



行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

林產品生命週期盤查與分析 (I) 木質板之盤查分析

Life Cycle Inventory of Forest Products (I) Wood -Based Panels

計畫類別：■ 個別型計畫    □ 整合型計畫

計畫編號：NSC90-2313-B-034-010-

執行期間： 90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

計畫主持人：王義仲 副教授

共同主持人：

計畫參與人員： 曾祥凱、曾美鈴

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：中國文化大學森林系

中華民國 91 年 10 月 21 日

林產品生命週期盤查與分析 (I) 木質板之盤查分析  
Life Cycle Inventory of Forest Products (I) Wood-Based Panels

計畫編號：NSC90-2313-B-034-010

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：王義仲 副教授（中國文化大學森林系）

計畫參與人員：曾祥凱、曾美鈴（中國文化大學森林系）

## 一、中文摘要

在全球資源短缺與枯竭的今日，如何有效的利用資源係為一重要課題。合板製造可以提昇木材之利用率與改善木材性質，但整個製程之效率與耗能仍可被進一步評估。本研究分析由木材原料至合板之能源消耗。經實際調查兩家合板廠後得知 A、B 合板工廠的單位合板直接生產單位耗電量分別為 138.9 度 / m<sup>3</sup> 及 215 度 / m<sup>3</sup>，轉換 CO<sub>2</sub> 排放量為 73.64 kg 及 113.95 kg，間接因燃燒木材廢料產生 664.2 kg CO<sub>2</sub>，合計 CO<sub>2</sub> 排放量分別為 737.84 kg / m<sup>3</sup> 及 778.15 kg / m<sup>3</sup>。

關鍵詞：林產品、木質板、生命週期盤查、能源消耗、二氧化碳排放。

## Abstract :

Natural resources are rapidly depleted at present. How to effectively use resources is an important topic. Plywood manufacturing can promote utilization percentage and improve quality of wood. However, the consumption of energy and efficiency in the procedures of plywood manufacturing should be further assessed. This study is to analyze energy consumption from wood to plywood. After investigating of two plywood factories, factory A needs 138.94 Kilowatt-hour / m<sup>3</sup> and factory B needs 215 Kilowatt-hour / m<sup>3</sup> in all produces of plywood manufacturing. Energy consumption values are also converted into emission amount of CO<sub>2</sub>. It is equate to that factory A emits 770.86 kg / m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> and factory B emits 788.85 kg / m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>.

**Keywords :** Forest Products, Wood-Based Panels, Life Cycle Inventory, Energy Consumption, Emission Amount of CO<sub>2</sub>.

## 二、緣由與目的

自 1988 年 11 月工業化國家為了抑制 CO<sub>2</sub> 濃度並減緩其為害的程度成立了「氣候變化政府間專家委員會」(IPCC)，該會議對全球氣候變化作一番通盤性探討。1992 年 5 月 9 日通過「聯合氣候變化綱要公約」(UNFCCC)。而在 1992 年 6 月初在巴西里約舉行聯合國之環境發展大會，又稱之為「地球高峰會議」，在該會中簽署了「氣候變化綱要公約」。其內容為原則管制 CO<sub>2</sub> 排放。在 1998 年底聯合國又制訂「京都議定書」，其內容具體規劃 38 個工業國家之 2008 年至

2012年之溫室氣體排放之減量標準，使溫室氣體量從1992年氣候變化綱要公約提出初期承諾，進展到議定書實質性的責任承擔階段（丁執宇,1997；林素貞與胡秋蘭,1999）。因此本研究擬定加以探討在林產品製造過程能源耗用情形並由能源耗用轉換成CO<sub>2</sub>排放，最後希望可估算出整個林產工業之CO<sub>2</sub>排放總量，並與產值進行效益比，以提升林產工業之競爭力。

在符合環境永續原則下，各國目前莫不致力於提高產業效能，減低生產過程CO<sub>2</sub>的排放（楊致行,1998；賴明伸,1998），經由本研究的調查可以知道製造過程各步驟之耗能百分比，可針對各不同製程耗能量來進行製程改善，此部分僅為本研究之中間部分。木材被喻為是二十一世紀的生態材料，可由生長過程碳素的累積加以量化，O<sub>2</sub>的釋放量加以量化，即由發芽開始對環境之正負面效應量化討論以迄最後掩埋所產生衝擊值加以估算，如此應可提出一較完整之數據，以為未來推廣此一生態材料重要之根據。

### 三、材料與方法

整個調查與資料蒐集程序如下

#### 1. 本研究之木質板係調查合板(plywood)

合板之製造過程如下：原木分段→蒸煮→單板切製→單板截斷→單板乾燥→單板修補→上膠→冷壓→熱壓→切邊→砂磨→合板

#### 2. 進行現場調查，本研究針對二合板工廠調查，分別以A、B廠為代號，二廠之基本資料如下：

A 合板廠主要生產的合板種類為普通合板、木心板、貨櫃板及防水板，規格多為3 X 6尺與4 X 8尺。上班制為日夜兩班制，每班8.5小時，每月24日。原木分段前皆堆放於陸上，以貨車、機械運送上刨台。平均每月產能為7928.64m<sup>3</sup>合板，平均每月耗電量為1,101,600度。

B 合板廠主要生產的合板種類為普通合板、木心板，其中普通合板規格因為市場競爭，所以大多視客戶需求加以製造，做為市場的區隔以求競爭力，合板則多為3 X 6尺與4 X 8尺。上班制為每日10小時，每月25日。原木分段前皆浸泡於水中，利用原木本身的浮力來運送上刨台。平均每月產能為1,722.59m<sup>3</sup>合板，平均每月耗電量為370,370度。根據經濟部能源委員會（2000）之能源手冊中得知生產1度的電約產生0.53kg之CO<sub>2</sub>，以下列單位及公式加以計算。

單位換算與公式

$$1\text{bf}=2.359\times 10^{-3}\text{m}^3$$

$$1\text{度電}=3.6\times 10^6\text{J}$$

每50MJ之電能可釋放出1kg的碳素

$$1\text{g之碳素}=3.6\text{g CO}_2$$

耗用電量 (度數) × 3.6 = 耗用能源 (MJ)

耗用能源 (MJ) / 50 = 加工時所排放出之碳素量

耗用能源 (MJ) / 製品材積 = 每單位材積所耗用之能源 (MJ/m<sup>3</sup>)

加工時所排放出之碳素量 (kg) / 製品材積 = 每單位材積所排放出之碳素量

每單位所排放出之碳素量 (kg/m<sup>3</sup>) × 3.6 = 每單位材積所排放出之 CO<sub>2</sub> 量 (kg)

3. 分析處理廢棄物所耗能源由此轉換成 CO<sub>2</sub> 排放量，若是以焚燒處理，則直接由單位木質板材積轉換成 CO<sub>2</sub> 排放量 (林姿玲, 1999)

(1) 實木密度 0.5 g/cm<sup>3</sup>，碳素含有率 50% 製品中碳素貯藏量 250 kg/m<sup>3</sup>

(2) 粒片板密度 0.65 g/cm<sup>3</sup>，碳素含有率 40% 製品中碳素貯藏量 260 kg/m<sup>3</sup>

(3) 合板密度 0.7 g/cm<sup>3</sup>，碳素含有率 40% 製品中碳素貯藏量 280 kg/m<sup>3</sup>

#### 四、結果與討論

##### (一) 單位合板耗電量及換算 CO<sub>2</sub> 排放量

A 合板廠單位合板耗電量為 138.94 度 / m<sup>3</sup>，換算 CO<sub>2</sub> 排放量為 73.64 kg / m<sup>3</sup>。B 合板廠單位合板耗電量為 215 度 / m<sup>3</sup>，換算 CO<sub>2</sub> 排放量為 113.95 kg / m<sup>3</sup>。由表 1 得知 A 廠之耗電量明顯高於 B 廠，與二廠之產能有相關性，因 A 廠月產 7928.64m<sup>3</sup>，b 廠僅產 1722.59 m<sup>3</sup>，進一步瞭解單位產能之消耗電能量，則明顯可看出 A 廠之單位產能耗電量低了很多，每 m<sup>3</sup> 僅耗用 138.94 度 (相較於 B 廠之 214.97 度，造成此現象之原因係由於 B 廠所致合板之規格尺寸較多，為了因應市場需求，故製造效率未達經濟規模，所以耗電量高於 A 廠 54.7%，且 B 廠之乾燥效率較差，耗時較長，故較耗電能。由耗電能所衍生計算之 CO<sub>2</sub> 排放量，A、B 廠之單位材積 CO<sub>2</sub> 排放量為 73.64 級 113.95kg。

表 1、二廠之月耗電量與 CO<sub>2</sub> 排放量

	總耗電量(度)	合板之產能(m <sup>3</sup> )	單位材積耗電(度)	單位材積 CO <sub>2</sub> 排放量(kg)
A	1,101,600	7928.64	138.94	73.64
B	370,370.4	1722.59	214.97	113.95

##### (二) 合板各製程耗能百分率分析

因所調查之兩家合板廠均未對各製程詳做個別程耗能百分率分析，由粗略

的製程來瞭解加上配合，故參考徐宗琦(1992)之研究成果作一推估，整理後如表 2 所示，由表中之數據可得知在製程的耗電量中以乾燥之耗電量最多佔了 75%，其次之耗電量為刨片、砂光、熱壓等步驟。

表 2. 二合板廠之各製程耗電量

	裁切	刨片	乾燥	上膠	冷壓	熱壓	切邊	砂光	其他	總量
耗能百分率 (%)	0.5	9.0	75.0	0.5	0.5	4.0	0.5	8.0	2.0	100
A 廠耗電量(度 / m <sup>3</sup> )	0.69	12.50	104.21	0.69	0.69	5.56	0.69	11.12	2.78	138.94
A 廠 CO <sub>2</sub> 排放量 (kg / m <sup>3</sup> )	0.37	6.63	55.23	0.37	0.37	2.94	0.37	5.89	1.47	73.64
B 廠耗電量(度 / m <sup>3</sup> )	1.08	19.35	161.25	1.08	1.08	8.60	1.08	17.20	4.30	215.00
B 廠 CO <sub>2</sub> 排放量 (kg / m <sup>3</sup> )	0.57	10.26	85.46	0.57	0.57	4.56	0.57	9.11	2.28	113.95

### (三) 廢料處理所產生之 CO<sub>2</sub>

廢料指的是原木刨片前所處理削下的樹皮，製板過程中所產生的小片單板、合板邊材及刨片後剩下的木心。一般合板廠多將廢料直接丟進鍋爐燃燒產生熱能用於乾燥及熱壓。

經調查後得知合板工廠的原木利用率多為 55%，也就是說每生產 1 m<sup>3</sup> 的合板將產生 0.82 m<sup>3</sup> 的廢料，廢料中之 90% 被作熱能產生用。

假設分別以材積重為 0.5 g/cm<sup>3</sup> 與 0.6 g/cm<sup>3</sup> 的原木製板，並將廢料丟進鍋爐燃燒。再以原木含 C 率 50%，每燃燒 1g C 產生 3.6g CO<sub>2</sub> 的排放量 (王松永 1998) 加以估算每生產 1 m<sup>3</sup> 合板所產生廢料處理後的 CO<sub>2</sub> 排放量，可得到以下資料：

表 3. 產製 1m<sup>3</sup> 合板之廢料所產生之 CO<sub>2</sub> 量

木材比重 (g/cm <sup>3</sup> )	木材重量 (kg)	CO <sub>2</sub> 量 (kg)	九成利用率
0.5	410	738.0	664.2
0.6	492	885.6	797.0

由表 3 可得知合板製材所用原木材積重每增加 0.1g/cm<sup>3</sup> 則每生產 1 m<sup>3</sup> 合板所產生廢料處理後的 CO<sub>2</sub> 排放量將增加 147.6 kg。

### (四) 單位合板生產之 CO<sub>2</sub> 排放量

假設所用原木材積重為  $0.5 \text{ g/cm}^3$ ，廢料處理將排放  $\text{CO}_2$  738 kg 以 9 成計算則排放出 664.2kg，則 A 及 B 合板工廠的單位合板生產分別總計  $\text{CO}_2$  排放量為  $737.84 \text{ kg/m}^3$  及  $778.15 \text{ kg/m}^3$ 。

表 4. 單位合板生產之  $\text{CO}_2$  排放量

工廠	製程 $\text{CO}_2$ 排放 ( $\text{kg/m}^3$ )	廢料處理 $\text{CO}_2$ 排放 (kg)	總排放量 (kg)
A	73.64	664.2	737.84
B	113.95	664.2	778.15

以原木含 C 率 50%，每燃燒 1g C 產生 3.6g  $\text{CO}_2$  的排放量(王松永 1998 ) 為標準，估計  $1\text{m}^3$  材積重  $0.5 \text{ g/cm}^3$  的合板重量為 500 kg，含 C 量 250 kg，相當於將 900 kg 的  $\text{CO}_2$  儲存起來，相較於製造時所排放  $\text{CO}_2$  量來的多，所以合板除了提高木材利用率外，並對環境中的  $\text{CO}_2$  量減少具有正面的意義。

## 五、結論

本研究分析由木材原料至合板完成之能源消耗與  $\text{CO}_2$  排放量，得知 A、B 合板工廠的單位合板生產單位耗電量分別為  $138.94 \text{ 度/m}^3$  及  $215 \text{ 度/m}^3$ ，轉換  $\text{CO}_2$  排放量為 73.64 kg 及 113.95 kg，間接因燃燒木材廢料產生 664.2 kg  $\text{CO}_2$ ，合計  $\text{CO}_2$  排放量分別為  $737.84 \text{ kg/m}^3$  及  $778.15 \text{ kg/m}^3$ ，此值均較燃燒後產生 900kg 的  $\text{CO}_2$  低，合板除了提高木材利用率外，並對環境中的  $\text{CO}_2$  量減少具有正面的意義。

## 六、參考文獻

1. 丁執宇 (1997) 生命週期評估之應用及發展趨勢 環保標章簡訊 No.11: pp5-6
2. 王松永 (1998) 木材利用與環境保護 木材利用與環境保護研討會 陳天信文教基金會 pp146-165
3. 林姿伶 (1999) 木材工業加工能源及二氧化碳釋出量之調查評估研究 台大森林所碩士論文 70pp
4. 林素貞、胡秋蘭 (1999) 生命週期評估方法探討...以石化原料業為例 工業污染防治 No.71: 103-122
5. 高惠玲、賴明伸 (1997) 生命週期評估技術之發展現況與應用—ISO14040 系列標準 工業材料 No.122: 76-80
6. 徐宗琦(1992) 合板工業能源使用現況及耗能分析 能源節約技術報導 pp19-26
7. 黃國恭 (1997) 認識生命週期評估 工業污染防治報導 pp4-6
8. 經濟部能源委員會(2000)中華民國 88 年能源統計手冊 能委會出版 122 pp

- 9.楊致行 (1998) 生命週期評估介紹 工研院 12pp
- 10.賴明伸 (1998) 生命週期評估技術運用於產品之環保負荷分析 環境管理報導 No.7 : 21-22
- 11.賴建興(1999) 臺灣木製家具生命週期階段及其經營策略研究 中華林學季刊 No.32(2) : 249-257
- 12.Bateman, J. and A. A. Lovett, (2000) Estimating and valuing the carbon sequestered in softwood and hardwood trees, timber products and forest soils in Wales, *Journal of Environmental Management* pp.301-323
- 13.Bertin, N. and C.Gary, (1998) Short and long Term Fluctuations of the Leaf Mass Per Area of Tomato Plants – Implications for Growth Models, *Annals of Botany* 82:71-81
14. Ceulemans, R., I. A. Janessens and M. E. Jach, (1999) Effects of CO<sub>2</sub> Enrichment on Trees and Forests: Lessons to be Learned in View of Future Ecosystem Studies, *Annals of Botany* 84:577-590
15. Geesing, D., P. Felker and R. L. Bingham, (2000) Influence of mesquite (*Prosopis glandulosa*) on soil nitrogen and carbon development: Implications for global carbon sequestration, *Journal of Arid Environments* 46:157-180
16. Jensen, J. and T. N. Rasmussen, (2000) Allocation of CO<sub>2</sub> Emissions Permits: A General Equilibrium Analysis of Policy Instruments, *Journal of Environmental Economics and Management*, 40:111-136
17. Jo, H.-K. and G. E. Mcpherson, Carbon Storage and Flux in Urban Residential Greenspace, *Journal of Environmental Management* 45(2) pp.109-133
18. Muller, R. A., and S. Mestelman, (2001) Can Double Auctions Control Monopoly and Monopsony power in Emissions Trading Markets? *Journal of Environmental Economics and Management*----1-23
19. Newell, R. G. and R. N. Stavins(2000), Climate Change and Forest Sinks: Factors Affecting the Costs of Carbon Sequestration, *Journal of Environmental Economics and Management* 40:211-235
20. Parry, Ian W. H., R. C. Williams, III and L. H. Goulder (1999) When Can Carbon Abatement Policies Increase Welfare? The Fundamental Role of Distorted Factor Markets, *Journal of Environmental Economics and Management* 37:52-84
- 21.Stokes D., A. Linsay, J. Marinopoulos, A. Treloar and G. Wescott, (1994) Household Carbon Dioxide Production in Relation to the Greenhouse Effect, *Journal of Environmental Management* 40(3): 197-211
- 22.Wang, Yi-Chung, Benefit Evaluation of Taiwan Forest Tree on Carbon Sequestration (unpublish)