之策略與方法將伐木廢棄資材進行處理，使原料符合生物質轉化技術應用需求（如尺寸、含水量等）。</li> <li>2. 發展新的伐木廢棄資材收集和處理技術，如伐採作業時廢棄資材的分類、運輸等，以提高用於三種生物質轉化技術之原料質量、可及性及其經濟性。</li> <li>3. 以地景層級進行原料準備規劃，以發展最佳化之產品生產程序，包括收集、前處理及運輸等，以達成淨益最大化並減少對環境的影響。</li> </ol>
生物質轉化技術	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將三種生物質轉化技術中最具潛力的原型，擴大到適合商業化之規模。</li> <li>2. 發展各種生物質轉化技術的操作程序以確保各種生物質轉化技術的能源需求，使各項操作未來於森林作業現場中能獨立完成。</li> <li>3. 發展各種移動式生物質轉化技術於森林伐採作業現場操作。</li> <li>4. 完成使用不同類型之伐木剩餘資材於森林作業環境中進行各種生物質轉化技術的測試和評估，並對三種轉化技術之能源需求、排放及成本等進行監測。</li> </ol>
永續性分析	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對於三種生物質轉化技術進行經濟可行性評估，包括碳排放限制及貿易法規下，碳儲存於林地的成本和效益。</li> <li>2. 評估於農村地區實施生物質轉化技術對其經濟和社會之衝擊，包含運用伐木剩餘資材生產生質能產品之可避免成本（如場地、露天焚燒）。</li> <li>3. 確保三種生物質轉化技術的生態永續性，主要針對森林土壤（碳儲存、養分循環）、森林生產力、水質及空氣品質等。</li> <li>4. 對三種生物質轉化技術的進行「搖籃到墳墓 (Cradle to Grave)」的生命週期盤查及生命週期影響評估。</li> <li>5. 將權益關係人之利益及關心項目等納入設計與實作並將結果資訊傳達，以鼓勵大家利用生物質轉化技術將伐木剩餘資材用於生產生質能及其產品。</li> </ol>

備註：整理自<http://wastetowisdom.com/>

濟發展與改善環境等各種效益，各種效益簡要說明如下：

1. 減少化石燃料的依賴

藉由加強運用美國境內未善加利用的伐木廢棄資材，轉化為生質能產品與其他產品以取代化石燃料並減少溫室氣體排放。以北加州之林場為例，由1噸絕乾重之木質廢棄資材轉化之生質燃料，約能產生相當於80加侖原油或0.5噸煤之能量。而產生非能源生物性產品生物炭，市場價值約為每噸100至2,000美元間。

2. 降低森林管理與復育成本

透過露天燃燒處理林地伐採後產生之廢棄資材成本約250~300美元/英畝之間以及因火燒後使部分非目標樹種的更新速率加快與造林之針葉樹種競爭，導致增加除草劑等林地管理成本約100~500美元/英畝。因此將生物質轉化技術納入現行森林經營，不但可以降低採伐後透過火燒進行廢棄資材清除，以及後續恢復所增加的成本，同時亦減少許多火燒、用藥所造成環境問題。

3. 促進依賴林業之社區經濟發展

透過伐木剩餘資材除了可以增加直接的經

濟效益外，亦可以為當地社區增加額外的就業機會，例如為運用伐木廢棄資材進行生質能源發展所增加伐採作業的直接就業機會，每生產百萬板尺之木材將可增加約9~13個工作機會，或者間接就業機會如每座千瓩級的生物質燃料發電設施可以創造6個工作機會，提供額外的經濟基礎以促進永續發展。

#### 4. 改善環境

透過使用生物質轉化技術降低伐木廢棄資材的含水率提高運輸效率，可以減少運輸過程中的化石燃料使用，而每消耗1單位的化石燃料用於進行生物質轉換作業之收集、研磨及運輸等過程，可以產生約21~26單位之生質能，可以減少大量的溫室氣體排放。另外與將伐木廢棄資材於林地直接燃燒相比，進行生物質轉換作業後可減少40%的二氧化碳、97%甲烷及89%之PM10的排放。

各種廢棄資材，以創造更高之經濟與其他附加價值。♻️

## 結語

森林是一種可再生資源，孟子梁惠王篇即記載「斧斤以時入山林，材木不可勝用也」，如果能合理的運用並妥善的進行撫育、伐採及造林等工作，森林將為一可永續利用之資源。而除了生產木材等主要產品外，以本文所介紹之Waste to Wisdom計畫為例，透過發展有效利用伐木過程中所產生的各種剩餘資材之技術以及產品，除了可以減少資源的浪費外，亦可創造出更多的經濟、社會與環境效益。因此，臺灣未來除了發展國內本土木材生產提高木材自給率外，同時應配合相關作業善加利用伐木生產過程中的