

人工林永續經營與國產木竹材產地證明制度

文／圖 ■ 王松永 ■ 國立臺灣大學森林環境暨資源學系名譽教授

一、前言

近年來，大氣中二氧化碳濃度急速上昇，使地球陷入暖化危機，依日本所進行模擬結果（外崎、恆次，2008）顯示，欲使地球不致於陷入暖化危機，氣溫上昇須控制在 +2°C 以內，如此大氣中溫室氣體濃度須保持在 475ppm 以下，為達成此目標，2050 年地球溫室氣體排放量有必要比 1990 年削減 50%。

IPCC（聯合國氣候變遷政府專家委員會）於 2013 年 9 月 27 日發表（2013 年氣候變化）報告，指出如今科學家比過去更確信地球暖化是人類活動所造成，其中主要原因為燃燒石化燃料、煤炭及森林被破壞。因此減少石化燃料、擴大森林面積及增加單位面積之林木蓄積量，即維持健康森林，將為減緩地球暖化之重要手段之一。

為防止森林被破壞，森林之永續經營，尤其是人工林在生長達最大過後，有計畫性的進行收穫、跡地再造林，實施計畫性之「伐採、植林、育林、收穫」，可擔負起木材資源之循環利用，不僅在國內，甚至於對於減緩地球暖化均會有正面貢獻。

二、人工林永續經營與二氧化碳（CO₂）之吸收機能

森林是樹木的集合體，因樹木係有生命的，其亦會年老、病死，所以森林如不進行經營管理，在林分內將充滿朽木、枯木、倒木，不但容易引起森林火災，亦會在豪大雨時形成大量漂流木，對水庫、河流造成二次公害。

以生產木材資源為目的之人工林，大部分為生長旺盛，且健康之壯齡樹木之集合體，作為大氣中 CO₂ 之吸收源的機能會較高。

森林在壯齡林生長旺盛，老齡林生長會衰退，其總生長量（樹木藉光合作用所生產有機物之總量），純生產量（總生長量減去樹木為維持生命進行呼吸作用所消費後而得之量），現存量（純生產量減去樹木因枯死，昆蟲、白蟻、菌類之分解，動物之攝食後所得之量），均會隨林齡增長而增加，但在約 10-30 年左右會達最大值，之後總生產量與純生產量會維持一定，但現存量則會隨林齡增長而減低。此意味著所生產物質並非全部會被蓄積下來，其中一部分會由於枯死或動物攝食、昆蟲、白蟻、菌類分解而被消費掉（如圖 1 所示）。

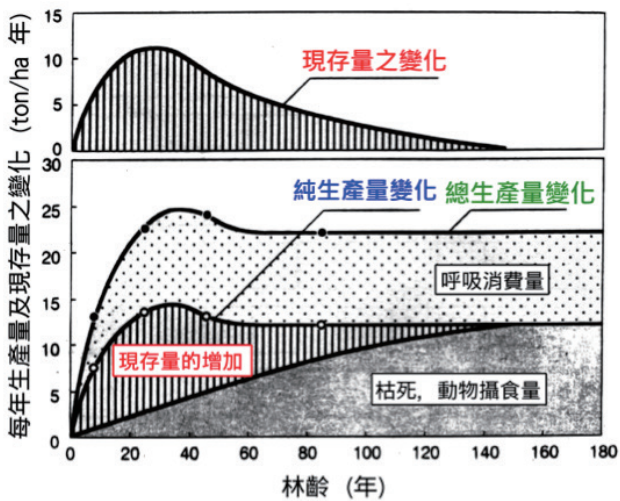


圖 1 森林之物質生產量與林齡之變化

因此人工林須於達最大生長量過後，於適當時期，在適當地區，作計畫性的收穫（伐採），伐採跡地再造林，即一般所稱的永續經營，從植林、育林、收穫、製造（加工）、利用、解體廢棄、再造林，整個流程須永續進行。

而有關國內柳杉人工林情況，依林務局 2002 年（陳阿興，2002）資料、國有林之柳杉人工林面積 62,507 公頃，依柳杉林齡分布較多者，20-30 年生為 23,754 公頃最高，其次為 30-40 年生，為 11,860 公頃，10-20 年生為 10,256 公頃，40-50 年生為 5,909 公頃，而依其生長趨勢觀之，隨著林齡增加，在 10-30 年內，生長速率會急速增加，其後蓄積量之增加則會逐漸趨緩，如換算成每公頃、每年之蓄積量時，可看出 10-20 年生為 5.66 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$)，20-30 年生為 5.54 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$)，30-40 年生為 4.42 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$)，40-50 年生為 3.74 ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$)。

由上述可明白，吸收等量之 CO_2 ，壯齡之

造林木會比起老齡之造林木，只要較小林地面積就可達成。

石油、煤炭，鐵礦石等之埋藏資源將有用竭之一天，但木質資源（木材、竹材）是可再生，對人類或環境是友善之循環型的自然素材，即使伐採利用，其後如進行新苗木之栽植，則在 30-50 年後，其仍會生長為可當作材料或能源之資源（圖 2）。所使用之木材量只要不超過樹木生長之量，木材即可視為永續性資源而被利用。

圖 2 表示 1 公頃柳杉造林地之林木生長過程，及其林木伐採製造木材產品的利用過程，其碳累積量的經年變化模式圖。即第一世代造林經 50 年後伐採利用，在伐採跡地再進行第二世代的造林。所伐採林木之製材率為 60%，使用這些製材品建設房屋（住宅），經 33 年後，住宅解體，解體材 60% 被製造成粒片板等板材，粒片板利用率 80% 再製造成家具，家具使用 17 年後再解體，解體材如不能再製造成木質材料時，可供作生質能源使用。因在第一世代木材製品被利用的 50 年期間，第二世代造林木亦可生長 50 年，接著再進行伐採利用其木材，伐採跡地可再進行第三世代造林。如此植林、育林、伐採、製造、利用、解體廢棄、再植林，整個流程乃是永續林業的經營系統。

人工林於植林後，如六年內每年不進行除草，切蔓等撫育作業，林木很快會被野草覆蓋，蔓藤纏繞而死亡。但即使成林，如於樹冠鬱閉前不進行除伐、疏伐等撫育作業，使林木相互間隔疏開，陽光將無法入射進入林地，地

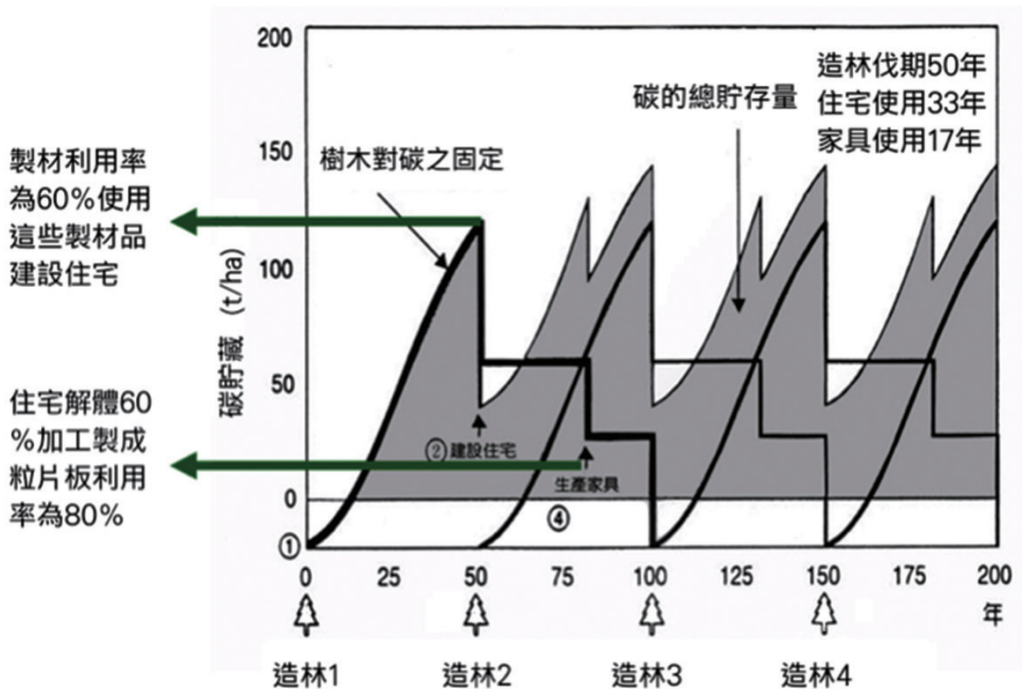


圖 2 木材利用時碳儲藏之永續性
(日本關東地區，二等級地位林地 1 公頃柳杉造林地)

表植生將無法生長，下雨時，雨水無法浸入土壤中，形成逕流，將破壞地表之生態平衡。且林分內優勢木樹幹雖高，胸徑偏小，而被壓木則會枯死，或幹形彎曲不良，收穫時砍伐所得原木，其幹形不佳，直徑小，在樹幹基部常有空洞，幾乎不能當作用材利用，即一般稱之「不成材」。另外，在 IPCC 京都議定書對於 1990 年前造林之林地，若未經人為撫育疏伐作業，係不認同有碳吸存效果者。國內多數的林地均屬於此種情況，若於節能、減碳、碳吸存欲得到國際間之認同時，近年應積極的推動人工林之撫育疏伐，一方面可增加木材自給率，另一方面可厚植森林資源，

並獲得 IPCC 京都議定書之碳吸存的認同，日本近年來即是積極的在增加其國產木材自給率，並獲得京都議定書減碳的認同。

國內於 1990 年 10 月公布「臺灣森林經營管理方案」，全面禁伐天然林，每年容許伐採人工林木材 20 萬 m^3 ，而近年來實際上在國有林只有人工林進行疏伐、生產少量中小徑木及租地造林，故每年僅生產不到 5 萬 m^3 的人工林木材，木材自給率不及 2002-2011 年期間消費量之平均 6,228.496 m^3 (如表 1，其不含紙漿、紙之原料) 的 1%。當然可供再造林之跡地亦相當有限。

而國內森林覆蓋率高達 58.5%，國產材

表 1 2002-2011 年台灣木材及木質材料之進口量及材積量平均值

木材及木質材料	平均每年進口量 (m ³ /年)	換算成原木材積 (m ³ /年)	來自熱帶雨林分佔 (%)	來自永續經營林分佔 (%)
原木	848,555	848,555	76.53	10.24
製材品	1,212,798	2,425,596	45.88	42.92
單板	170,479	340,958	86.74	13.26
合板	727,958	1,455,916	98.16	1.46
木芯原料	410,074	585,820	100.00	0
木芯合板	48,424	96,848	100.00	0
粒片板	263,234	263,234	50.00	50.00
中密度纖維板 (MDF)	211,569	211,569	50.00	50.00
合計	3,893,091	6,228,496	-	-

自給率則不及 1%，尤其被國際間質疑，進口木材中約 30-40% 係來自非法砍伐木材者，此由表 1 之資料可看出多量係來自熱帶雨林，而此非法砍伐木材正是 APEC 所關注的政治性議題。為改善此狀況，惟有提升國產材自給率，就已屆輪伐期，且年年生長速率開始衰退之人工林進行更新收穫，伐採跡地可再造林，則其不但可符合京都議定書第 3 條 4 項，於 1990 年後新造林者，所吸存之 CO₂ 量會被認同，而所生產木材可供國內所需，相對的，可減少木材進口量。

木材為民生必需品，國內近十年來，每年平均消費量如表 1 所示，維持在約 622 萬

m³，由此可知增加國產材自給率有其必要性。日本近年來為面臨低碳社會的來臨，擬將水泥社會轉變成木材社會，並期望人工林全部能獲得 IPCC 京都議定書認同有碳吸存（每公頃 1.77 公噸碳）之效果，自 2006 年起至 2013 年，每年加強疏伐更新 55 萬公頃人工林，並預定於 2025 年可使國產材自給率提高至 50%。此作法值得國內借鏡。

惟國內自 1990 年以後，國公有林撫育疏伐及皆伐作業逐年降低，相關之伐木、集材、造材技術人員亦逐年老化或凋零。而且疏伐林地分散，面積又偏小，更提高生產成本，而有利不及費的情形。為改善此情況，惟有

擴大林業經營規模，即以農企業公司型態經營，為此在林務局輔導下已陸續在國內各地區成立林業產銷合作，在新竹橫山之「永泰」，南投竹山之「永隆」，屏東恆春之「永在」及新竹之「品彥」等，另外，在宜蘭地區之「永興」已召開過發起人會議，將在近日中正式成立。今後，在其他地區如花蓮、台東等地區亦需成立，如此全國各地區均有林業產銷合作社進行營運時，將可降低疏伐收穫時，其運輸成本，而達成降低成本之目的。

林業產銷合作社之營運需配置「伐木收穫工作班」及「造林撫育工作班」，使上遊林業之作業能順暢進行，而其技術人員有待林務局的輔導與協助，期可透過委辦或補助計畫方式舉辦研討會，引進國外最新的觀念及技術、技能，以培育所需之專業技術人員。另外，伐木、集材及造材等之相關機械設備，亦可由林務局引進再租借給所需之合作社應用，以減輕各合作社之投資成本的負擔。

林業產銷合作社可作為上游林業與中游林產業及下游建築業、室內裝修業的交易平台，以改善現階段通路不良之現況。並參考日本林野廳的作法，鼓勵中游之木材工業業者盡量使用國產材，下遊之建設及建築業、室內裝修業者多量使用國產材應用於建築物之結構材料、內裝及外裝材料，以中下游之活絡帶動上游林業產業的永續經營，使人工林能維持著健康森林狀態，並可達成節能、減碳、固碳之低碳社會的來臨。

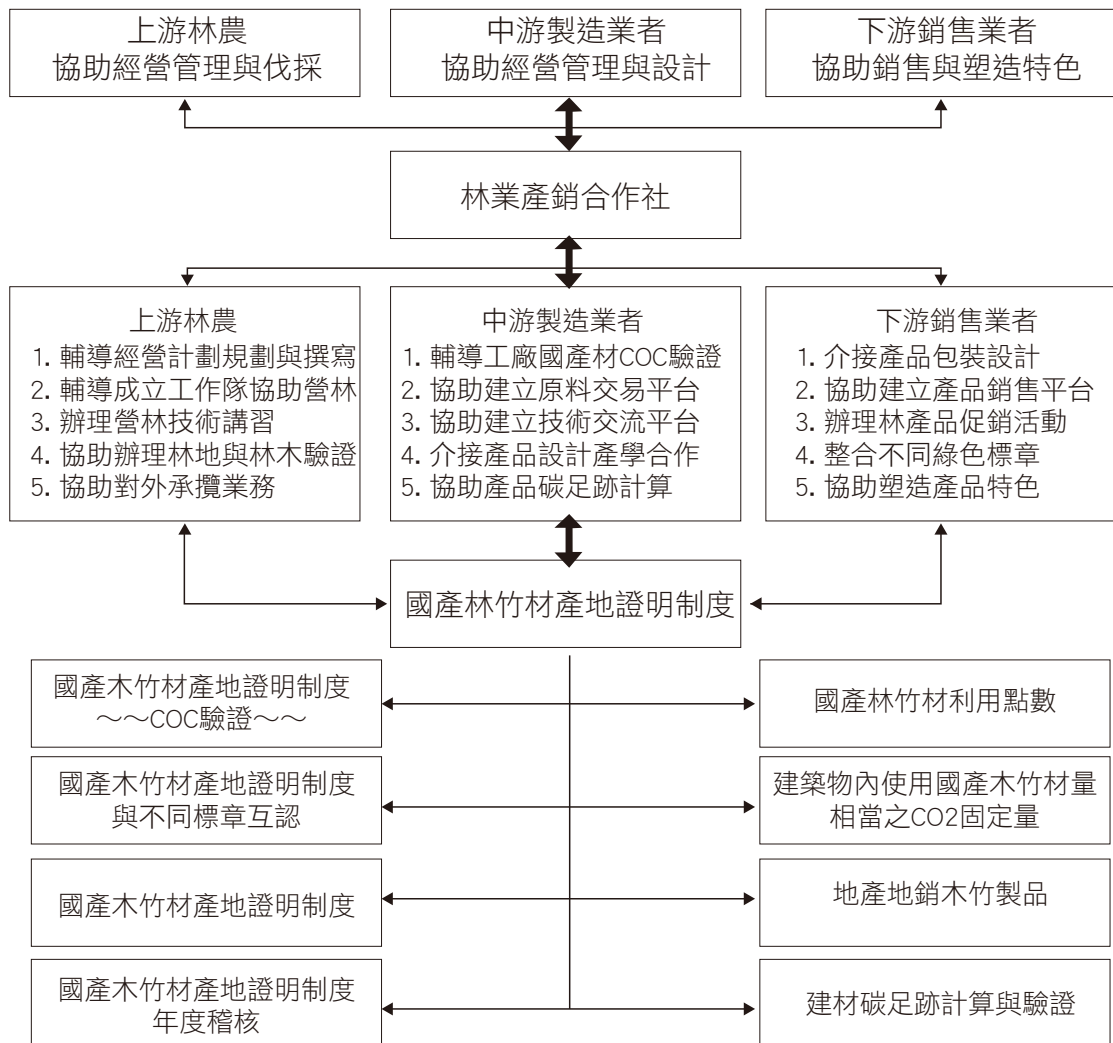
林業產銷合作社在林務局將推動之「國產

木竹材產地證明制度」亦會扮演著重要的角色與發揮應有的功能，其關聯性如下所述。如其營運能順暢時，將可使產地證明制度發揮其效果。

三、國產木竹材產地證明制度

行政院農業委員會林務局為使國內永續經營之人工林，包含國公有林、私有林、平地造林及農地造林等合法伐採所生產木竹材，及國、公有林主管理機關合法處分之國產木竹材能取得合法來源之證明，並與非法砍伐木竹材相區隔，同時藉由建立這些木竹材所加工之木竹材製品之原料可追溯性，期能在未來能與國際間已被普遍認同之森林永續之驗證機構與標章，如 FSC、PEFC 或 SFI 等之驗證相接軌，並幫助林農及本國木竹加工業等傳統產業昇級及其產品之國內外銷售。故自 100 年起委託工業技術研究院進行規劃，建立本國之國產木竹材產地證明制度與執行方式之研訂，且於去（103）年以委辦計畫方式，委由「中華木質構造建築協會」依工業技術研究院建構之「國產木材產地證明制度實施推動要點」草案及其配套之六項細則草案，進行本制度之推廣與示範驗證工作。

本制度規劃設計架構為生產或購入國產木竹材者，可向「執行機構」（中華木質構造建築協會）提出申請，並取得「國產木竹材生產地證明書」，而購入取得生產地證明之國產木竹材之廠商，可向「執行機構」（中華木質構造建築協會）申請成為「驗證廠商」，而其所製造之木竹製品則可申請「製品產地證明



書」，提供給下游業者或消費者，在 103 年本制度推廣示範驗證期間，已有 4 家木材業者實際申請並通過成為「驗證廠商」，其「生產地證明書」，「製品產地證明書」及其材積量如次述：

(1) 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處—水里木材實習加工廠：生產地證明書 1 張，材積，柳杉原木 239.805 m³、杉木原木 360.429 m³、台灣杉原木 1.4595 m³。製品產地證明書 1 張，材積，柳杉板材 201.966

m³、杉木板材 160.706 m³、台灣杉原木 1.4595 m³。

(2) 昆儀實業股份有限公司：生產地證明書 2 張，材積，相思樹原木 250.4573 m³。製品產地證明書 2 張，材積，相思樹原木 12.09 m³、相思樹板材 4.22 m³。

(3) 德豐木業股份有限公司：生產地證明書 2 張，材積，柳杉板材 95.29 m³。製品產地證明書 2 張，材積，柳杉板材 93.48 m³。

(4) 正昌製材有限公司：生產地證明書 5

張，材積，柳杉原木 1655.102 m³、杉木原木 661.95 m³。製品產地證明書 42 張，材積，柳杉製材品 1235.05 m³、杉木製材品 599.76 m³。

於進行示範驗證期間，木材工業界、建築及室內裝修業界均反應，並期待林務局能早日公告，正式實施本制度，期待能與其他公部門所實施的標章相互認證，如內政部之「綠建材標章」，經濟部工業局之「木竹製品 MIT 微笑標章」，環保署之「環保標章」等。而在內政部建築研究所出版之綠建材標章解說與評估手冊 2016 年版，已將通過國產材產地證明者列入生態綠建材標章之必要條件，其等同於國際間實施之 FSC、PEFC 驗證之永續森林的產品。

為鼓勵中、下游之林產業者、建築業者及消費者多量使用經驗證之國產木竹材製品，可參考日本在東京都推動之「東京都港區模式 CO₂ 固定驗證制度」，其係對於在建築物內所使用國產材相當之 CO₂ 量加以驗證，保證所使用之木材來自永續生產森林，並可削減相當量之 CO₂ 為其意義。

國內木構造建築每 m² 會使用 0.2125m³ 木質材料、在材料內可固定 195kg-CO₂/m²，如建築物面積 136m² 時，會使用 28.9m³ 木質材料，進而可固定 26.52 公噸 CO₂ 在建築物內。此意味著在該建築物之生命週期內，可削減 26.52 公噸 CO₂ 的排放，對於減緩地球暖化有直接貢獻。

四、台灣地產地銷製材品

日本政府為實現低碳社會的目標，具體的方法之一係提出有關製品、服務造成環境負荷的「可見化」，即建構出在商品、服務之生命週期整體（從原料供給至廢棄、回收準備為止），所排出的溫室效應氣體換算成二氧化碳（CO₂），在商品、服務進行標示之「碳足跡制度」。今後消費者於選購商品、服務時，在價格、設計、品質等與購買有直接相關的要素外，並可將「CO₂ 排出量」納入考量。木質系建材進行從生命週期整體所排出的 CO₂ 作定量的評價亦有其必要性。

依台灣地區近年（101 年 -102 年），原木生產與製材工廠生產之製材品，在其生命週期整體所排出的 CO₂ 量，如表 2 所示。

表中內涵說明如次：

(1) 原木生產：依卓志隆教授執行柳杉人工林疏伐作業所得資料，包含伐木造材 1.11kg-CO₂/m³、集材作業 13.1 kg-CO₂/m³、裝車作業 13.1 kg-CO₂/m³。

(2) 運輸：主要將原木運送至木材加工廠過程，貨車消費汽油換算成 CO₂ 排出量，係依交通部之資料。

(3) 製材加工：依正昌製材、昆晉實業及通越公司等三家製材工廠，在 101 年及 102 年生產製材品之材積量與耗電量，推算所得值，而每度電（1kw/h）所排出 CO₂ 量，則依台電公司資料，為 0.532kg。

(4) 天然乾燥：係依賴天然氣候條件之通風、氣溫而不耗能源，因此不會消費電量，不過

表 2 台灣之國產木材製材品生命週期整體之 CO₂ 排出量

(kg-CO₂/m³)

製材品種類	木材密度 kg/m ³	原材料供給		製造工程			流通	廢棄回收處理	合計
		原木生產	運輸	製材加工	天然乾燥	人工乾燥			
製材品 (天然乾燥)	450	27.3 (18.7%)	39.6 (27.1%)	52.0 (35.6%)	-	-	11.0 (7.5%)	16.0 (11.0%)	145.9 (100%)
製材品 (人工乾燥) ^(a)	450	27.3 (15.1%)	39.6 (21.9%)	52.0 (28.8%)	-	34.9 (19.3%)	11.0 (6.1%)	16.0 (8.9%)	180.8 (100%)
製材品 (人工乾燥) ^(b)	800	27.3 (7.5%)	39.6 (21.9%)	52.0 (14.4%)	-	227.1 (62.7%)	11.0 (3.0%)	16.0 (4.4%)	362.0 (100%)

註：表中括弧 () 內數值為各製程的CO₂排出量佔生命週期整體CO₂排出量之百分率

只能將製材乾燥至氣乾狀態（含水率在 15% - 17%）。

(5) 人工乾燥(a)：此係依德豐木業股份有限公司進行柳杉集成元防腐處理前乾燥至含水率 30% 以下，花費 7 天之間歇乾燥，每天 8 小時，又在防腐處理後再間歇乾燥 16 天，使含水率降至 14%，計算所得值。乾燥鍋爐之熱源均為木廢料，防腐處理前消費木廢料 162.6kg/m³，防腐處理後 386.4 kg/m³，而木廢料所排放 CO₂ 為碳中性，故不計入 CO₂ 排出量。

(6) 人工乾燥(b)：此係依昆儀實業股份有限公司進行相思樹材，以間歇乾燥約 42 ~ 44 天，含水率降至 14% 以下，所消費電力為 426.94 度 /m³，換算成 CO₂ 排出量，為 227.1 kg-CO₂/m³，鍋爐 (Boiler) 所使用燃料均為木廢料。

(7) 流通：主要將木材製品運送至使用現場，貨車消費汽油，換算成 CO₂ 排出量，係依交通部資料。

(8) 廢棄回收處理：此係參考京都府製材品生命週期之廢棄回收處理資料。

上述製材品生命週期整體之 CO₂ 排出量係以國產木竹材之生產為對象，若地產地銷之「地域」的定義，依美國之建築物之環境性能評價系統之 LEED 對於地域定義係以「在 500 mileage 以內所生產、收穫、再生、加工製造之資材」，依此觀點，台灣之國產材地產地銷可視為同一「地域」範圍。但台灣每年所消費之木材約 99% 係依賴進口，進口木材之製材品的 CO₂ 排出量，則需加上由原木生產國運輸至台灣之船運所排放的 CO₂ 量。因此，其製材品之碳足跡將會較國產製材品為大。

表 3 國產材製材品之碳足跡

製材品種類 (條件)	製材品密度 (kg/m ³)	生命週期整體 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材品CO ₂ 固定量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材品碳足跡 (kg-CO ₂ /m ³)
製材品 (天然乾燥)	450	145.9	825.8	-679.9
製材品 (人工乾燥)	450	180.8	825.8	-645.0
製材品 (人工乾燥)	800	362.0	1,468.0	-1,106.0

註：製材品 CO₂ 固定量 = 製材品絕乾密度 × 0.5 × 44/12 (kg/m³)

表 4 散裝船海運原木及木質材類至台灣港口之 CO₂ 排放量

地區	距離 (km)	CO ₂ 排放量 (kg/m ³)
亞洲	2,093-4,595	17.65
北美	10,043-10,216	50.65
中南美	19,066-22,943	105.0
非洲	22,248-22,420	111.67
歐洲	19,609	98.05
紐澳	8,893	49.46

五、國產材製材品之碳足跡

木材之構成元素為 50% 碳 (C)，43% 氧 (O₂)，6% 氫 (H₂) 及 1% 之 20 數種微量元素。因此木材作為木構造建築，室內裝修材料、木質家具，各種木製品使用時，均會將 CO₂ 以有機質碳固定在其內部，達到碳貯藏 (固定) 效果。因此計算木製品之碳足跡時，係以各種木製品於生產製程所排出的 CO₂ 量減去各種木製品所固定的 CO₂ 量求出。國產材製材品之碳足跡如表 3 所示。

由表 3 可看出國產材製材品之碳足跡均為負值 (-645.0 - -1106.0 kg-CO₂/m³)，此意

味著製材品均為碳貯藏型 (固定型) 之材料。而其他之鋼材、鋁、混凝土、鋼筋混凝土均為正值，其均為碳排放型材料。

若為進口木材，則需增加由海外運輸至台灣港口之 CO₂ 排放量，分別為表 4 所示之值。

散裝船，每公里，每公噸運輸之 CO₂ 排放量為 10g，在此以木材及木質材料之密度為 500kg/m³ 計算時，則每公噸相當 2 m³，則 1 m³ 之排放量為 5g=0.005kg，即 0.005kg/m³，乘上距離即可算出每 m³ 海運至台灣 (高雄港) 會排放的 CO₂ 量。

六、結言

「國產木竹材產地證明制度」之生產地證明及製品產地證明之木竹材製品，係以來自國內永續經營人工林，且依法核准砍伐，及合法處分的原材料。而「地產地銷製品」，其地域的範圍，若依美國之建築物的環境性能評價系統之 LEED 對於地域資源定義為「500 miles 以內所生產、收穫、再生、加工製造之資材」時，則「國產木竹材製品」係符合「地產地銷製品」之定義。以達成地域原料，在地域內製造，在地域內消費之理念，可削減製品因運輸里程增加而增加之 CO₂ 排放量。今後，各種

製品將會標示「碳足跡」，以提供消費者在選購商品、服務時，除在其價格、設計、品質等外，將會有「CO₂ 排放量較少」之附加價值的重要因素。以達到減低對環境的負荷。

「國產木竹材製品」、「地產地銷製品」於實施後，與國內其他部會推動的「綠建材標章」、「木竹製品 MIT 微笑標章」及「環保標章」等相聯結，並能推動於公共採購時作為優先採購之綠產品。俟本制度正式實施，建立木材合法來源後，即可爭取公部門綠色產品採購擴大至國產木竹材驗證產品，由消費端帶動原料端及產品加工端之活絡。🌱