

國際木質顆粒發展現況

◎林業試驗所森林利用組・林裕仁 (yujen@tfri.gov.tw)、潘薇如

木質顆粒已是國際間生質發電重要料源之一

當前，在積極推展能源作物生質產業，開發生質能源同時，引發諸多問題與爭議，包含：料源短缺、與糧爭地、產製價高及碳排放量等。是故利用廢棄物轉製生質燃料，不僅得以改善能源作物用地侷限、避免種植撫育所需耗費時間及成本，亦可降低廢棄物回收處理不彰或任意棄置焚燒等問題。

利用廢棄木料壓製木質顆粒，替代化石燃料或混和共燃等方式，早已成為國外供應鍋爐熱能及生質發電重要料源之一，其因木質顆粒具有燃燒完全、灰分少、品質穩定及運輸便利等諸多優勢；亦可提升再生能源使用比例、增加能源自給率及多元化料源的利用。本文僅就其產製程序、成本效益及國外概況略作說明，進而探討國內未來展望，以供參考。

木質顆粒產製程序及成本

一、產製程序

木質顆粒的原料採自樹枝、疏伐修枝殘材、廢棄木料、工廠殘餘粉末、鋸末及刨屑等，或直接或國外進口原料加工製造成規格一致的圓柱形燃料顆粒，直徑約為0.6公分，長度一般介於2至2.5公分，以避免燃燒時對機器造成損害。

產製過程需先將蒐集的木料殘材進行減積程序，利用切片機與粉碎機將尺寸大小不一材料裁切與研磨至0.2至0.3公分且均一的尺寸。

然後再進行乾燥程序，使原料含水率降至10%左右，含水率過高將會降低燃燒熱值。原料經過造粒機之高壓和熱能製成顆粒狀後，使其冷卻發散熱度並過篩顆粒表面之細屑，提高顆粒品質、強化硬度，再行貯存及包裝成袋。

製作後的顆粒成品，可經由航海運輸出口銷售至鄰近國家，如奧地利2009年木質顆粒總進口量約為16萬噸，出口量約為28萬噸，尤其與義大利和德國貿易最為頻繁。另

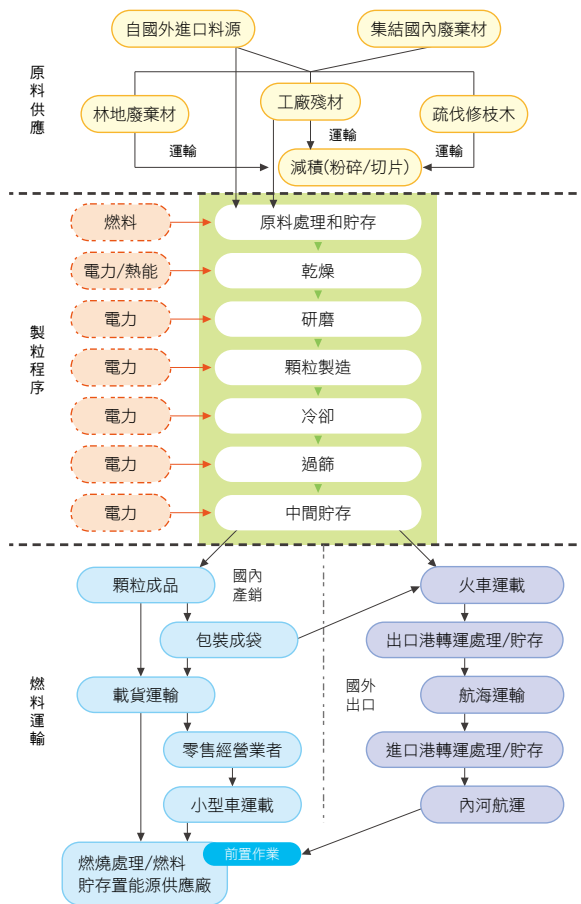


圖1 木質顆粒產製生質燃料作業程序(潘薇如 整理)

亦可販售予國內零售燃料業者，取代煤炭、天然氣及其他油料使用，降低溫室氣體排放，達到環境資源永續利用等效益。木質顆粒產製生質燃料作業程序詳如圖1所示。

二、成本效益分析

木質顆粒轉製生質燃料作業成本概可分為原料成本、製粒成本及運輸成本等，原料成本則包含蒐集林地殘材、直接採購或進口，再運送至加工廠進行製粒程序，其中製粒設備如錘片式粉碎機、烘乾機、研磨機、造粒機、球團冷環機、振動篩選機及固體燃燒爐等項目，亦需考量人力需求及成品運輸銷售成本，藉以推算木質顆粒轉製生質燃料單位價格。本文謹參照國外設備項目及單價，估算木質顆粒每噸生產成本約為154.84美元(如表1所示)，相當於新臺幣4,753元。

若將其價格與101年臺灣電力公司煤炭燃料成本每噸3,165元相比，高出約1,588元。顯見欲推動該項生質能源，勢必須先擬定相關能源政策或獎勵措施，擴增市場用料需求，以提升顆粒燃料之競爭性。

然而，依單位價格來看，木質顆粒雖高於煤炭燃料成本，但對於環境效益而言，卻大幅降低碳排放量，減緩用料汙染之危害。Sikkema et al. (2010)認為木質顆粒用於生產電力，每噸可減少約1,937公斤二氧化碳排放量；其次為供應熱能，每噸可減少約1,483公斤碳排放量。另，以2008年估算，歐盟、挪威及瑞士等國木質顆粒消費量約為8.2百萬噸，減少的碳排放量高達12.8百萬噸。

基此效益，木質顆粒便廣受重視，諸多國家相繼擬定獎勵措施及法令政策，擴增

造粒廠和相關設備產業，以刺激木質顆粒使用需求，帶動該項產業之興起。如奧地利於2008年制定「生質能供熱廠作住宅使用之獎勵方案」(Subsidy Campaign for Biomass Heating Plants for Residential Use)、「獎勵農業發展生質能源補助計畫」(Financial Incentives for Rural Biomass Energy Generation)；德國「再生能源供熱法案」(Renewable Energies Heat Act; EEWärme G)及美國「提倡木質能源作物之利用」(Woody Biomass Utilization Initiative)等，臺灣則於2009年公布「再生能源發展條例」(Renewable Energy Development Act)，也對生質能源發展列有鼓勵條款。

國外木質顆粒發展概況

一、奧地利

奧地利早自1980年起便使用生質能源發電，至2010年已有近兩千家工廠以1,600百萬瓦的輸出功率運作，並提供3,200百萬度予消費者。區域供熱廠則使用木質殘料、樹皮及木屑等生質原料，年產能約120萬噸之熱能。奧地利生質燃料發展技術已漸成熟，具備高效能及環保功效之優勢。

而奧地利木質顆粒市場至2006年穩定增長，但2007年受料源供應不足與低油價之衝擊，鍋爐銷售及顆粒燃料的使用大幅降低，惟近年來油價高漲再次激發顆粒燃料廣泛用途。計於2010上半年度，奧地利有28家木質顆粒廠座落，其年產能約為120萬噸，2010年總產量約為85萬噸，相較2006年呈倍數加增。根據奧地利能源局統計資料顯示，2011年木質顆粒總消費量約為71萬噸，而總生

表1 製程設備成本項目評估(潘薇如 整理)

程序	項目	國外單位成本 (美元/噸)	匯率換算 (新臺幣/噸)	參考資料
原料 供應	原料蒐集	55.5	1,703.8	Sikkema et al.(2010)評估瑞典、義大利及荷蘭平均蒐購成本
	原料採購	32.7	1,003.8	Sikkema et al.(2010)評估瑞典、義大利及荷蘭平均購買成本
	原料運輸	22	675.4	Sikkema et al.(2010)評估平均運輸成本(160公里；30公噸)
製粒 程序	設備成本			
	錘片式粉碎機	0.25	7.67	Mani et al. (2006)
	烘乾機	1.28	39.29	Mani et al. (2006)
	研磨機	1.47	45.12	Kumar et al. (2010)
	造粒機	1.43	43.90	Mani et al. (2006)
	球團冷環機	0.13	3.99	Mani et al. (2006)
	振動篩選機	0.11	3.37	Mani et al. (2006)
	固體燃燒爐	0.65	19.95	Mani et al. (2006)
	輸送槽等	0.25	7.67	Kumar et al. (2010)
	貯存倉	0.07	2.14	Mani et al. (2006)
	包裝機	0.29	8.90	Mani et al. (2006)
	人力成本			
	營運經理人	0.44	13.50	Bi et al.(2010)
員工	4.44	136.30	Bi et al.(2010)	
維修師	6.39	196.17	Bi et al.(2010)	
土地建物	0.21	6.44	Mani et al. (2006)	
燃料 運輸	成品運輸	24.6	755.22	Sikkema et al. (2010)載貨運輸至零售商成本(200公里；24公噸)
	稅收(營業稅等)	2.63	80.74	Bi et al.(2010)
總計		154.84	4,753	

註：參照中央銀行全球資訊網公告匯率，近五年均值為1美元=30.7新臺幣。

參照Kumar et al.(2010)、Sikkema et al.(2010)、Bi et al. (2010)、Mani et al. (2006)研擬製程設備成本項目。參照Kumar et al. (2010)、Bi et al.(2010)營運年產能約為4.4萬噸。

產量約為94萬噸，市場有供給大於需求之現象，目前，全國產量超出總需求量35%以上，是故以發展出口為導向。

在能源政策方面，奧地利為配合京都議定書二氧化碳減量目標，提供「生質能供熱廠作住宅使用之獎勵方案」，凡一般家庭用戶購置小型生質能發電設備供私人用途，便可獲得800歐元(以木質顆粒為燃料)或400歐元(以其他生質能源為燃料)作為獎勵補助金；另擬定klima: aktiv (奧地利氣候策略)，透過媒體宣導，強化民眾對生質能源使用認知，其中論及項目包含木質燃料、木材熱轉換、沼氣、生質能供熱廠、太陽能等再生能源。以

推廣及技術解說等方式，提升民眾環境保育概念，加速生質能源使用需求，降低二氧化碳排放及能源消耗等效益。

二、瑞典

自1970年爆發石油危機後，瑞典便花費鉅額經費積極尋找替代能源，以1970年石油佔瑞典能源供給率75%以上來看，至2009年已降低為32%，大幅減緩化石燃料及進口能源之消耗。另外，瑞典政府於1997年後，期盼研擬出高效能、高穩定且具成本效益的能源供應，以促進轉型為永續性的生態社會。

瑞典再生能源是以生質燃料佔最大宗，

取自森林及農田產物，其次為家庭和工業廢棄物等，作為生質能發電、產熱及供應車用燃料等用途。1980年後，瑞典境內許多區域性供熱廠及熱電聯廠便以木質顆粒燃料逐漸取代石油燃料。2005年以來，木質顆粒年平均出口量約為 10 萬噸，主要運往丹麥及英國；而進口量約為 36 萬噸，早期自加拿大及波蘭進口，近年來，大多由俄羅斯、芬蘭及波羅的海諸國引進。統計至 2010 年，瑞典已設有 81 家顆粒製造廠，產能相較 2004 年 125 萬噸增加為 240 萬噸，

然而，其缺點為瑞典境內大型顆粒製造廠皆以新鮮木屑、乾木屑及薄片作成木質顆粒原料，原料取得多數以採購方式為主，導致常需面臨原料短缺、價格高漲及競爭激烈等問題。

三、德國

木質顆粒為德國近年來發展最快速的產業之一，極具成長潛力。德國政府為推廣顆粒燃料之住宅使用，不僅提高石油及天然氣價格，並獎勵民眾裝置住宅木質顆粒之供熱系統，致使燃料鍋爐及中小型暖爐等設備需求擴增，木質顆粒總生產量約有 75% 用於供熱需求，以 2010 年數據統計，約有 120 萬噸消費於供熱市場，其餘則作為發電用途。

而德國木質顆粒產能及產量為歐盟國家中位居前位者，工業木質顆粒主要出口國為英國、瑞典和丹麥。現今德國約有 63 家顆粒製造廠，其年產能可達 320 萬噸，2010 年產量約為 170 萬噸，相較 2006 年產量 90 萬噸，約增長一倍之多，亦逐漸規劃擴廠中。

四、美國

美國境內有許多未充分利用的生物資源，得以供作木質顆粒或其他能源產物，現今美國木質顆粒製作來源大多為鋸木廠之殘餘，其次為木屑片和圓木，視不同植物之產能而異。據美國統計年殘餘物約為 85 百萬噸，其中約有 1.77 百萬噸未被使用，並作為廢物焚燒或棄物堆置等。依分析顯示，美國扣除為提升土地生產力必須留除之產物、牧草或其他穀物等，仍有超過 157 百萬噸殘物可蒐集之。

基於此，興起美國木質顆粒產業發展，2009 年其年產能超過約 4.3 百萬噸，近期亦增至 6 百萬噸，但相較其他國家，該產業仍屬發展初期，美國政府為提升生質能源使用，除重視再生能源市場外，並提高化石燃料成本，以達到二氧化碳減量、木質顆粒廣泛使用之目的。

另外，隨著歐盟對生質顆粒需求迅速增長，刺激美國積極擴展木質顆粒產業外銷至歐盟之動機。2010 年歐盟對木質顆粒需求增加 7% (約 11 百萬噸)，北美出口量則相較前兩年約擴增一倍。2010 年約有 1.6 百萬噸的木質顆粒由美國和加拿大，運往荷蘭、英國和比利時，且出口量持續增加中。

五、日本

與臺灣地理環境相似，同為海島型國家的日本，日本木質顆粒製作原料大多取自於木屑片、樹皮及林木殘材等。依據日本木質顆粒協會(2010)統計木質顆粒廠原料來源比率分別為木屑片 49%、鋸木屑 5%、樹皮 9%、一般大型鋸木機產物 13%、森林間伐及林木殘材 18%、其他(浮木、殘枝及行道樹等) 5%，而主

要用途為住宅型暖爐和小型鍋爐，比率分別為35及65%。

日本自1980年開始生產木質顆粒，1990年市場需求卻呈下降趨勢，至2000年才又再次復興，主因為國內大型電力廠朝向以生質能源混燒作為燃料使用。以2008年為例，約進口4萬噸木質顆粒作為混燒用途，2010年則增加為6萬噸，進口國則以哥倫比亞、加拿大為主，其次是中國、越南和紐西蘭等。

日本木質顆粒製造廠平均規模不大，主要生產障礙包含原料供應量不足、缺乏政策措施支持，且無質量標準評估技術等。2008年日本木質顆粒廠約為51家，至2010年增加為111家，依其規模大小不同，產能極具差異性，相較於其他國家，年產能仍屬偏低者。2008年僅約有3家最大廠年產能達3000噸以上，9家小規模者年產皆小於50噸，至2010年111家木質顆粒廠年產能約為20萬噸，平均每小時產能約為87.1噸。

是故為落實節能減碳策略，日本政府自2012年7月調整再生能源發電價格，電力公用事業被要求購買再生能源電力，並於規定期間內固定其價格，獎勵項目包含生質能源(沼氣、木質燃料、廢棄物及再生木竹材等)、水力發電、地熱、風能及太陽能，獎勵期限以不同項目有異，約介於10至20年，在此期間內依其項目規定價格收購，以木質燃料發電為例，獎勵期限為20年，制定價格為33.06日元/千瓦·小時，透過電價補貼方式，提升再生能源發電比例。

結語與展望

國外發展木質顆粒大多為鍋爐料源及供

熱發電之用，臺灣地處熱帶及亞熱帶地區，雖較無鍋爐產品市場之需，但由於木質燃料顆粒具有含水量低、燃燒效率佳等特點，其加熱技術可100%取代燃油、柴油或煤礦燃燒，對我國減緩二氧化碳排放極具助益。

然而，臺灣目前木質顆粒產業仍在發展起步階段，大多由飼料設備商轉型投入，其料源仍以進口馬來西亞木質顆粒為主，若能推動相關政策、扶植木質產業興起、提升產品市場競爭力，則得以供應發電廠、替代燃油供熱，擴展生質能源多元化之潛力。2004年6月24日於花蓮縣豐濱鄉建造完成國內第一座都市廢棄物固態衍生燃料製造示範廠，以處理量1000 kg/hr，最大處理量為每日24噸進行示範運轉，所產生之燃料提供予汽電共生鍋爐及混燒替代煤炭使用。另，臺灣廢棄物熱裂解利用技術方面，已有數家廠商以廢塑膠和廢輪胎為料源，製造衍生燃油，亦有液化技術產製之衍生燃油，作為鍋爐之輔助燃料或用於發電機等。

以檢視臺灣木質顆粒發展之可行性而言，臺灣因受地狹人稠、土地供應之限，難以仰賴能源作物供應長久之需，且國產材生產造價成本高，林木搬運不具成本效益，多有林農以焚燒或廢棄方式處理殘材，再加上受年度颱風影響，沖刷出大量漂流木或工業廢棄殘木等數量極其可觀，是故短期若能以政策誘因、獎勵補貼，吸引相關產業率先投入，長期則強制規範、監管整合木質顆粒利用效率，發展出我國該項產業之產銷供應鏈，以取代種植能源作物之缺，使用化石燃料之限，便能強化我國能源安全、料源穩定與資源永續利用等多重效益。♻️