



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：1802040100

農業部林業試驗所113年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**建立國內林產品碳保存量估算模式** (第1年/全程1年)

(英文名稱) **Establishment of an estimation model for domestic forest product carbon storage**

計畫編號：**113前瞻-18.2.4-森-01**

全程計畫期間：自 113年1月1日 至 113年12月31日

本年計畫期間：自 113年1月1日 至 113年12月31日

計畫主持人：**陳盈全**

研究人員：**林俊成、何振隆、林振榮、塗三賢、徐光平**

執行機關：**農業部林業試驗所**



1132427



一、執行成果中文摘要：

本計畫依據IPCC提出國家溫室氣體計算指南與估算方法，並參考日本與紐西蘭等層級2國家之HWP估算方法，針對我國2013-2023年國產材及進口材、產業訪查資料及實驗數據，概估臺灣HWP項目之碳轉換係數。透過查找我國2013-2023年特定國家HWP活動數據，以IPCC估算方法-SCA儲量變化法、PA生產法與AFA大氣流動法，分別帶入IPCC預設值及本研究概估之碳轉換係數進行HWP估算及數據比較分析。研究結果透過國產材及進口材資料蒐集、產業訪查資料及實驗數據等，更新臺灣常見40種國內造林樹種及47種國外進口材之碳轉換係數資料庫，並依照活動數據比例概算國產材針葉樹種之碳轉換係數為0.169，闊葉樹種之碳轉換係數為0.281，進口材針葉樹種之碳轉換係數為0.206，闊葉樹種之碳轉換係數為0.294，木質人造板之碳轉換係數為0.297，紙張與紙板之碳轉換係數為0.244，木竹漿之碳轉換係數為0.322。

透過IPCC估算方法之結果，3種方法以大氣流動法AFA為最不利於臺灣HWP碳儲存效益之估算方式，本計畫以2013年為HWP碳儲存效益估算之基準年，近11年的資料結果顯示，2013-2021年間臺灣處於CO₂移除的狀態，近2年，不管是利用儲量變化法SCA或是生產法PA估算，皆處於CO₂排放的狀態。臺灣目前對於HWP的碳儲存效益尚未採行任何IPCC提出之估算方式，本計畫以IPCC預設值及本研究概估之碳轉換係數進行HWP的碳儲存效益估算時，結果顯示，其CO₂移除與排放量皆少於IPCC預設值，但實木類的碳儲存效益與比例明顯增加。

二、執行成果英文摘要：

This project followed the evaluation guidelines for national greenhouse gas and estimation methods proposed by the IPCC, It is based on Taiwan's domestic and imported materials, industry interview data and experimental data from 2013 to 2023, to estimate the carbon conversion factor of HWP projects in Taiwan. Using the IPCC estimation methods - SCA, PA and AFA, respectively bringing in the IPCC default value and the carbon conversion factor estimated in this study perform HWP estimation and data comparison analysis. The research results were collected through the collection of domestic and imported wood data, industry survey data and experimental data, etc., and the carbon conversion factor database of 40 common domestic afforestation tree species and 47 foreign imported wood species in Taiwan was updated. The carbon conversion factor of coniferous species is 0.169, the carbon conversion factor of broadleaf species is 0.281, the carbon conversion factor of imported coniferous species is 0.206, the carbon conversion factor of broadleaf species is 0.294, the carbon conversion factor of wooden artificial panels is 0.297, The carbon conversion factor of paper and cardboard is 0.244, and the carbon conversion factor of wood and bamboo pulp is 0.322.

三、計畫目的：

1. 完成國內外木質產品碳保存量估算研究文獻國內外HWP產品分類差異分析。
2. 完成國內HWP實際使用狀況與二氧化碳移除排放量調查與碳轉換係數分析。

四、重要工作項目及實施方法：

1. 精進木質產品碳保存量估算模式
 - (1) 蒐集國外木質產品碳保存量估算指導原則如IPCC及國內相關研究文獻，進行國內外HWP分類差異分析。



1132427



- (2) 彙整差異分析資料，並透過實際調查國內木質HWP實際使用狀況及蒐集活動數據，更新與審核估算數值。
 - (3) 研擬屬於我國HWP特定國家活動數據與排放係數，提升HWP碳保存估算數據準確性。
2. 研發木材纖維製品碳保存量估算形式
- (1) 盤點國內製漿造紙業產業概況及產銷情形：為與台灣造紙工業同業公會、中華製漿造紙技術協會、中華紙漿股份有限公司及正隆股份有限公司合作，進行國內製漿造紙業產業概況及產銷情形，包括歷年紙張及紙板統計、生產量、外銷量、進口量及消費量等資料建置，並進行相關分析。
 - (2) 盤點國內造紙各大廠於生產工業用紙之製程分析、耗能及碳足跡等資料建置及分析。
 - A. 進行工業用紙生產時之製程等分析。
 - B. 進行耗能計算及分析。
 - C. 建置碳足跡數值及分析。

五、結果與討論：

1. 依據2019R IPCC準則之估算原則與方法，將HWP原料及半成品分為工業原木、製材、木質人造板，紙類為紙張和紙板、木漿及回收紙之六大產品類別，推估HWP碳儲存量需要活動數據與排放係數，本研究引用之活動數據來源，如表1。另彙整國內2013-2023年HWP相關活動數據提供估算，表2為2013-2023年HWP半成品與原料之生產量，表3為2013-2023年HWP半成品之進口量與出口量，表4為2013-2023年HWP原料之進口量與出口量，表5為2013-2023年國內回收紙回收率及使用率，表6為2013-2023年國際算法之回收紙利用率。
2. 研究結果透過國產材及進口材資料蒐集、產業訪查資料及實驗數據等，更新臺灣常見40種國內造林樹種(表7)及47種國外進口材(表8)之碳轉換係數資料庫，並依照活動數據比例概算國產材針葉樹種之碳轉換係數為0.169，闊葉樹種之碳轉換係數為0.281，進口材針葉樹種之碳轉換係數為0.206，闊葉樹種之碳轉換係數為0.294，木質人造板之碳轉換係數為0.297(表9)，紙張與紙板之碳轉換係數為0.244，木竹漿之碳轉換係數為0.322(表10)。
3. IPCC預設值與本研究數據應用於HWP碳儲存量效益分析：將臺灣2013-2023年活動數據，以IPCC估算方法-SCA儲量變化法、PA生產法與AFA大氣流動法，分別以本研究概估之HWP項目碳轉換係數，與IPCC預設值，進行近11年HWP半成品的每年碳儲存量(碳流入量)及每年HWP產生CO₂移除量或排放量之估算結果如下。
 - (1) 儲量變化法SCA：2013-2021年製材碳儲存量變化不明顯，但在近2年有呈現下滑的趨勢，木質人造板、紙張和紙板與製材情形相同，整體碳儲存量亦是如此，其中2021年達最大量之2682.34 KtC，以本研究數值估算製材、木質人造板這兩類別佔比分別為16.14%、29.57%較IPCC預設值之12.11%、20.89%有所提升(表11)。以2013-2023年HWP產生CO₂移除量或排放量之數據顯示，2013-2021年間製材、木質人造板、紙張和紙板之總量呈現CO₂移除狀態，近2年則有呈現排放的趨勢。以本研究數值估算二氧化碳移除或排放量較IPCC預設值為小(圖3、4)。
 - (2) 生產法PA：2013-2023年製材、紙張和紙板的碳儲存量變動性不大，木質人造板的碳儲存量變動幅度較明顯，在第二階段2017-2023年成長約在2-3倍左右。顯示國內對於木質人造板的需求量增加，帶動產業生產製造，亦使此HWP類別碳庫的增加，同樣以本研究數值估算製材、木質人造板這兩類別佔比較IPCC預設值為高(表12)。以2013-2023年HWP產生CO₂移除量或排放量之數據顯示，2013-2015年與2019-2022年間製材、木質人造板、紙張和紙板之總量呈現CO₂移除狀態。而木質人造板近6年呈現CO₂移除





趨勢，可能與近年大型木質家具賣場盛行有關，消費者偏向實用的纖維板或粒片板作為家具或室內裝潢之材料。以本研究數值估算二氧化碳移除或排放量同樣較IPCC預設值為小(圖7、8)。

- (3) 大氣流動法AFA：以2013-2023年HWP產生CO₂移除量或排放量之數據顯示，近11年整體呈現CO₂排放狀態。由於臺灣使用中的HWP及HWP原料商品類別主要仰賴進口，從數據上顯示，製材與木質人造板為主要CO₂排放之項目。近幾年，在紙張和紙板積極回收與回收再利用下，此類別近2年呈現CO₂移除狀態。以本研究數值估算二氧化碳移除或排放量則較IPCC預設值為大。(圖9、10)。
4. 透過HWP碳儲存量效益分析中發現，在碳儲量變化法SCA與生產法PA中，紙張與紙板對於HWP產生的CO₂排放量與移除量有相當的影響。自2019年爆發COVID-19疫情後，消費者因無法出門，只能採用線上購物的趨勢，連帶造成使用工業用紙的紙箱用量大量的增加。近幾年於工業用紙用量方面，以瓦楞紙箱之需求為最大，其主要原材料包括裱面紙板和瓦楞芯紙兩種。瓦楞紙板於單位產品耗能指標調查說明於圖11，其為將典型造紙廠內設備單元，劃分成三個單位，再將此三單位使用多少度電及多少噸蒸氣，再依個別熱值換算成Mcal/噸紙或噸漿。針對瓦楞芯紙，蒐集3家工廠，其生產單耗約為1200-1400 Mcal/噸，相較文獻數據減少了34%的耗能；在裱面紙板方面，蒐集2家工廠，其生產單耗約為2000-2200 Mcal/噸，較文獻數據減少了20%的耗能(圖12、13)。
5. 建置瓦楞紙板的碳足跡數值及分析：研究參考環境部和歐洲瓦楞紙板製造商聯合會(FEFCO)的碳足跡資料，彙整出相關數據，詳見表13。根據表中顯示，臺灣瓦楞芯紙的碳足跡數值高於FEFCO的基準值。為進一步實現臺灣瓦楞芯紙的減碳目標，建議可加強以下技術，有助臺灣瓦楞芯紙降低其碳足跡數值：
 - (1) 再生漿處理技術：引入蒸汽循環洗漿技術、回收漿篩分技術、新式浮選脫墨技術及界面活性劑噴淋脫墨技術，以提高紙漿處理效率並減少碳排放。
 - (2) 碳捕捉與儲存技術：採用生質燃料轉化前碳捕捉技術、氧燃料燃燒技術、燃燒後的化學吸附碳捕捉技術，以及生物碳捕捉技術，從不同階段進行碳減排，達到進一步降低耗能及減少碳排放的效果。

六、結論：

1. HWP估算方法之選用，與國家林業政策、國際公約及林產品的生產、消費與貿易等國內現況因素有密切關係。依據本計畫之估算方式與結果，以2013年為HWP碳儲存效益估算之基準年，近11年的資料結果顯示，大氣流動法AFA是相對不利於臺灣HWP碳儲存效益的估算方式，各年間皆呈現CO₂排放的狀態。
2. 臺灣林產品原料來源多依賴進口，2013-2023年間臺灣實木產品每年平均進口約為48.84萬m³，而國內生產的木材年平均約為4.49萬m³；如依2015年巴黎協定之內容，以2019R之IPCC估算原則與方法，臺灣適合以儲量變化法SCA進行估算，但京都議定書之第二約束期間(2013-2020年)，提出各國採用生產法PA進行HWP碳儲存量估算之建議，避免各國間重複計算之問題。臺灣未來若為了符合國際趨勢，採用生產法PA估算HWP碳儲存效益或採用碳儲量變化法SCA以生產法PA補充說明，本研究提出以下幾點建議：
 - (1) 有效經營與規劃國有林地：優先更新臺灣老熟人工林，適量伐採與有計畫之造林植林，一方面能增加國內木竹材的自給率外，亦可提升HWP碳庫的碳儲存量。
 - (2) 加強紙類的回收與獎勵機制：目前工業用紙之回收率大約在6-7成左右，加強紙張和紙板的回收率及回收紙利用率，建立透明之回收獎勵機制，提高國內工業用紙之回收率。





- (3) 建置完整且透明的HWP資料庫數據：目前HWP碳儲存之資料來源，皆分屬於不同政府機關與相關產業團體，資料來源之正確性與可用性皆有待查證。再者，木廢料、木顆粒與木炭等類別，皆是可以納入計算之項目，卻因沒有相關資料而放棄。未來若要正確有效估算臺灣HWP碳儲存量，須效仿其他締約國家，將HWP資料數據公開透明化，供大眾查詢與估算。
3. 以本研究概估值之碳轉換係數進行SCA及PA兩種方法之HWP碳儲存效益估算時，其CO₂碳移除與排放量皆少於IPCC預設值，但實木類的碳儲存效益與比例明顯增加，符合淨零排放政策下，增加長期HWP碳庫碳儲存量的目標。

七、參考文獻：

1. 林俊成 2002. 台灣地區木材供需及碳流動與貯存量之研究。國立台灣大學森林學研究所博士論文。192頁。
2. 李俊彥、韓俞華 2010. 估算台灣木質林產品碳貯存量，台灣林業雙月刊36(3): 24-30。
3. 林俊成、李國忠 2003. 台灣地區木質材料消費之碳流動與貯存量研究，台灣林業科學18(4): 293-305。
4. 林俊成、李國忠 2005. 森林收穫與林產品使用之碳貯存與流動分析模式，台灣林業雙月刊31(2): 24-34。
5. 林俊成、陳溢宏、王培蓉、陳幸君、吳孟珊 2017. 臺灣主要實木產品進口運輸之碳排放量估算，台灣林業科學32(3): 191-201。
6. 邱祈榮、林俊成、何幸耘、王怡穩 2012. 國家溫室氣體排放林業部門表現評析，台灣林業雙月刊38(6): 9-14。
7. 陳泓叡 2022. 評估臺灣HWP產生的CO₂ 排放量與移除量。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。116頁。
8. 王益真、何振隆、徐光平、彭元興 (2009) 造紙產業之節能減碳 林業研究專訊 16(2): 11-16
9. 詹為巽、林俊成 2016. 國內製材業者使用國產木材之現況。林業研究專訊23(6):114-117。
10. 行政院環境保護署 2011. 2011中華民國第二版國家通訊。https://www.epa.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=98375567871E53E6
11. 行政院環境保護署 2021. 2021年中華民國國家溫室氣體清冊報告。https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/tw_nir_2021.php
12. 行政院環境保護署 2022. 國家溫室氣體減量法規資訊網。https://ghgrule.epa.gov.tw
13. 林業試驗所 2022. 林產業知識平台進出口統計查詢。https://woodsearch.tfri.gov.tw/information_statistics_search.php
14. IPCC 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html
15. IPCC 1998. Evaluating Approaches for Estimating Net Emissions of Carbon Dioxide from Forest Harvesting and Wood Products. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/dakar.pdf
16. IPCC 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_LULUCF_FULLEN.pdf





17. IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
18. IPCC 2014. 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/index.html>
19. IPCC 2016. Decisions adopted by the Panel. 44th Session of the IPCC 17-20 October 2016, Bangkok, Thailand. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/p44_decisions.pdf-3-1122440
20. IPCC 2019a. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
21. IPCC 2019b. Decisions adopted by the Panel. 49th Session of the IPCC 8-12 May 2019, Kyoto, Japan. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/05/IPCC-49_decisions_adopted.pdf
22. IPCC 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>
23. Kloehn, S. and Ciccarese, L. 2006. Applying the IPCC GPG for LULUCF approaches for assessing changes in carbon stocks and emissions of greenhouse gas for Harvested Wood Products in Italy. Italy's Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Nature Conservation Department.
24. Sato, A. and Nojiri Y. 2019. Assessing the contribution of harvested wood products under greenhouse gas estimation: accounting under the Paris Agreement and the potential for double-counting among the choice of approaches. *Carbon Balance and Management* 14:15.
25. Wakelin, S.J., Searles, N., Lawrence, D. and Paul TSH. 2020. Estimating New Zealand's harvested wood products carbon stocks and stock changes. *Carbon Balance and Management* 15: 10.
26. Yang, H., Zhang X. and Hong Y. 2014. Classification, production, and carbon stock of harvested wood products in China from 1961 to 2012. *Bio Resources* 9 (3): 4311-4322.
27. Yang, H. and Zhang X. 2016. A rethinking of the production approach in IPCC: Its objectiveness in China. *Sustainability* 8(3): 216.
28. Zhang, L., Sun, Y., Song, T. and Xu, J. 2019. Harvested wood products as a carbon sink in China, 1900-2016. *Int. J. Env. Res. Pub. He.* 16:445.
29. Zhang, X., Yang, H. and Chen, J. 2018. Life-cycle carbon budget of China's harvested wood products in 1900-2015. *Forest Policy Econ.* 92:181-192.
30. Zhang, X., Chen, J., Dias, AC. and Yang, H. 2020. Improving carbon stock estimates for in-use harvested wood products by linking production and consumption - a global case study. *Environ. Sci. Technol* 54: 2565-2574.





表 1、國內 HWP 原料及半成品類別之活動數據來源

原料及半成品類別	活動數據來源
工業原木	農業部林業及自然保育署「林業統計年報」、財政部關務署「海關進出口統計」、臺灣合板製造輸出業同業公會
製材	經濟部統計處工業產銷存動態調查、財政部關務署「海關進出口統計」、臺灣區合板製造輸出業同業公會
木質人造板	財政部關務署「海關進出口統計」、臺灣區合板製造輸出業同業公會
紙張和紙板	財政部關務署「海關進出口統計」、臺灣區造紙工業同業公會
木漿	財政部關務署「海關進出口統計」、臺灣區造紙工業同業公會
回收紙	財政部關務署「海關進出口統計」、臺灣區造紙工業同業公會

表 2、2013-2023 年 HWP 原料及半成品之生產量

年度	工業原木	製材	木質人造板	紙張和紙板	木漿	回收紙
2013	42,219	88,732	576,400	4,155,831	351,013	2,970,000
2014	62,271	105,708	618,000	4,178,449	394,350	3,010,000
2015	51,608	90,296	627,200	3,857,639	379,383	2,930,000
2016	42,043	89,349	607,000	3,937,591	319,018	2,880,000
2017	33,963	79,590	647,000	4,024,251	264,820	2,410,000
2018	38,305	80,117	626,000	4,253,598	250,008	2,690,000
2019	46,910	81,155	620,000	4,248,510	230,077	2,720,000
2020	39,942	40,440	661,000	4,361,874	229,392	2,795,000
2021	45,261	25,875	665,000	4,482,317	259,194	2,886,000
2022	44,852	20,226	629,000	4,243,424	262,313	2,897,000
2023	46,701	24,876	571,700	4,090,101	254,424	2,708,000

實木類：工業原木、製材、木質人造板以 m³ 為單位計算

紙類：紙張和紙板、木漿及回收紙以 ton 為單位計算





表 3、2013-2023 年 HWP 半成品之進口量與出口量

年度	製材		木質人造板		紙張和紙板	
	進口 m ³	出口 m ³	進口 m ³	出口 m ³	進口 ton	出口 ton
2013	1,188,360	28,808	1,363,550	50,402	1,531,498	1,358,023
2014	1,283,883	26,151	1,428,574	40,230	1,541,572	1,342,342
2015	1,275,771	19,143	1,376,016	33,203	1,497,364	1,088,135
2016	1,152,340	18,684	1,252,265	27,403	1,524,118	1,253,320
2017	1,257,940	17,556	1,281,055	23,702	1,553,294	1,415,782
2018	1,356,668	14,109	1,308,232	26,106	1,536,871	1,446,479
2019	1,241,433	15,893	1,266,112	28,087	1,547,305	1,504,254
2020	1,232,329	15,979	1,359,894	30,498	1,578,667	1,566,789
2021	1,400,188	9,745	1,442,646	31,016	1,570,515	1,391,208
2022	1,262,362	9,443	1,279,149	29,667	1,486,001	1,602,633
2023	1,144,124	7,722	1,195,513	24,646	1,413,950	1,586,275

表 4、2013-2023 年 HWP 原料之進口量與出口量

年度	工業原木		木漿		回收紙	
	進口 m ³	出口 m ³	進口 m ³	出口 m ³	進口 ton	出口 ton
2013	665,247	20,490	667,671	34,939	770,958	65,786
2014	726,018	11,220	638,428	42,718	762,420	81,884
2015	547,430	14,560	617,220	63,332	549,463	106,417
2016	521,493	10,040	685,049	37,559	708,809	116,997
2017	389,673	22,720	866,485	10,796	1,123,590	135,645
2018	522,991	7,390	801,548	5,968	1,264,815	168,103
2019	438,785	5,210	705,222	5,781	1,320,609	121,469
2020	418,439	3,930	747,090	8,508	1,337,036	109,796
2021	400,253	6,990	641,169	31,732	1,502,817	173,566
2022	374,078	2,800	659,271	6,284	1,142,787	109,687
2023	368,745	5,467	644,353	9,662	1,167,333	105,210





表 5、2013-2023 年國內回收紙回收率及使用率

年度	紙張和紙板	國內回收紙	紙漿	回收紙漿	回收紙	回收紙	回收紙
	消費量	收購量	消費量	消費量	出口量	回收率	利用率
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(b)+(e)/(a)	(d)/(d)+(c)
2013	4,329,306	2,970,000	983,745	3,067,320	65,786	70.1%	75.7%
2014	4,377,679	3,010,000	990,060	3,086,485	81,884	70.6%	75.7%
2015	4,266,868	2,930,000	933,271	2,834,630	106,417	71.2%	75.2%
2016	4,208,389	2,880,000	966,468	2,920,355	116,997	71.2%	75.1%
2017	4,161,763	2,410,000	1,120,509	2,894,496	135,645	61.2%	72.1%
2018	4,343,990	2,690,000	1,045,588	3,222,165	168,103	65.8%	75.5%
2019	4,291,561	2,720,000	929,518	3,311,845	121,469	66.2%	78.1%
2020	4,373,752	2,795,000	967,974	3,397,471	109,796	66.4%	77.8%
2021	4,661,624	2,886,000	868,631	3,627,445	173,566	65.6%	80.7%
2022	4,126,792	2,897,000	915,300	3,330,111	109,687	72.9%	78.4%
2023	3,917,776	2,708,000	889,115	3,196,964	105,210	71.8%	78.2%

表 6、2013-2023 年國際算法之回收紙利用率

年度	紙張和紙板	回收紙	回收紙	回收紙	回收紙	國際算法之
	生產量	生產量	出口量	進口量	消費量	回收紙利用率
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(e)/(a)
2013	4,155,831	2,970,000	65,786	770,958	3,740,958	90.0%
2014	4,178,449	3,010,000	81,884	762,420	3,772,420	90.3%
2015	3,857,639	2,930,000	106,417	549,463	3,479,463	90.2%
2016	3,937,591	2,880,000	116,997	708,809	3,588,809	91.1%
2017	4,024,251	2,410,000	135,645	1,123,590	3,533,590	87.8%
2018	4,253,598	2,690,000	168,103	1,264,815	3,954,815	93.0%
2019	4,248,510	2,720,000	121,469	1,320,609	4,040,609	95.1%
2020	4,361,874	2,795,000	109,796	1,337,036	4,132,036	94.7%
2021	4,482,317	2,886,000	173,566	1,502,817	4,388,817	97.9%
2022	4,243,424	2,897,000	109,687	1,142,787	4,039,787	95.2%
2023	4,090,101	2,708,000	105,210	1,167,333	3,875,333	94.7%





表 7、臺灣常見 40 種國內造林樹種之碳轉換係數

Common name	Species name	So (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
針葉樹 (Softwoods)				
台灣扁柏 Taiwan Hinoki falsecypress	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	0.42	48.22	0.203
紅檜 Taiwan red cypress	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	0.42	48.64	0.204
台灣肖楠 Taiwan incense-cedar	<i>Calocedrus formosana</i>	0.54	48.57	0.262
巒大杉/香杉 Luanta fir	<i>Cunninghamia konishii</i>	0.41	48.67	0.200
紅豆杉 Taxol	<i>Taxus sumatrana</i>	0.57	47.97	0.273
柳杉 Japanese fir	<i>Cryptomeria japonica</i>	0.36	49.03	0.177
福州杉/杉木 China-fir	<i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.31	48.32	0.150
琉球松 Luchu pine	<i>Pinus luchuensis</i>	0.38	48.50	0.184
台灣雲杉 Taiwan spruce	<i>Picea morrisonicola</i>	0.47	46.91	0.221
台灣二葉松 Taiwan red pine	<i>Pinus taiwanensis</i>	0.55	47.04	0.259
台灣鐵杉 Chinese hemlock	<i>Tsuga chinensis</i>	0.42	48.82	0.205
台灣冷杉 Taiwan white fir	<i>Abies kawakamii</i>	0.37	50.16	0.186





表 7、臺灣常見 40 種國內造林樹種之碳轉換係數(續 1)

Common name	Species name	So (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
闊葉樹 (Hardwoods)				
烏心石 Formosan michelia	<i>Michelia compressa</i>	0.52	47.51	0.247
牛樟 Stout camphor tree	<i>Cinnamomum micranthum</i>	0.39	45.69	0.178
相思樹 Taiwan acacia	<i>Acacia confusa</i>	0.77	47.17	0.363
大葉桃花心木 Honduras mahogany	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.50	47.26	0.236
欖樹/台灣欖 Taiwan zelkova	<i>Zelkova serrata</i>	0.73	47.66	0.348
油桐 Kawakami Paulownia	<i>Paulownia kawakamii</i>	0.57	46.43	0.265
泡桐 Fortune Paulownia	<i>Paulownia fortunei</i>	0.26	46.69	0.121
台灣赤楊 Formosan alder	<i>Alnus japonica</i>	0.47	46.2	0.217
山黃麻 India-charcoal trema	<i>Trema orientalis</i>	0.45	44.51	0.200
茄冬 Autumn maple tree	<i>Bischofia javanica</i>	0.65	46.78	0.304
木麻黃 Polyesian iron wood	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.67	46.61	0.312
樟木 Camphor tree	<i>Cinnamomum camphora</i>	0.37	47.00	0.174
光蠟樹 Formosan ashi	<i>Fraxinus formosana</i>	0.73	46.83	0.342
大葉楠 Large-leaved nanmu	<i>Machilus kusanoi</i>	0.46	47.45	0.218
香楠 Incense machilus	<i>Machilus zuihoensis</i>	0.47	46.93	0.221





表 7、臺灣常見 40 種國內造林樹種之碳轉換係數(續 2)

Common name	Species name	So (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
闊葉樹 (Hardwoods)				
假長葉楠 Narrow-leafed machilus	<i>Machilus japonica</i> var. <i>japonica</i>	0.52	45.17	0.235
紅楠/豬腳楠 Red Nanmu	<i>Machilus thunbergii</i>	0.57	45.11	0.257
小葉赤楠 Boxleaf Eugenia	<i>Syzygium buxifolium</i>	0.61	46.18	0.282
杏葉石櫟 Almond Leaf Tanoak	<i>Lithocarpus amygdalifolius</i>	0.66	45.23	0.299
台灣石櫟 Formosan Tanoak	<i>Lithocarpus formosana</i>	0.66	45.76	0.302
青剛櫟 Ring-cupped Oak	<i>Quercus glauca</i> var. <i>glauca</i>	0.73	47.68	0.348
錐果櫟 Long Glans Oak	<i>Quercus longinux</i> var. <i>longinux</i>	0.72	45.01	0.324
森氏櫟/赤柯 Mori Oak	<i>Quercus morii</i>	0.80	46.82	0.375
捲斗櫟/金斗桐 Revolvate Cupule Oak	<i>Quercus pachyloma</i>	0.60	45.33	0.272
棟樹/苦楝 China berry-tree	<i>Melia azedarach</i>	0.54	46.63	0.252
印度紫檀 Paudauk	<i>Pterocarpus indicus</i>	0.58	47.02	0.273
木荷 Chinese guger-tree	<i>Schima superba</i>	0.61	46.87	0.286





表 8、臺灣常見 47 種國外進口材之碳轉換係數

Common name	Species name	So (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
針葉樹 (Softwoods)				
阿拉斯加扁柏/美檜 Alaska yellow cedar	<i>Chamaecyaris nootkatensis</i>	0.43	48.14	0.208
白雲杉 White spruce	<i>Picea glauca</i>	0.33	50.39	0.166
墨西哥柏木 Mexican cypress	<i>Cupressus lusitanica</i>	0.36	50.87	0.183
花旗松/道格拉斯杉 Douglas fir	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.45	50.50	0.227
北美香柏/北美側柏 Western red cedar	<i>Thuja plicata</i>	0.31	51.54	0.160
錫特卡雲杉 Sitka spruce	<i>Picea sitchensis</i>	0.40	49.95	0.200
加拿大鐵杉 Spruce hemlock	<i>Tsuga canadensis</i>	0.42	50.33	0.211
越南檜木/福建柏 Fukien cypress	<i>Fokienia hodginsii</i>	0.55	51.10	0.281
紐西蘭放射松 Monterey pine	<i>Pinus radiata</i>	0.42	51.00	0.214
福州杉 China fir	<i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.35	49.18	0.170
日本扁柏 Hinoki false cypress	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	0.41	51.00	0.208
日本柳杉 Japanese cedar	<i>Cryptomeria japonica</i>	0.31	51.00	0.160
羅漢柏 Hiba arborvitae	<i>Thujopsis dolabrata</i>	0.41	51.00	0.210
日本魚鱗雲杉 Yezo spruce	<i>Picea jezoensis</i>	0.36	51.00	0.182
加勒比松 Caribbean Pine	<i>Pinus caribaea</i>	0.55	50.00	0.273





表 8、臺灣常見 47 種國外進口材之碳轉換係數(續 1)

Common name	Species name	So (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
闊葉樹 (Hardwoods)				
北美紅橡 Red oak	<i>Quercus rubra</i>	0.61	49.63	0.303
北美白橡 Wye oak	<i>Quercus alba</i>	0.58	49.57	0.288
鋸葉風鈴木/巴西紫檀 Tabebuia serratifolia	<i>Tabebuia serratifolia</i>	0.79	51.25	0.405
加拿大硬槭木 Red maple	<i>Acer saccharum Marsh</i>	0.52	49.32	0.256
加拿大梣木/北美白蠟木 Ash wood	<i>Fraxinus americana</i>	0.57	48.28	0.275
大美木豆 Asamela	<i>Afrormosia elata</i>	0.74	50.95	0.377
西非緬茄木 Apa	<i>Azelia africana</i>	0.68	48.69	0.331
豆科蘇木屬落腺豆木 Alumbi	<i>Berlinia ledermannii</i>	0.49	46.77	0.229
非洲柚木/綠柄桑 Iroko	<i>Chlorophora excelsa</i>	0.60	48.77	0.293
沙比力木 Sapele	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	0.45	47.44	0.213
非洲胡桃木/奧凡高木 Ovangkol	<i>Guibourtia ehie</i>	0.68	48.14	0.327
古夷蘇木屬非洲玫瑰木/布賓加 Bubinga	<i>Guibourtia tessmannii</i>	0.83	49.42	0.410
亞柔貝木 Azobe	<i>Lophira alata</i>	0.93	48.69	0.453
非洲崖豆木/雞翅木 Wenge	<i>Millettia laurentii</i>	0.76	49.53	0.376
金絲木 Andoung	<i>Monopetalanthus heitzii</i>	0.70	47.42	0.332
柚木 Teak	<i>Tectona grandis</i>	0.51	50.05	0.255





表 8、臺灣常見 47 種國外進口材之碳轉換係數(續 2)

Common name	Species name	So (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
闊葉樹 (Hardwoods)				
黃金櫟木 Bilinga	<i>Sarcocephalus trillesi</i>	0.68	49.71	0.338
小葉紅檀 Pau rosa	<i>Swartzia fistuloides</i>	0.95	51.84	0.492
非洲辣木 Cabbage-tree	<i>Moringa stenopetala</i>	0.71	51.08	0.364
樺木 Birch	<i>Betula spp.</i>	0.65	45.99	0.299
山毛櫟/水青岡 Longpetiole beech	<i>Fagus longipetiolata</i>	0.62	51.41	0.319
日本常綠橡樹 Japanese evergreen oak	<i>Quercus acuta</i>	0.65	48.00	0.310
水曲柳/東北栲 Tamo ash	<i>Fraxinus mandshurica</i>	0.50	48.00	0.240
冰片樹 Kapur	<i>Dryobalanops aromatica</i>	0.76	49.24	0.374
紅柳桉 Red meranti	<i>Shorea albida</i>	0.55	46.56	0.256
花梨木/印度紫檀 Burmese rosewood	<i>Pterocarpus Indicus Willd.</i>	0.63	47.2	0.297
甘不木 Kempas	<i>Koompassia melaccensis</i>	0.88	48.45	0.426
緬甸紫檀木 Burma padauk	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	0.74	50.31	0.372
番龍眼 Malugai	<i>Pometia pinnata</i>	0.72	47.21	0.340
新幾內亞橡木 Papua New Guinea oak	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	0.57	48.73	0.278
斑馬木 Zebrawood	<i>Microberlinia brazzavillensis</i>	0.74	48.1	0.356
紫檀屬紅木 Padauk	<i>Pterocarpus pedatus</i>	0.72	50.02	0.360





表 9、臺灣木質人造板之碳轉換係數

Common name	S _o (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
木質人造板(彙總)	0.65	0.459	0.297
硬質纖維板(HDF)	0.82	0.425	0.349
中密度纖維板(MDF)	0.75	0.427	0.320
粒片板	0.65	0.451	0.293
合板	0.55	0.493	0.271
單板	0.50	0.50	0.250

表 10、臺灣常見紙張與紙板、木漿之碳轉換係數

Common name	S _o (g/cm ³)	C (%)	Conversion factor
A4 影印紙	0.63	38.29	0.240
瓦楞表紙	0.71	41.07	0.291
瓦楞芯紙	0.50	40.47	0.200
針葉漿板	0.79	41.25	0.326
闊葉漿板	0.75	41.23	0.310
竹漿板	0.79	41.71	0.329





表 11、碳儲量變化法 SCA-IPCC 預設值與本研究碳儲存量之比較

項目	IPCC 預設值之碳轉換係數估算碳儲存量			本研究概估值之碳轉換係數估算碳儲存量			
	HWP 類別	製材	木質人造板	紙張和紙板	製材	木質人造板	紙張和紙板
碳轉換係數		0.229	0.269	0.386	0.238	0.297	0.244
年度	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)
2013	285.86	508.29	1,671.11	297.09	561.20	1,056.35	
2014	312.23	539.71	1,689.78	324.50	595.88	1,068.15	
2015	308.45	529.93	1,647.01	320.57	585.09	1,041.12	
2016	280.07	492.77	1,624.44	291.08	544.06	1,026.85	
2017	302.27	512.27	1,606.44	314.15	565.59	1,015.47	
2018	325.79	513.29	1,676.78	338.60	566.71	1,059.93	
2019	299.23	499.81	1,656.54	310.99	551.83	1,047.14	
2020	287.81	535.42	1,688.27	299.12	591.15	1,067.20	
2021	324.34	558.61	1,799.39	337.08	616.76	1,137.44	
2022	291.55	505.31	1,592.94	303.01	557.91	1,006.94	
2023	265.93	468.75	1,512.26	276.38	517.54	955.94	
類別佔比	12.11%	20.89%	67.00%	16.14%	29.57%	54.29%	

表 12、生產法 PA-IPCC 預設值與本研究碳儲存量之比較

項目	IPCC 預設值之碳轉換係數估算碳儲存量			本研究概估值之碳轉換係數估算碳儲存量			
	HWP 類別	製材	木質人造板	紙張和紙板	製材	木質人造板	紙張和紙板
碳轉換係數		0.229	0.269	0.386	0.238	0.297	0.244
年度	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)	碳儲存量(KtC)
2013	0.65	4.96	946.33	0.68	5.48	598.20	
2014	1.60	10.97	956.64	1.66	12.11	604.72	
2015	1.30	10.63	916.02	1.35	11.74	579.04	
2016	1.19	9.47	885.31	1.23	10.46	559.62	
2017	0.51	4.87	724.02	0.53	5.38	457.67	
2018	1.03	9.43	796.13	1.07	10.41	503.25	
2019	1.62	14.51	831.07	1.68	16.02	525.34	
2020	0.73	14.05	858.17	0.76	15.51	542.47	
2021	0.52	15.56	870.49	0.54	17.18	550.26	
2022	0.47	17.09	896.08	0.49	18.87	566.43	
2023	0.57	15.47	838.73	0.60	17.15	530.49	
類別佔比	0.11%	1.32%	98.58%	0.17%	2.27%	97.55%	





表 13、臺灣與 FEFCO 瓦楞紙板碳足跡數值比較

生產區域名稱	碳係數名稱	數值 (kgCO ₂ e)	宣告單位	公告年份
臺灣	瓦楞芯紙	0.988	公斤(kg)	2023
	瓦楞芯紙(原紙)	0.720	公斤(kg)	2015
	瓦楞紙板(AB 楞)	1.300	公斤(kg)	2023
	瓦楞紙板(A 楞)	1.060	公斤(kg)	2023
	瓦楞紙板(B 楞)	0.813	公斤(kg)	2023
FEFCO	瓦楞紙板	0.531	公斤(kg)	2018
	瓦楞紙板	0.491	公斤(kg)	2022

*資料來源：環境部、本研究彙整



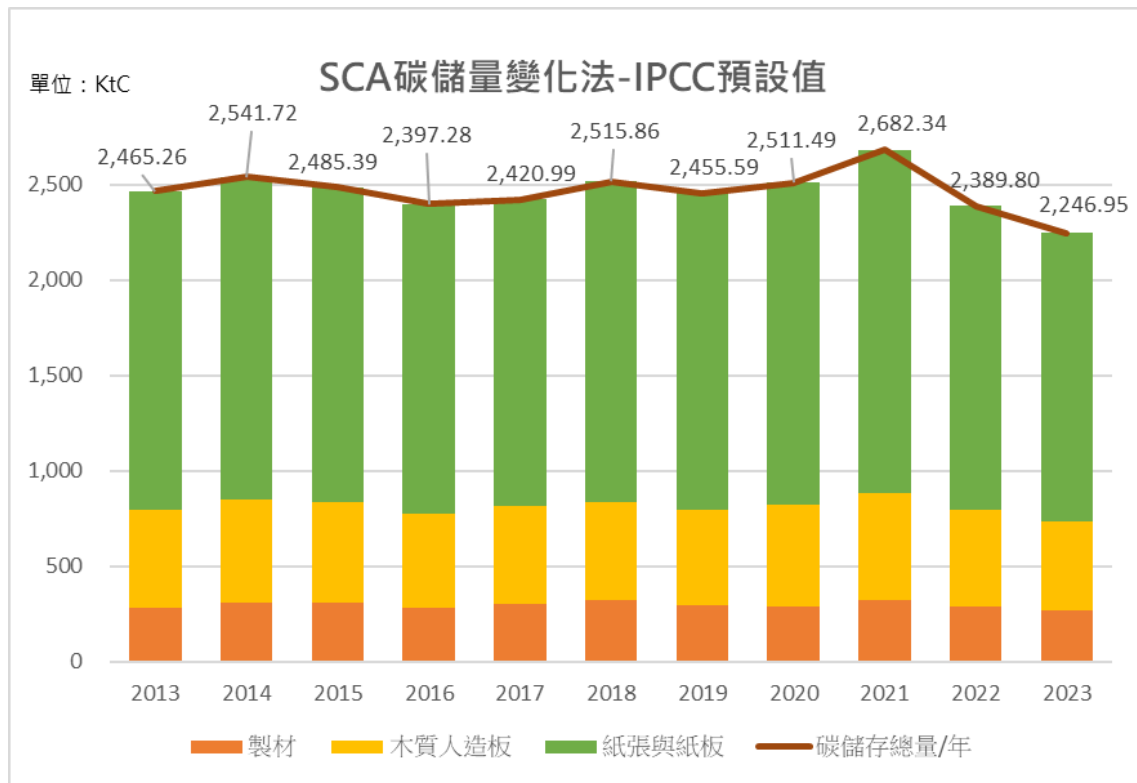


圖 1、碳儲量變化法 SCA- HWP 類別碳儲存量(IPCC 預設值)

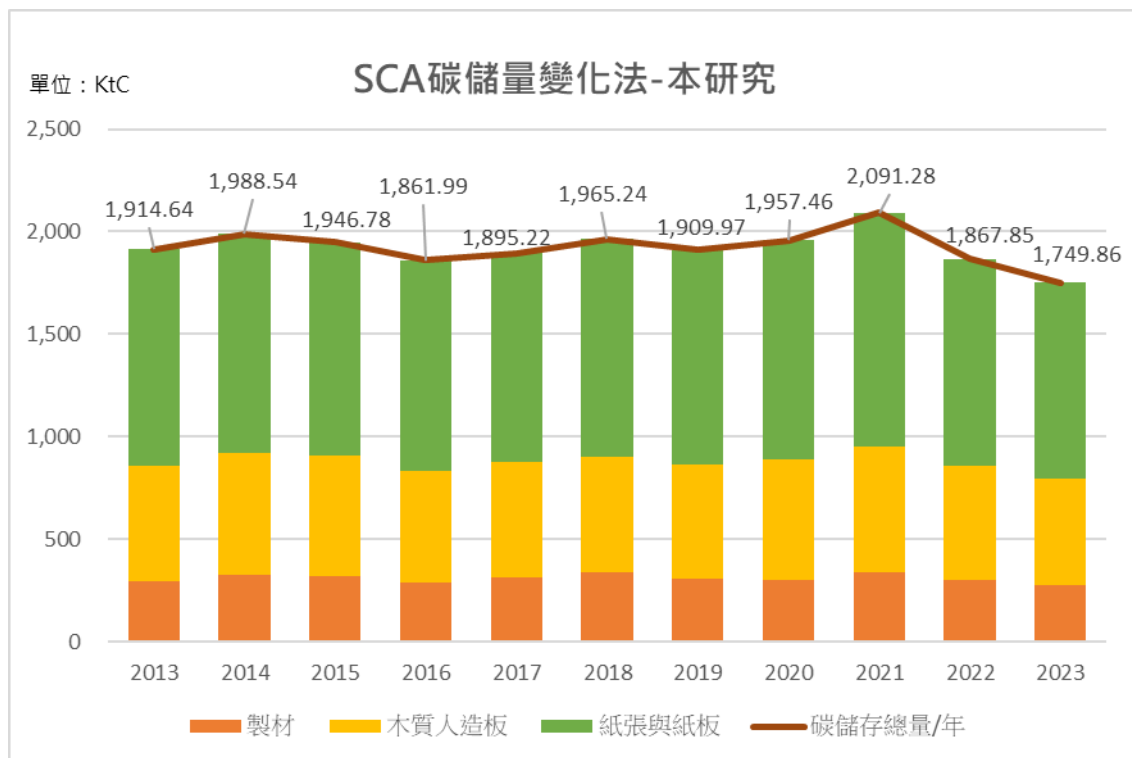


圖 2、碳儲量變化法 SCA- HWP 類別碳儲存量(本研究)



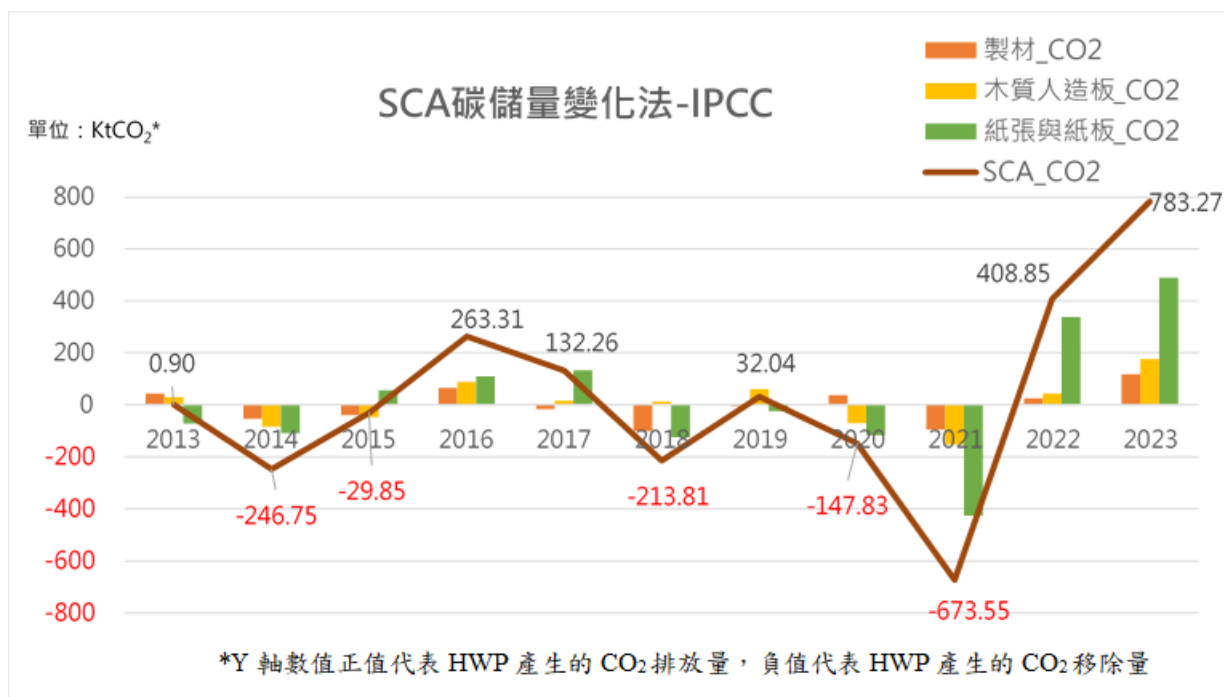


圖 3、碳儲量變化法 SCA- HWP 類別 CO₂ 移除量或排放量(IPCC 預設值)

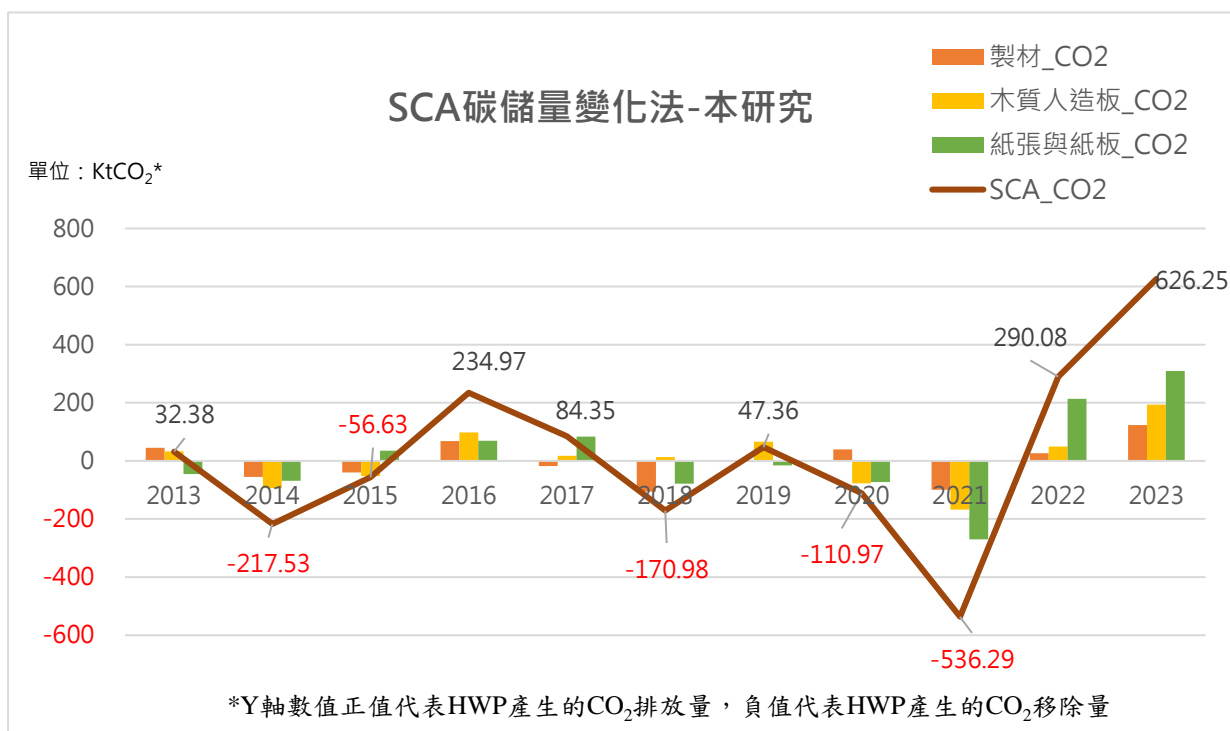


圖 4、碳儲量變化法 SCA- HWP 類別 CO₂ 移除量或排放量(本研究)



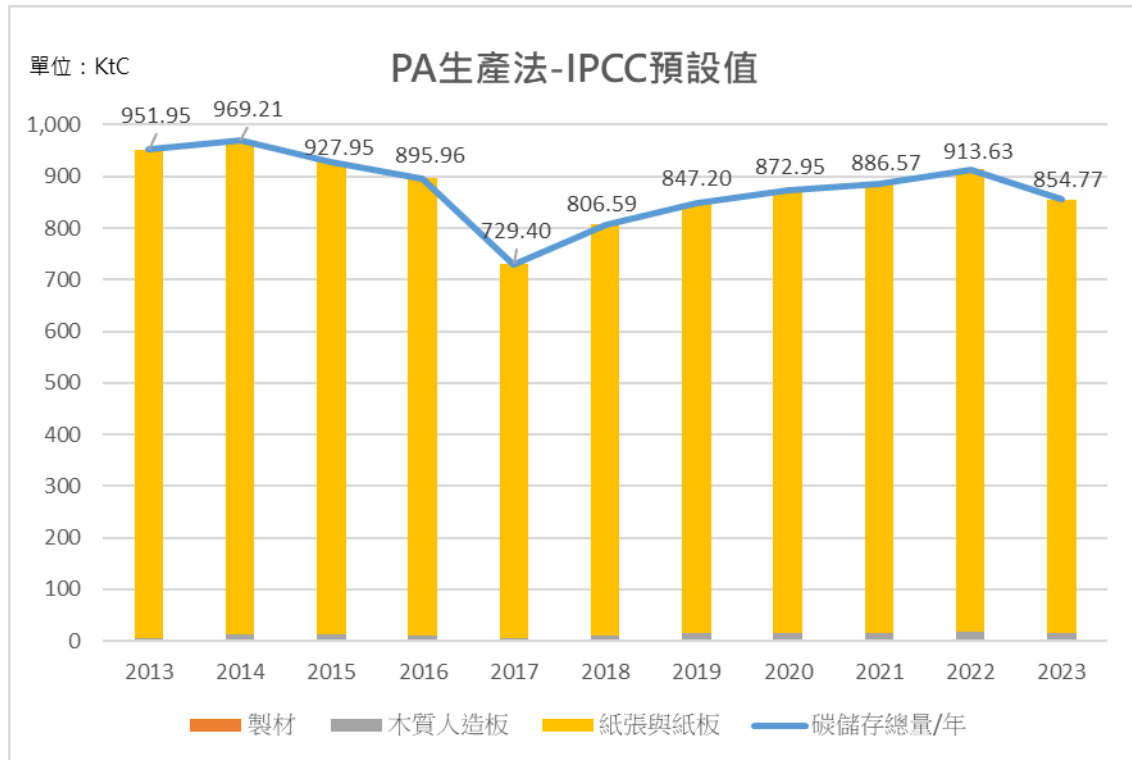


圖 5、生產法 PA- HWP 類別碳儲存量(IPCC 預設值)

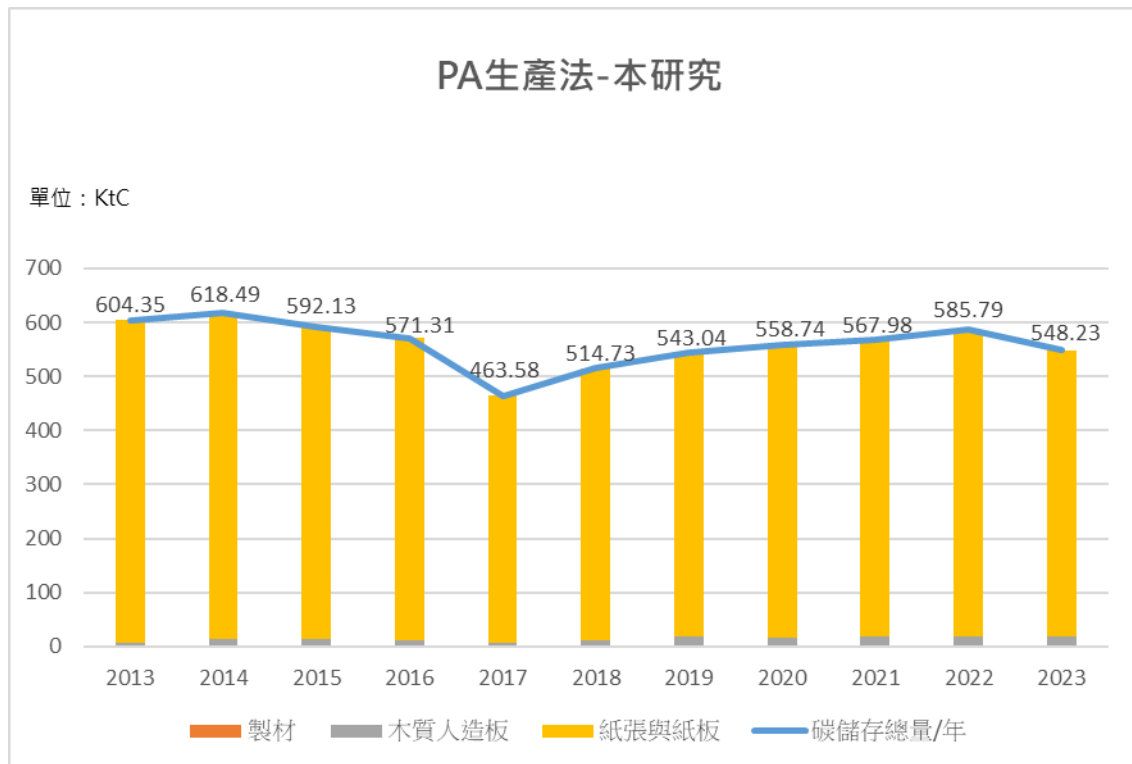
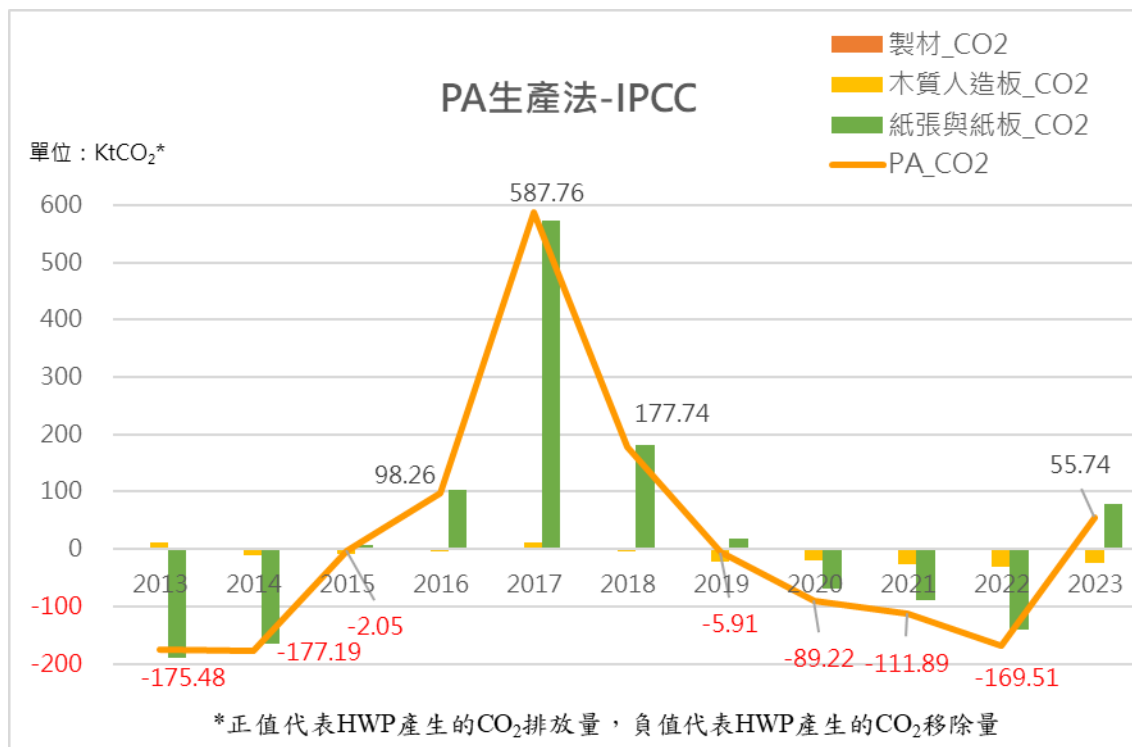
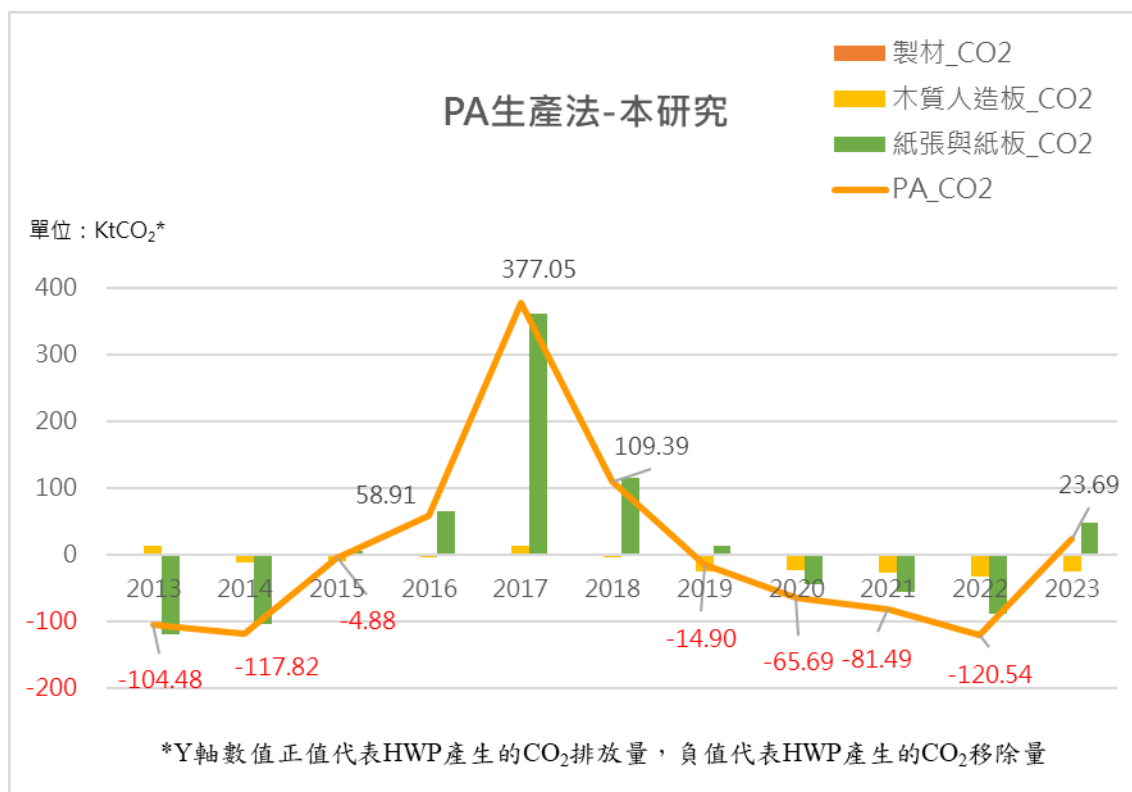
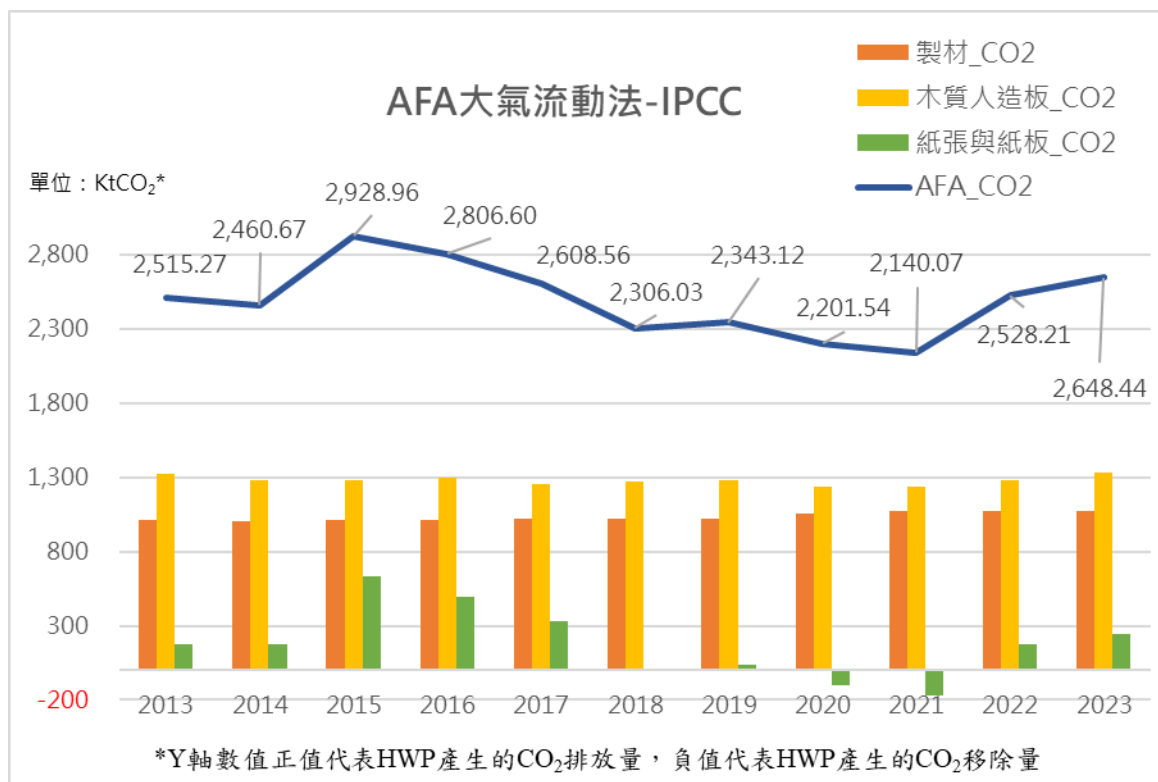
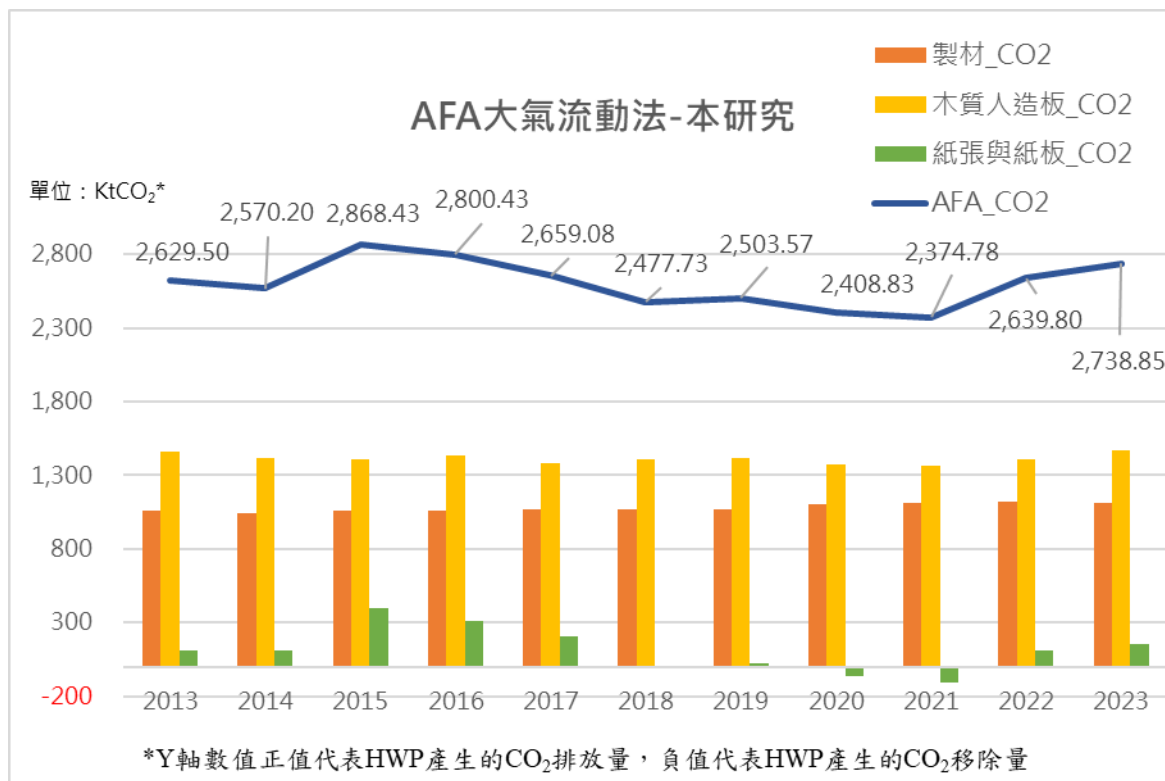


圖 6、生產法 PA- HWP 類別碳儲存量(本研究)




 圖 7、生產法 PA - HWP 類別 CO₂ 移除量或排放量(IPCC 預設值)

 圖 8、生產法 PA - HWP 類別 CO₂ 移除量或排放量(本研究)



 圖 9、大氣流動法 AFA- HWP 類別 CO₂ 移除量或排放量(IPCC 預設值)

 圖 10、大氣流動法 AFA- HWP 類別 CO₂ 移除量或排放量(本研究)

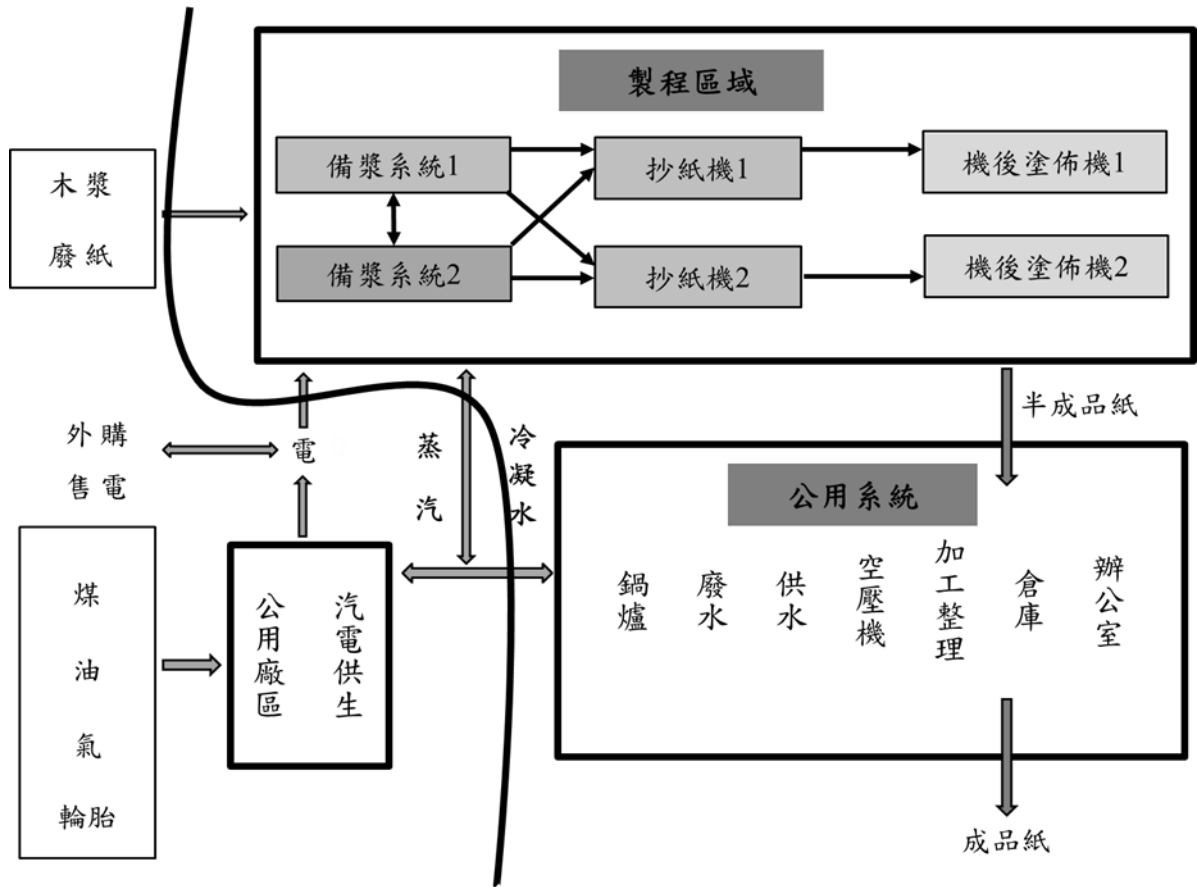



圖 11、工業用紙耗能調查

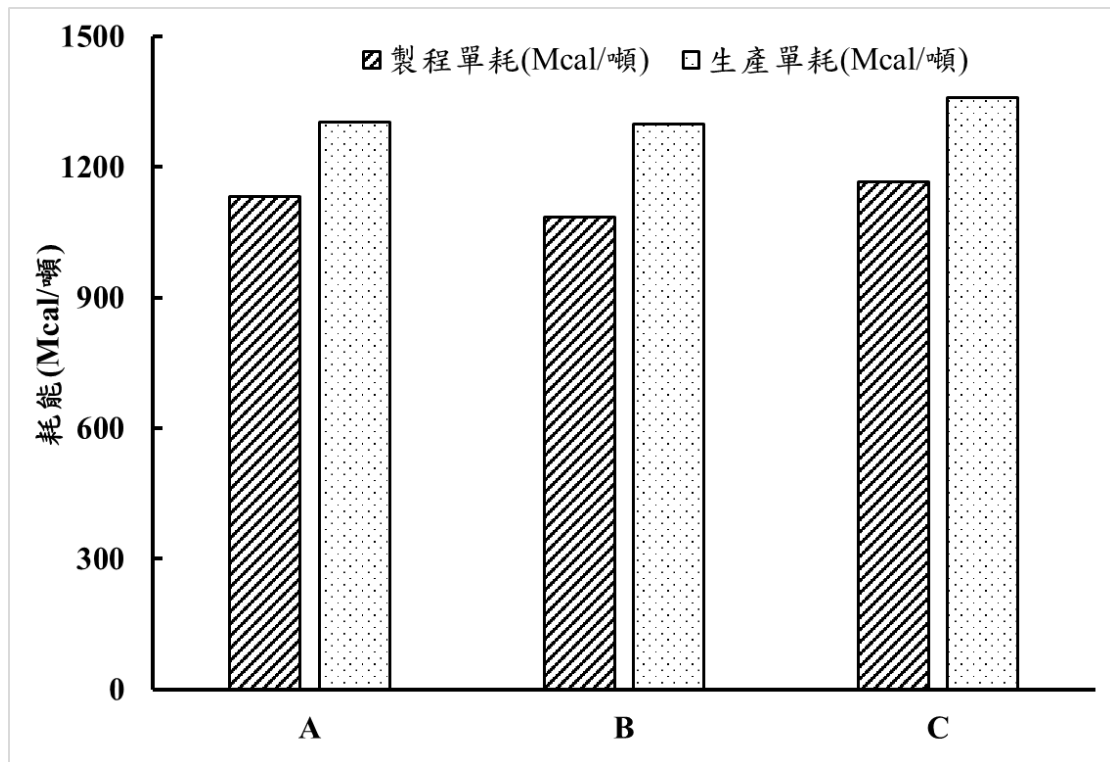


圖 12. 瓦楞芯紙單位耗能調查資料



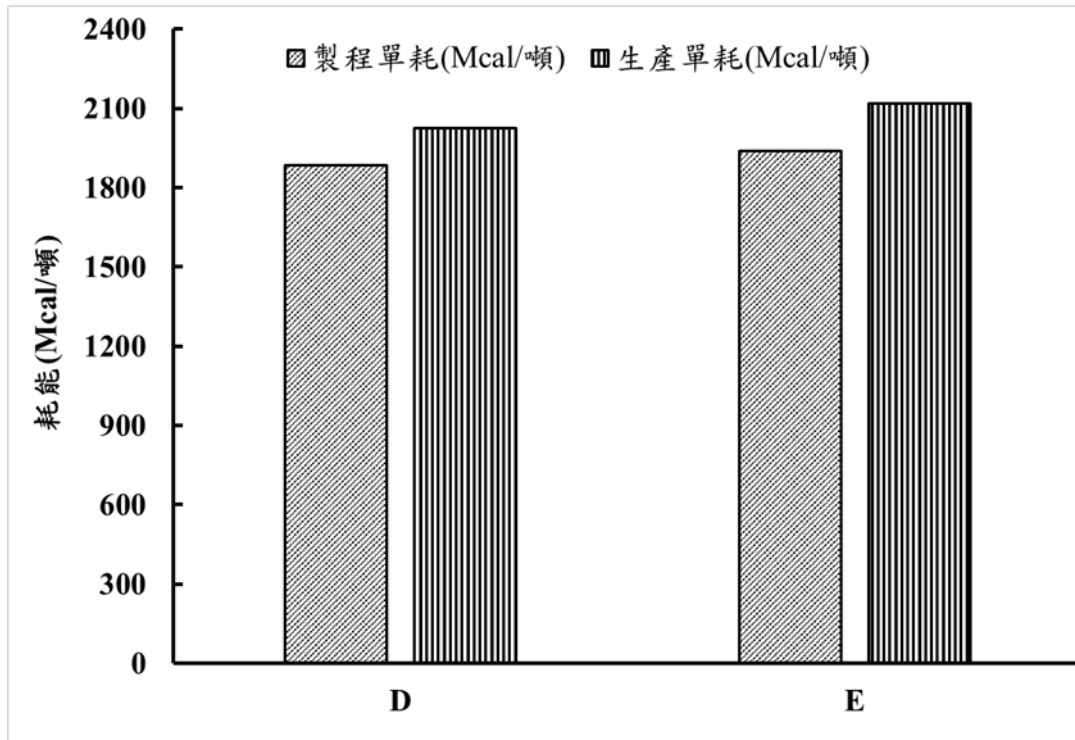


圖 13. 裱面紙板單位耗能調查資料

