

日本人工林疏伐方法 與機具應用之研究^(註)

文/圖 邱耀德 ■ 國立嘉義大學森林暨自然資源學系研究助理
黃明秀 ■ 中華造林事業協會 榮譽會長
何坤益 ■ 國立嘉義大學森林暨自然資源學系教授兼系主任(通訊作者)

一、前言

林務局第三次森林資源及土地利用調查資料顯示，台灣共有人工林422,600ha，佔森林總面積20.1%，蓄積量達4,767萬 m^3 。民國64年公布林業政策三原則，林業經營方針走向國土保安功能，至民國79年制定「台灣森林經營管理方案」後，林業經營目標強調森林保育功能，並且實施天然林禁止伐採，規劃每年伐林量不得超過20萬 m^3 ，使得具有持續生長的林木蓄積並未善加利用。以目前而言，台灣每年木材需求使用量約1,000萬 m^3 (邱志明等，2010)，但根據100年林業統計，僅生產32,798 m^3 ，自給率不到0.5%。

台灣光復後，伐木跡地延續以往栽植柳杉(*Cryptomeria Japonica*)、杉木(*Cunninghamia Lanceolata*)等，這些人工針葉樹造林面積廣泛，目前在各地形成非常鬱閉林相。由於甚少後續撫育疏伐，造成許多的人工造林地過於鬱

閉，其中又以柳杉人工造林林相最為明顯。然而，近年台灣木材市場中，由於有業者看中柳杉之加工性與特性，自日本進口柳杉疏伐材製品(黃裕星，2012)，顯然台灣雖具有相當的柳杉人工林等原料，卻無法加以利用並投入於國產市場。然而早期延續日據時期之密植，後續未執行疏伐撫育，目前仍使林相太過鬱閉而產生形質不良與林地衰退等情形。

疏伐，日人稱之為間伐，為林分管理為相當重要之經營工作，除了使樹幹具有肥大生長空間、生產良質木材以外，也可以提高林分對於氣候危害的耐性，而有效利用間伐下來的木材，也可以提高總收穫量(藤森隆郎，2006)。適度之疏伐對於林下植被以及野生動物，並不見得造成負面影響，相反地可能對部分物種帶來正面效益(圖1)，甚或可以將疏伐行為視為於人工林中增加生物多樣性之可能性(蔡錦文等，2010)。



圖1 孔隙疏伐後使林下植被繁茂(攝影/邱耀德)



圖2 曾使用於阿里山之集材機(攝影/邱耀德)



圖3 Caterpillar(CAT)公司製伐倒造材機(<http://www.cat.com>)



圖4 イワフジ工業公司製林地集載集材車輛(<http://www.iwafuji.co.jp>)

疏伐雖有優點，但台灣近年來人力成本逐年遞升，勞工資源短缺，以致許多勞力密集產業紛紛外移或轉業。林業生產需要大批勞力，然而隨著農業人口老化問題，林業從業人員更加短缺。歐美及日本等林業進步國家，其國家工業化程度高，在林業生產上已經運用高度之機械化。其中日本各縣有組織健全之造林協會，各協會有其因應當地環境不同所衍生之整合林業技術中心，時常有深具效益之純熟實務技術發展，與日本林業有極相似之森林現況的台灣，應有許多可以借鏡之處。

二、日本的林業機械化作業之發展

日本的林業機械化作業可以追溯到1890年明治中期，當時將已經實用在礦山的軌道運輸技術運用於林業，1904年正式於高野山國有林

鋪設第一條森林鐵路，而在1912年於阿里山導入蒸氣集材機(圖2)，為日本機械化林業之瀾滄。二次大戰後，1954年洞爺丸颱風侵襲日本，導致北海道發生大量的風倒木，為了處理2,100萬 m^3 的大量風倒木材，使用了卡車來搬運風倒木，之後日本從國外輸入鏈鋸、集材機與卡車並且國產化，形成近代日本的機械化林業主軸，1960年後，從森林鐵道為中心的作業方式漸漸移轉到由林道作業。

1980年後，受到日本國產材價滑落、生產費用增高、美國木材輸入競爭與社會高齡化等影響，日本自北歐與美國引入伐倒造材機(ハーベスタ，圖3)、打枝造材機(プロセッサ)、林地集載集材車輛(フォワーダ，圖4)等等的高性能林業機械，希望藉由引入高性能林業機械來提高生產力。

1982年(昭和57年)北海道便引入瑞典製小



圖5 Caterpillar(CAT)公司製多功能伐採機(<http://www.cat.com>)

型伐倒造材機進行示範作業(駒木貴彰, 1997), 1987年(昭和62年)導入多功能伐採機(フェーラーバンチャ, 圖5)進行示範作業, 北海道成為日本引入高性能機械的先驅, 自1988年開始以來至1993年的統計, 北海道的高性能林業機械數量一直為其他地區之冠, 主要是北海道的地形上較能搭配機械化林業的合理化生產(嶋瀨拓也, 1995)。經過20-30年間的發展, 全日本的高性能機械的數量也自1988年(昭和63年)的23輛, 至2010年(平成22年)達到了4671輛, 其中以打枝造材機為最多, 佔28.1%, 而林地集載集材車輛佔26.0%為其次。

高性能林業機械所換取的效率與成本低廉化部分, 根據日本林野廳「平成17年素材生產費等調查報告書」提出, 在進行柳杉間伐時, 架線集材的生產與費用為 $2.1\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ (14,598円/ m^3), 林內作業車輛進行集材為 $3.1\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ (9,431円/ m^3), 採取高性能林業機械則可進一步提升速度並降低費用為 $3.6\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ (9,248円/ m^3); 另外使用高密度路網搭配可使原本生產力從 $2-3\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ 提高到 $4-10\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$, 並能使間伐成本從8,000-16,000/ m^3 下降到5,000-9,000円/ m^3 (藤野正也, 2009)。而在那須野原地區試驗



圖6 イワフジ工業公司製自走柱式集材機(<http://www.iwafuji.co.jp>)

地進行調查發現, 過往作業使用鏈鋸伐倒與造材工作, 造材的速度分別為 $2.29\text{m}^3/\text{人}/\text{時}$ 、 $3.11\text{m}^3/\text{人}/\text{時}$ 與 $4.3\text{m}^3/\text{人}/\text{時}$, 而鏈鋸伐倒後改用造材集材機進行造材工作, 則可提高至 $12.14\text{m}^3/\text{人}/\text{時}$ 與 $10.52\text{m}^3/\text{人}/\text{時}$, 採用造材集材機也可以減低造材時可能造成的勞工傷害(仲畑力等, 2011)。

但導入高性能林業機械後並非一切順遂, 依照林野廳所公布的數據2010年的高性能林業機械稼働率(該機械的實際稼働日數/擁有該機械的事業體保有的日數扣掉週休與雨天等休假日之工作日數)中, 以伐採造材機與打枝造材機的56%為最高, 大型的多功能伐採機僅35%, 而應用於架線集材的自走柱式集材機(タワーヤーダ, 圖6)則僅16%, 林野廳推薦的歐洲機具對於日本山地的適應狀況也是影響稼働率的因素。日本學界亦對引入高性能機械外, 同時探討建立高密度路網以減少集材花費與距離, 進而減少生產成本, 讓國產材能與進口材競爭(澤口勇雄等, 1995; 酒井秀夫, 1997; 立岩久松, 2007)。

在日本的林業政策中, 日本農林水產省發布的「国有林野の管理經營に関する基本計

畫」(林野廳, 2008)中談到, 對於減緩溫室效應項目必須活用森林資源構築低碳社會, 而利用間伐技術可以確保森林對二氧化碳的吸收量以外, 間伐材的有效利用並予以販賣的收入亦可回饋至森林整治與森林保安上。同時依照功能將國有林區分為水土保全林、森林與人之共生林、資源循環利用林, 而資源循環利用林便是肩負了國有林之安定供給林產物的責任。2009年的「森林、林業再生計畫」提出基本的理念: 持續發揮森林具有的多項功能; 林業與木材產業等地區資源創造性產業之再生; 擴大木材與相關能源利用之貢獻, 以構築森林與林業的低碳化社會。

除了這些理念外, 同時提出10年後要使木材自給率達到50%的目標。而2011年(平成23年)7月內閣決議的「森林、林業基本計畫」中, 進一步將路網整備、木材生產低成本化加入計畫當中, 並在國有林管理施業策略章節, 再次提到利用路網與高性能機械的組合系統, 來實施低成本的間伐。

三、結合地形環境之作業道建構

日本對於林內路網的設計, 大致依照三種等級: 林道、作業道、作業路。利用原有已鋪設之林道往高處上開設S型作業道, 在作業道彎曲處沿著等高線開設作業路為基本原則, 而作業道的坡度約為12%-13%以利機械進出作業。由於地形複雜因素, 路網配置上採取林道為主幹搭配寬度較狹的作業道延伸才能減少崩塌之危險。其中較著名之吉野林業對於作業道採取「大橋式高密度路網作業道」的要點:

1. 預先藉由航空照片套用等高線圖, 1/5,000或1/10,000之等高線圖進行前置作業, 判定何處危險何處安全爾後決定路線, 並實施現場踏勘(圖7)。
2. 作業道路寬2-2.5m, 粗挖方寬度為60-70%, 以避免一開始開挖過多導致土方不足。
3. 利用開設作業道時伐採下的疏伐木(DBH 14-18 cm之原木)作為多層構造強化邊坡與路面, 主要施工機械使用小型挖土機(3.5ton等級)。
4. 儘量保持道路兩旁之灌木與植被完整, 不先伐開預定路線的障礙木, 以最小伐開距離為原則, 邊開設邊伐障礙木以減少破壞與浪費。
5. 依照日本經驗, 作業道開設完成後半年將少許恢復植生, 7年至8年後則完整恢復至原有情形(岡橋清元, 2007)。



圖7 藉由等高線與航空照片配合規劃選取作業道路徑(攝影/邱耀德)

吉野林業實施之區域具有50%急傾斜與3,000mm年平均降雨量, 與台灣相當類似, 其路網建構與施工方法, 且利用現地林木與小型作業怪手進行加固, 皆可為台灣作業路網相關者利

用。林務局民國80年各林區統計林道共87條、全長為2,120.74km，林區面積為1,559,274ha，林道網密度僅1.36m/ha(姚鶴年，2003)，與日本資料比較相差約11倍。林道與作業道開設為人工林經營的基本之一，而若欲引進高性能機械則更須提高林道與作業道密度以增加效率。

四、吉野林業疏伐方法之介紹

日本的吉野林業，廣義的指現今奈良縣吉野郡的林業地區，狹義指吉野川的上游，也就是吉野郡的川上村、東吉野村與黑滝村共約450km²的區域，約佔奈良縣面積的12%。

追溯吉野林業的人工造林可回朔到1501年左右於川上村進行人工造林，1583年豐臣秀吉使用吉野地區的木材來進行大阪城與伏見城的築城工作、修築京都的方廣寺之大佛殿等，而吉野材也在此時便聞名日本。而在明治維新前後，材價高漲，日本各處皆開始大規模砍伐林木，僅吉野林業繼續保持高齡林的生產，並建立山守制度維護造林與經營(北島潤一，2005)。

吉野林業其生產方針非常明確，便是生產優良無節的大徑用材，首先是密植方式，以每株間隔1m×1m，1ha栽植10,000棵苗木。另一方面是多間伐，對於造林地實行頻繁的間伐工作，植林後至30-40年生每3-4年進行一次間伐，40年生至100年生每8-10年做一次間伐；與一般人工林伐採年齡40-50年不同，吉野林業實行80-100年的長伐期經營(吉野の森コンソーシアム，2011)。經營特點以嚴謹之選木過程，先確立永代木(留存木)，因為在選定永代木(留存木)時速率較快，標定永代木(留存木)時以樹高相近、同時有生長潛力的單株為主。決定伐除木



圖8 日本專家示範選木工作(攝影/邱耀德)

時，選擇過粗、過細者、生長過於良好或貧弱者、或分叉成兩個主幹者，或者按照樹冠覆蓋的重複度等多方考量後予以伐除，而這些工作常以經驗作為判斷(圖8)。

其次是疏伐與集材作業，日本的間伐作業常分為定量間伐與定性間伐，定量間伐一般又稱作列狀間伐，亦即以每列為單位不論單株好壞皆進行間伐。定性間伐則是藉由選擇優良單株為永代木，其他的進行間伐作業。而吉野林業便是採取此種方式。在長伐期的狀況之下，40年生後所間伐下來的木材其長度與DBH亦為可以有效利用的木材，成為林業之重要收入。間伐後的木材放置於林地6-12個月進行自然乾燥，使其材色較佳。吉野林業生產大徑材的特性，以往在材價較高的1980年代或在無道路的情形甚至使用直升機集材。

近年來由於材價低落、成本上又必須跟進口材競爭，吉野林業為了減少人工成本並加快作業效率，採取在林地內開設作業道，盡可能的將高性能林業機械作業往林內作延伸，在鏈鋸伐倒之後，以各式高性能林業機械作集材，最後採用4輪驅動的卡車搬運出林地。

五、他山之石可攻錯-台灣人工林之疏伐

汪大雄(2007)研究發現台灣疏伐雖然對於單位面積生產力增加不大，但可以調整林木之生長空間，使得存留木可以發揮潛力生長，配合修枝更可以生產通直圓滿之良好經濟材。台大實驗林之56年生柳杉造林試驗地長期之疏伐實驗可以發現，無論是插條苗或實生苗所長成之林木，經過強度及多次之疏伐，可逐漸去除形質較差之林木，提高形質優良之林木在全林分中所佔之比率，增加最終之收穫價值(王亞男等，2009a)。翁世豪等(2011)對於28年生之柳杉造林地實施疏伐後存留木因生長空間擴大並獲得更多的光資源，使大徑木的生長表現比小徑木優良外，生長的情形可持續維持8年，即在林齡已屆36年生尚未見衰退，利於生產未來主伐、具有經濟價值的大徑木。王亞男等(2009b)研究發現對不同密度栽植的台灣杉(*Taiwania Cryptomerioides*)施行下層疏伐之研究提出，經由下層疏伐處理後林分能夠有效的減緩枯死率，並且能夠提升輪伐期內木材收益，對於台灣杉此長輪伐期樹種若能應用下層疏伐技術亦能達到目前台灣多目標生態系林業經營發展。

在疏伐上的成本問題，鄭欽龍(2000)研究認為伐採單位成本的重要因素為：工資、林地的可及性(Accessibility)以及伐採規模。工資與伐採成本成正比，而林地越偏遠其林木之運輸成本越高。鄭欽龍等(2006)調查了2001年林務局45件人工林疏伐標案後，藉由標價、林況與作業方式等推估成本模式後發現，疏伐木搬離林地的平均成本為184,752元/ha或者1,377元/

m³，而2001年12月之國產柳杉平均市價3,309元/m³(林務局，2002)，並認為林地坡度小於25%，距離林道600m，進行疏伐作業最為可行且具有經濟性。進一步對南投地區國有林承租造林地進行分析之後，發現代入伐木工資水準此項變數推估後，可以預測伐木工資每工增加1元，每筆林地伐採成本增加181.37元(鄭欽龍、施友元，2006)。

綜合上述經濟成效分析，人工為疏伐成本之重要考量，如何減少人工降低成本提高收益，與林業機械應用而言，未來可以參考之方向：

- 1.台灣營林許多區域坡度陡，伐採上採用鏈鋸作業較為適當，但在搬出與運輸上，引入高性能林業機械提高作業效率與減少人力為較佳考量。而日本稼動率不高之自走式柱狀集材機，其只需要林道便可做為索道集材支柱的特性，反而對台灣山區人工林疏伐作業提供便利的選擇。
- 2.台灣公私有林約佔全國森林的25%，私有林在規模上不及先進國家。若能如日本各地區組成森林協同組合般之合作社組織，才能有效提升規模降低成本。
- 3.高性能林業機械購入成本高，針對此點可考慮由政府單位提供補助，或藉由統一採購、租用作業的方式，集中運用於規模化生產的地區。而日本近年來使用高性能林業機械，其相關優缺點與應用方式皆較為嫻熟，應藉由吸取日方經驗減低台灣施用上的風險(圖9)。
- 4.對於林內作業道，則必須規劃對環境破壞最少、復育最快的方案與施工選項，以期同時達成方便機械作業降低成本、對環境傷害降



圖9 藉由與日方互相交流疏伐經驗提升疏伐技術(攝影/邱耀德)

到最低，大橋式高密度路網作業道似為一可行之參考方案。

六、結論

林務局100年施政即以發展優質林業，厚植森林資源為目標，並依生態系經營原則，加強人工林撫育經營，建構良好棲息環境，增加林木二氧化碳之吸存功能為重點。顯然，人工林撫育工作應予以重視。參考日本林業疏伐措施，對於當前台灣能有效提升林分在經濟價值與其健康性。而進行機械化疏伐作業之前，應

經由航空照片與實地探勘後，在緩坡或者經評估可行之處設置作業道，配合林道進行機械化疏伐與運搬工作，並建立機械化疏伐標準作業流程。擴大實行機械化疏伐，可以減少人力、提高作業效率，藉以減少成本並且增加對疏伐材的利用可能性，來提高國內的木材自給率。

台灣過往人工針葉林造林面積廣泛，除保安林外，一般人工經濟林應該建立長期經營策略。由於台灣本身地形複雜，在建立標準作業流程時，應藉由設置小型樣區，在疏伐後持續監測林地本身生物量變化與對環境改變後的負荷量，以釐清疏伐與開設作業道後對於林地與環境之間交互作用。如此才能確保疏伐方式與選木策略，並且設定伐期以達到生態或經濟上之目的，完成不同經營目標而皆能達到永續經營之依據。♻️

參考文獻(請逕洽作者)

註：本成果承林務局計畫經費補助