

出國報告（出國類別：考察）

印尼生物炭產業與竹林資源利用

服務機關：行政院農業委員會林業試驗所

姓名職稱：林振榮 研究員兼組長

林柏亨 助理研究員

詹為巽 助理研究員

派赴國家：印尼

出國期間：106年12月6日至12月11日

報告日期：107年2月22日

目次

摘要

壹、目的	04
貳、過程	05
參、心得	06
一、生物炭	06
二、千竹村(One thousand bamboo Villages)	07
三、參訪生物炭行程	08
(一) Environmental Bamboo Foundation	08
(二) East Bali Immersion	10
(三) BambooKu	12
四、參訪竹資源利用行程	14
(一) Indobamboo	14
(二) 印尼綠色學校	16
肆、結論與建議	21
附件、參訪照片	23

摘要

生物炭(biochar)是近年受到廣泛關注之多孔性材料，是利用生物材料經過減氧或缺氧高溫環境下，進行熱裂解反應而產生之物質，其熱裂解過程常伴隨可燃氣及醋液產生。其功效在過去國外學者已發表許多生物炭影響植物的生長，而可以改善土壤酸鹼質、有機碳含量、鹽飽和度等，在國際上使用已相當廣泛。本所於106年度獲得科技部科發基金補助，執行「林業資材與木竹炭多元應用技術開發之研究」計畫，規劃透過參訪印尼民間生物炭料及木、竹資源利用及結合當地社區之在地產業。

參訪團參訪生物炭行程含括環境竹基金會 (Environmental Bamboo Foundation)，開發生物炭燃燒爐串連竹子蒸煮保存池與高效率生物質燃燒爐、East Bali Cashews使用廢棄腰果殼燒製成生物炭，應用至農業上與BambooKu之竹炭與竹纖維應用於生活用品上等經驗，回饋國內剛發展之生物炭產業，促進產業發展。

參訪團實地參訪印尼環境竹基金會 (Environmental Bamboo Foundation)與Indobamboo公司執行長 Arief Rabik，Rabik先生與國際熱帶木材組織(International Tropical Timber Organization, ITTO)合作推動千竹村(1000 bamboo villages)計畫，目的在印尼推動創建1000個竹村計畫，恢復退化土地的生產能力並用於竹子生產以及竹產業之永續利用，並增加在地社區收益。Indobamboo公司則扮演後端收購友善環境竹原料製成產品。千竹村計畫確實值得台灣借鏡，藉由友善經營方式生產高品質竹材並對應終端製造商確保收購與高於市價之收購價，該模式將可有效活絡在地經濟，增加碳吸存減緩氣候變遷之極端氣候，振興台灣竹產業。參訪團實地參訪印尼綠色學校(Green school Bali)董事Kate Druhan，Druhan女士闡述綠色學校的現況與未來願景等，學校內之建築使用與未來正在興建之校園都採用竹子做為建材，不光是竹子的質感、整體美觀，更重要的是環保、維持容易、在地化，總總表明使用在地有善的竹子是最好的選擇。

壹、 目的

本所於106年度獲得科技部科發基金補助，執行「林業資材與木竹炭多元應用技術開發之研究」計畫，計畫中規劃參訪東南亞地區印尼，研習生物炭清潔產製技術，包括木竹炭資材之製備技術、流程和設備，生物炭於農業落實，以及當地木、竹材資源多元應用管道現況等，並與當地竹產業相關機關進行交流，建立國際合作管道，讓國內既有木竹資源循環利用技術得以與國際接軌。

木、竹材均為綠色再生材料，其中竹子生長快速，繁殖力強，生育期短，竹材與竹製品之加工與生產，皆是天然且帶有具環保綠色概念的重要資材。臺灣擁有豐富竹資源，但國內竹資材相關產品目前在發展上已呈現衰退趨勢，其中，竹炭在國內研發上市已10餘年，且已有竹炭產業，惟產業規模仍小，亦面對相同的發展困境，需持續結合產品創新研發利用新途徑，以提升竹材利用率及竹材產品附加價值與市場競爭力。

透過開發國內土壤生物炭與農業資材永續循環綠色經濟，將每年農林業龐大廢棄資材加以活化應用，可有效解決國內廢棄物處理之環保問題。此外，竹產業再生產竹產品所衍生之加工廢棄材料，在近年來重視環境保護概念下，無意間成為需認真面對解決的環保問題。無論是木材或竹材，加工後產生的廢棄材料，均是可被再利用創造加值的資材，仍蘊含著經濟效益潛力，因此如何開發木、竹質廢棄物新用途是重要的研究課題。

United Nations Development Programme (UNDP)曾於印尼執行生物炭計畫，希望藉由生物炭之應用增加CO₂固定、改善農地土壤增加作物收穫等，同時竹材亦為印尼重要之天然資源，為當地建築材料、家具生產、工藝品與日常用品等常用之材料，當地亦有許多純以竹材搭建之建築物，因此本計畫規劃前往印尼與當地生物炭生產公司、竹林基金會等進行交流，建立國際合作管道，借鏡國外成功經驗，提供創新思維促進國產竹材資源之多元化利用。

貳、 過程

本次參訪行程為能有效率地達成參訪生物炭及木竹資源利用目的，配合參訪單位的安排以印尼峇里省為主要參訪地區。此次參訪行程與內容簡列於如表1所示：

表1、參訪行程內容

日期	地點	活動與行程
106年 12月 6日(三)	桃園機場→印尼峇里省(Bali)	往程，搭機前往印尼峇里省。
12月 7日(四)	印尼峇里省	拜訪 Environmental Bamboo Foundation 執行長 Arief Rabik，交流生物炭製做、生物炭應用、竹材加工利用、竹林保育等經驗，並對未來雙方合作討論初步共識。
12月 8日(五)	印尼峇里省	拜訪 Green school Bali 董事 Kate Druhan，交流 Green school 綠色理念、竹構建築選用與維護、與當地社區合作等經驗。
12月 9日(六)	印尼峇里省	參訪 BambooKu，瞭解竹炭及現在竹炭製品及竹纖維製品最新發展趨勢。原訂參訪 East Bali Immersion 交流生物炭製造技術及應用於腰果園案例，因阿貢火山爆發以電話方式交流。
12月10日(日)	印尼峇里省	參訪當地木竹工藝坊。
12月11日(一)	印尼峇里省→桃園機場	於印尼峇里省搭機返回台灣桃園機場。

參、心得

一、生物炭

生物炭是一種通氣性和透水性極佳的多孔體物質，具有高比表面積、高表面電荷密度等特色，透過生物炭表面的結構孔徑特色，將其添加至土壤中混合可以改變土壤的孔隙、粒徑大小與分布密度，使土壤的性質直接或是間接地受到影響，對於土壤之保水、保肥以及調節土壤的酸鹼值和水、肥、氣、熱等土壤微環境狀況相當有效。且生物炭亦可以改善微生物生存環境，為許多重要微生物的生長和繁殖提供了有利的條件，除微生物代謝可為作物的生長提供氮肥外，亦可以提高作物附近的 CO₂ 濃度，從而達到作物增產的效果。生物炭的原料範圍分布相當的廣泛，例如木材碎屑、秸秆、椰子殼、稻殼等生質物，目前大多利用農業剩餘物資及廢棄物作為原料以降低成本。由於具有生物炭不易經生物分解的特性，有研究指出，生物炭在自然環境下的半衰期高達500-1000年甚至更長，因此若將有機物燒成生物炭再存於土壤中，可成為長期碳匯，降低碳排放量。生物炭被廣為熟知可作為土壤復育和改良材料、促進作物生長及固碳之作用。因此將生物炭應用於農作上土壤改良材料的方式，目前在國際間農業社會已相當廣泛。

而生物炭的生產方式是將生物質透過氣化(Gasification)、熱裂解(Pyrolysis)及直接燃燒等方式處理後的產物，不同原物料種類、製程反應條件的不一樣(如溫度範圍、升溫速度、反應時間等)，所產製的生物炭會有不同的性質、產量、物理及化學性質與組成的影響。其中氣化方式生產生物炭的過程經歷了乾燥層、熱解層(乾餾層)、還原層與氧化層。針對其運行方式的不同可將氣化爐分為固定床氣化爐和流化床氣化爐等方式。熱裂解是指在隔絕或通入少量空氣的條件下，利用熱能切斷大分子之化學鍵，轉變為低分子物質的過程。根據熱解條件和產物的不同，生物質熱解可分為燒炭、乾餾(Dry Distillation)、快速熱解(Fast Pyrolysis)等幾種類型。而生物質的燃燒過程則共可分為(1)預熱和乾燥階段、(2)

揮發份析出及木炭形成階段、(3)揮發份燃燒階段、(4)固定碳燃燒階段等四個階段。燃燒過程主要受到生物質特性、熱量和壓力等影響，這些因素會因不同設備以及原料而有所差異。除產生固體的炭外，同時也會產生液體與氣體，產生的液體包含乾餾液(即為醋液)及焦油等，氣體則有一氧化碳及其他可燃性氣體，可進一步做為其他用途，例如。木醋液為一種呈酸性且有機質含量豐富的液體，與葉面肥或農藥混合使用，可提高兩者的利用率，減少使用量，從而減少化肥和農藥的殘留，使農產品的品質有所提高。

二、 千竹村計畫(1000 bamboo villages)

印尼的綠色經濟正蓬勃發展，國際熱帶木材組織 (International Tropical Timber Organization, ITTO)與環境竹基金會(Environmental Bamboo Foundation, EBF)在印尼推動創建 1000 個竹村計畫，這個計畫推動項目為恢復退化土地的生產能力並用於竹子生產以及竹產業之永續利用。計畫以邀請加入之 1000 個村莊的竹原料生產產量將為永續的竹產業提供可持續的優良原料，預計可應用在服裝，紙漿和造紙以及地板產業上，同時改善在地社區的生計。

在印尼，竹子減緩氣候變遷影響發揮著核心作用。印尼當局正在加強在地社區的能力，使他們能夠從這種寶貴天然資源中獲得最大收益，這意味著竹資源生產可以提高在地農村家庭收入、保護自然資源，並把大氣中二氧化碳固定起來。竹子存在於印尼許多農村社區生活中，它已被使用了好幾個世紀來建造房屋和生產家居用品。隨著全球竹產業的興盛，受歐洲和北美地區需求不斷增長的推動，參與計畫在地農村社區可以獲得更多額外收益。環境也會受益，竹子的生產意味著更多的碳吸存量，竹子比某些樹擁有更高的速度把二氧化碳封存於組織中，且有助於減緩印尼脆弱森林資源的壓力(因為該計畫提供了熱帶闊葉木的替代品)。這個計畫由這些竹林生產在地社區為主體政府挹注經費 EBF、ITTO 輔導在地社區，將他們的經營管理、生產原料活動擴大並轉化為具有全

球競爭力的企業與盈利。參與計畫之在地社區將全面負責竹子的種植，友善環境經營管理和初級加工。所生產之原料將由三個關鍵行業使用：竹製層壓板，竹紡織品，紙和紙漿。引入政府機構的關鍵技術支持將幫助社區克服主要的生產限制常見阻礙，包括白蟻和真菌的生物劣化影響。印尼在未來十年內每年減碳目標為 100 百萬噸，此計畫將有助於達成印年減碳目標，並進一步增加印尼強對氣候變化負面影響的抵禦能力，包括洪水和侵蝕。竹子具有廣泛的根系，可以幫助粘結表土和減緩徑流。竹子可以在劣化土壤上茁壯成長並復育土壤，計畫亦是實現印尼對緩解全球氣候變化貢獻的綜合戰略的一部分。國際竹藤組織（International Network for Bamboo and Rattan, INBAR）與全球竹藤資源評估（GABAR）將提供協助有關物業和農業生態特徵的資料，有助於生產策略決策，以確保千竹村計畫取得成功。

三、 參訪生物炭行程

(一)環境竹基金會 (Environmental Bamboo Foundation)

參訪團此次拜訪位於 Kampung Kusamba 的環境竹基金會 (Environmental Bamboo Foundation, EBF)執行長 Arief Rabik。Arief Rabik 著有“Toward Resilient Bamboo Forestry: A Reference Guide for Improved Management of Clumping Bamboo for Timber Bamboo”一書，並於 2015~2017 三年受邀於 COP 氣候變遷高峰會中，專題演講有關印尼以農村社區竹產業對於氣候適應研究等講題，本身深耕竹產業研究超過 15 年以上。Rabik 先生表示生物炭除了 BambooKu 有在生產生物炭外，他們在生物炭在印尼亦有生產，主要是作為劣化生育地復育所使用，印尼有很多土地原本是屬於原始林生育棲地，經過砍伐木材輸出換取外匯後，又種植油棕造成生育地劣化。EBF 推廣民眾種植竹林以復育日益惡化之生育地，搭配使用生物炭恢復生育地之地力。Rabik 先生表示他們目前生物炭生產使用的方式是利用傳統燃燒方式產生生物炭，優點是步驟簡單、操作簡單、推廣容易，

但缺點是生物炭收率低、所產生熱能直接溢散無再次利用機會。因此，Rabik 先生希望藉由 EBF 和林業試驗所合作開發生物炭燃燒爐串連竹子蒸煮保存池，這個系統他已初步開發部份形式，可以連續式產生生物炭，並將溢散之熱能收集後倒入竹子蒸煮保存系統作為熱能來源。這個系統最終目的是希望可以推廣至參與千竹村計畫村莊中。這套系統經 Rabik 先生初步規劃具有五個部份：分別是連續進料區、燃燒室、冷卻管線、竹子蒸煮槽與幫浦供氣。設備運作方式為使用連續進料設備連續供料至燃燒室，並調整整體進料速度。燃燒室以減氧、低氧方式燃燒產生之熱可高溫熱裂解生物質(Biomass)而行成生物炭，幫浦供氣則適時提供燃燒室氧氣，促使整個系統持續工作。整個系統所產生之高溫高熱將會導引至竹子蒸煮槽，竹子蒸煮槽再加熱前已先截成一定長度並洗淨、浸泡，所導入的熱蒸氣將使蒸煮槽的液體沸騰，進而達成廢熱利用及竹子防腐處理之功效。另外 Rabik 先生希望與林業試驗所合作的項目為共同開發生活用簡易高效率生物質燃燒爐，這個議題源自於印尼當地天然瓦斯尚不普及，需借由砍伐天然森林做為煮飯、燒水之生活上之薪碳材，砍伐天然森林將會造成生育地退化衰退，更會衍生水土流失、土石流等天然災害，如能以其他方式提供取代薪碳材生活上之熱能，將有可能減緩該國森林生育劣化之問題。又該國林產加工業發達，產生之廢棄資材尚未有完整之對應產業業鏈處理廢棄資材。Rabik 先生希藉由林業試驗所專業研發應用林業廢棄資材燒製環保原子炭，並設計高效率燃燒爐以減少當地人為使用材火而造成天然林之劣化。



圖 1 參訪團與 Rabik 先生對雙方可合作生物炭議題進行交流討論

(二) East Bali Cashews

East Bali Cashews 為生產腰果、爆米花與穀片等點心之公司，該公司透過在地就業及回饋當地等方式，改善峇里島當地社區就業以及環境，並透過友善環境之方式進行生產。另外，該公司亦辦理 Eco Camp 活動，同樣訓練當地居民做為教師等，提供平均日薪不到 2 美金的當地社區有更好及永續的工作機會。而有關腰果產品部份，該公司從種植、採收、加工到銷售採一條龍生產，同時將生產過程中之剩餘、廢棄物再利用作為熱能、生物炭及肥料等，為一農業利用零廢棄之極佳案例，因此本次規劃前往參訪。



圖 2 East Bali Cashews 之腰果產品 (來源：www.eastbalicashews.co)

本行原訂於 12 月 9 日前往 East Bali Cashews 位於峇里島東北方之工廠，參訪其腰果產品生產製程之循環利用以及生物炭產製過程，唯行程期間遭逢峇里島東北方之阿貢火山噴發影響，該工廠位於 10 公里撤離警戒區範圍內，直至預計前往參觀日皆未解除撤離警戒，至使此行無法順利前往工廠進行參觀，因此透過電話及信件與 East Bali Cashews 公司人員進行交流。

有關生物炭材料、產製方式以及利用方式，East Bali Cashews 於峇里島及印尼其他島嶼擁有腰果園農地，因此腰果經收穫、曬乾、脫殼等前置程序後，運用腰果殼作為氣化爐之燃料，透過氣化爐提供腰果後續加工過程所需使用之蒸氣熱源，而氣化爐燃燒剩餘之腰果殼生物炭取出後，再將腰果殼生物炭埋放至腰果園以及洛神花園等農地之土壤，作為改良酸性土壤及增加土壤保水力等使用，達成零廢棄之循環應用。



圖3 以腰果殼為燃料之氣化爐 (來源：www.eastbalicashews.co)



圖4 氣化爐盛餘之腰果殼炭 (來源：www.eastbalicashews.co)

(三) BambooKu

BambooKu 位於峇里省 Denpasar 區，名稱源自於印尼年輕人用語，指的是我的竹。他們的理念是：每個人都必須從第一步開始我們生活的旅程，並繼續培養自己內部改變的力量。有了這種權力，對我們的地球和未來幾代人來說，我們可以共同承擔重大責任，生活在有限的自然資源有限的地球上，選擇減輕我們對地球的影響。因此，選擇竹製品作為棉花的可行和可持續替代品是 BambooKu 實踐理念的務實做法。他們利用竹子所擁有之不同材料特性，製造出亞麻製品質感之環保、有機竹纖維布與竹炭形式呈現，所有產品經由原創設

計、材料創新和一點想像力，在可再生有機資源中建立消費者興趣和吸引力。
目前竹纖維產品有：襯衫、裙子、毛巾、頭巾、絲巾、手帕等產品。



圖 5 竹纖維應用產品

竹炭在亞洲國家使用已有悠久的歷史，憑藉著其高度多孔的結構被用於其許多屬性吸附毒性，淨化和保護，竹子比其他任何材料都能產生更強大的生物炭。

該公司員工介紹竹炭主要功能：

- 一、吸附毒性：活性炭常用於食品，藥物或酒精中毒的治療。它清潔和吸收所有物質，以防止它們被身體吸收。
- 二、淨化：木炭現在也用作過濾器。無論是空氣還是水，竹炭都會吸收所有雜質，煙霧，氣味等等。這是一種自然而高效的過濾器，是在生活中相當廣泛的應用。
- 三、保護：活性竹炭能夠減少環境中電磁波的數量。

竹炭目前已開發產品：竹炭洗髮乳、竹炭沐浴乳、竹炭潤髮乳、竹炭香皂、空氣淨化棒、竹炭鹽、竹炭電磁波屏障、竹炭室內濕度調節劑、竹醋液等。



圖 6 竹炭相關產品

四、 參訪竹資源利用行程

(一) Indobamboo

參訪團此次拜訪位於 Kampung Kusamba 的 Indobamboo 總裁 Arief Rabik。Arief Rabik 本身深耕竹產業研究超過 15 年以上，跟隨他母親 Linda Garland 研究竹子腳步，創立 Indobamboo 公司。Indobamboo 公司主打提供峇里省唯一生態友善的"硬木"材料，該公司主要以竹集層板為主要營業項目。Indobamboo 公司響應 EBF"千竹村"計畫，所有該公司所使用之竹原料，皆直接向參與計畫之竹農採購生態友善經營的竹原料，他們努力生產確保竹農的生計、顧客的品質、環

境的保護。除了竹集層板以外，該公司還提供客製化拼花地板、牆面、家具尺寸木材和建築尺寸竹材等。

Rabik 先生介紹竹集層板製程，竹子經過友善竹農經營下，每支竹子都有生長年之編號，以利後續有善生產，持續產出高品質竹材。竹材自竹園砍伐後，裝運至社區加工廠清洗、防腐、截斷、剖片、打包後才進入 Indobamboo 公司生產線。在混合膠合劑前所有的集成元都需要經過乾燥調整原料含水率過程，避免膠合強度下降。台灣調整含水率方式通常以窯乾方式進行，但在印尼不同於台灣批次式生產方式，Indobamboo 公司生產線是採連續式加熱烘乾方式進行原料水份調整，這種方式需要佔地較大的工廠比較適合。原料完成調整含水率後即進行混膠工作，使材料附滿足夠的膠合劑並以同方向排列填裝至特製鋼模中等待高壓熱壓。高壓熱壓分為兩階段，低壓成形後持續添加佈好膠的竹材再進入高壓熱壓程序，成形後脫鋼模並移放置儲料區冷卻，冷卻完成後再進行初加工，將突出端部處理至規格品規格儲放，並觀察其膠合狀態。Indobamboo 公司平常常規性生產各式竹集層材規格品，當客戶下訂後再將竹集層材規格品再加工至商品規格，所以工廠除了上述連續性生產設備外，可以觀察到亦有各式材料細加工工具(如：六面刨等)，以滿足潛在客源需求。目前加工所產竹粉都以中央集塵系統集中提供乾燥所需熱量，未來相關廢棄資材可搭配林業試驗所環保原子碳技術推廣替代熱源。

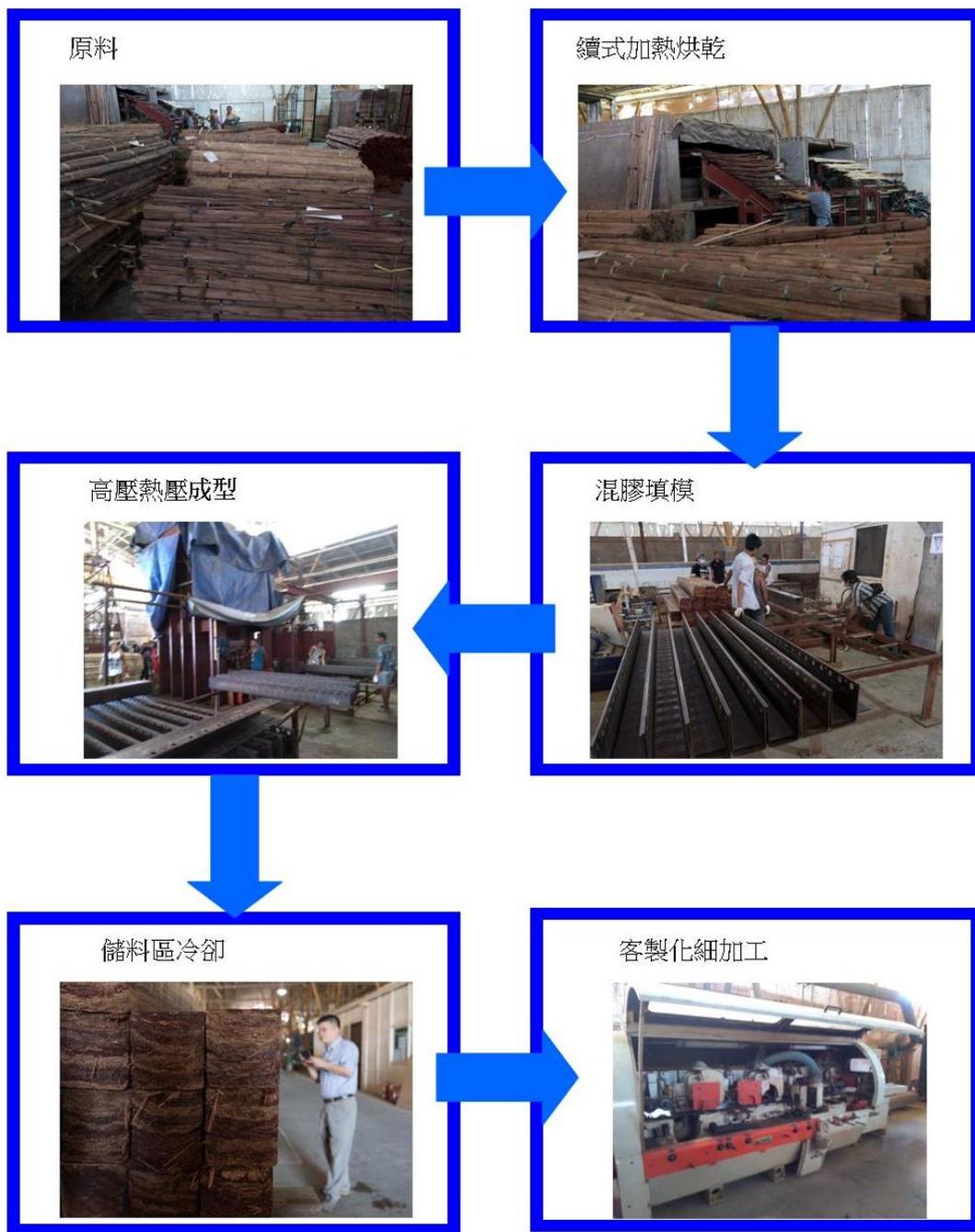


圖 7 Indobamboo 公司竹集成材製造加工程序

(二) 印尼綠色學校(Green school Bali)

綠色學校是由國際知名的珠寶商 John Hardy 所創立，學校位於峇里島中部地區，綠色學校並非傳統想像的學校是由幾棟校舍及操場組成，整座學校坐擁

約 10 公頃面積，校園中包含山丘、河流、各式功能的建築及菜園等等。其中校園中最具特色的部分即為使用竹、夯土而造的建築，例如綠色學校中最廣為人知道，全世界最大的竹結構「Heart」，以及校內所有建物，均使用竹為主要材料及結構搭建，另外綠色學校擁有自己的農場、菜園，種植校園所需的食物，並生產自己的能源等。綠色學校的理念為提供學生整體的綠色教育，讓全球人類認識永續性，且鼓勵大家對這個世界負責任，並且致力於成為具有最低的 CO₂ 排放的國際學校。綠色學校的課程則基於劍橋國際課程，主要收取自幼稚園至高中階段的學生，而綠色學校的文憑也受世界各國高等教育的大學認可。學校教學的基本科目為英文、數學和科學，另外也有綠色研究課程，培養學生對於綠色環境促進的實踐。

本次參訪過程首先參加綠色學校所舉辦的校園導覽活動，除了我們一行人外，同一梯次尚有 10 幾名來自美國、德國及印度等不同國家的參訪者，由綠色學校的人員帶領介紹學校環境與理念等，於一般導覽結束後，再與該校之管理階層進行訪談。有關導覽之重點計要如下。首先於集合區域即可看見一竹構造模型，即為知名的「Heart」，為校園的重要地標與象徵，整座建築全數由巨竹所搭建而成，其功能主要為綠色學校之圖書館、教室以及活動中心等，亦為部分年級學生的教室。隨後第一站前往綠色學校的垃圾資源回收中心「KEMBALI」，「KEMBALI」一詞於印尼文之意即為回收、再利用之意，所有綠色學校的廢棄物均會集中於此進行分類、回收再利用。



圖 8 (左)綠色學校「Heart」竹構造建築模型，(右)綠色學校垃圾資源回收處理中心「KEMBALI」。

另外綠色學校亦有廚餘回收中心及堆肥處理中心等，而學校餐廳所剩餘之廚餘等亦透過發酵等程序製成生質酒精，提供綠色學校校園巴士使用，該校園巴士主要提供學生與家長等進行預約接送服務，且預約系統所使用之 APP 為綠色學校學生自行撰寫。綠色學校盡最大可能減少廢棄物的產生，達成環保綠色校園的目的。



圖 9 (左)綠色學校廚餘回收及生質酒精中心，(右)綠色學校堆肥處理中心

接著前往校園中的販賣部，該販賣部除了熟食、飲料等商品外，亦有販售綠色學校自有的「Kul Kul FARM」農場所種植之作物，該場地每周有一天為農夫市集，販售當地農民所生產之產品等。另外，校園中有飼養雞、牛與豬等等的動物的禽畜舍，由不同年級的學生負責照顧飼養，亦有小型菜園等，讓學生

自己種植蔬菜，紀錄過程及最後的採收等，培養學生對於動物、植物、環境以及食物負責的態度。另外亦有實驗研究性質的魚菜共生研究中心，為高年級學生之實驗及實作。



圖 10 (左)綠色學校內的販售中心，有販售校園農場 Kul Kul FARM 所栽種之作物，(右)校園內之雞舍，另外尚有豬圈、牛舍等。

校園中所有建物皆主要以竹材及竹結構搭建，除了最知名的校園之心外，尚有千禧年之橋、校園劇場等大型構造，此行參訪同時正在進行 school camp 之建造工作，將為校園中另外一項大型竹結構建築。而綠色學校除了常設之一般學校課程外，亦有辦理夏令營等活動提供短期活動，提供另外一種體驗綠色學校生活的機會。





圖 11 綠色學校內之建築物主要均以竹結構搭建 (左上)校園地標「Heart」內部，(右上)跨越校園內河流之千禧年之橋，(左下)夏令營所使用之住宿小竹屋，(右下)部分課程、夏令營等使用的教室。

在綠色學校中另一項特色為使用乾燥式廁所，以節省廁所用之水，並且將廢棄物另外回收處理再利用，其中固體廢物會傳到一個中央系統，用於堆肥與製造沼氣，液體廢物則經過過濾後用於灌溉植物與農作物。



圖 12 (左)小號專用廁所，(右)可大號廁所，右側黑桶內為木粉，於使用後將木粉灑於排泄物上以減少異味。

於校園導覽結束後，與綠色學校管理階層進行訪談綠色學校的現況與未來願景等，綠色學校主要是由 John Hardy 出資，其餘教學資源、建設等則交由其他人負責進行，首先校園師資方面，擔任綠色學校的教師與一般教師不同，至少需擁有碩士學歷，擁有高 EQ、熱情以及溝通能力為基本要求，且

需能夠將不同學科以更整合的方式進行教學，而非只是照本宣科填鴨式講課，同時綠色學校有教師的培訓制度，必須經過訓練後才能正式成為學校教師，而目前共有約 60 個國際教職員。目前綠色學校的學生部份，有來自世界各個角落 35 個國家的 full time 學生從幼兒園至高中約 450 人，並且有約 300 名當地的 part time 印尼學生參加英語學校以回饋當地，同時目前提供了 14 個全額獎學金讓當地學童就讀，未來目標為提供 10% 的學生全額獎學金，然而該校並不是只要擁有財力即可就讀，學生正式就學前學生家長需要與學校人員進行面談，確認家長及學生對於學習的認知與是否擁有負責任的態度，而非僅是森林學校或收容學校。



圖 13 與 Green school Bali 管理董事 Kate Druhan 進行訪談交流

肆、 結論與建議

- 一、位於印尼峇里省之竹環境基金會(Environmental Bamboo Foundation)推動之千竹村計畫(1000 bamboo villages)，這個計畫推動項目為恢復退化土

地的生產能力，並用於竹子生產以及竹產業之永續利用。竹原料最後銷售終端是像 Indobamboo 等公司，加入計畫村莊的竹農，將經過 EBF 竹園經營管理訓練，合格後可以供高品質永續竹原料，以高於收購市價賣給後端製造商(像服裝，紙漿和造紙以及地板產業)，改善在地社區的生計。台灣竹林因無經濟上誘因，採皆伐方式採收，因此竹材料良莠不齊，其收購價格當然無法提昇，導致無人想以高成本友善環境方式經營竹園。千竹村計畫確實值得台灣借鏡，藉由友善經營方式生產高品質竹材並對應終端製造商確保收購與高於市價之收購價，該模式可有效活絡在地經濟，增加碳吸存減緩氣候變遷之極端氣候，振興台灣竹產業。

二、針對有關兩國間互訪合作交流方式，本參訪團團長林振榮組長在與竹環境基金會(Environmental Bamboo Foundation)執行長 Arief Rabik 交換意見建議，由於印尼與台灣兩國竹資源豐富，惟台灣竹林經營及竹產業目前尚不及印尼之蓬勃發展，印尼新發展之竹材永續利用與千竹村計畫模式值得國內參考借鏡，短期可先引入雙方經驗至山區部落作為合作模範場域，中、長期再藉由雙方互訪針對竹產業振興與生物炭等主題交流考察，借他山之石思考國內振興竹業之方針。

三、竹環境基金會(Environmental Bamboo Foundation)執行長 Arief Rabik 會中提議，台灣高科技產業發展蓬勃，各種製造業亦是相當成熟，雙方可先藉由自身優勢共同合作開發簡易高效率生物質燃燒爐與竹保存設備，高效率生物質燃燒爐可有望解決印尼民眾因生活需求砍伐天然林導致生育地劣化，在台灣可以用於救災或偏遠鄉鎮緊急用途使用；竹保存設備在 EBF 推動的千竹村計畫中是非常重要的關鍵步驟，傳統採用硼酸類防腐可能會有化學藥劑污染環境之疑慮，竹保存設備未來希望每個參與計畫的村莊都有能力可以具備有這個設備。雙方的合作可由簽訂合作備忘錄(MOU)來進行分工。

附件、參訪照片



照片1 林組長振榮代表林業試驗所致贈禮物予Arief Rabik，並期待未來建立合作管道。



照片2 Indobamboo 竹原料儲放區。



照片3 Indobamboo工場內部竹建築之竹結構。



照片4 Arief Rabik詳細介紹千竹村計畫友善環境竹原料後續加工程序以及成熟竹子纖維交織之方式。



照片5 Green school Bali 園區內中心教室完全以竹做為材料搭建而成。



照片6 林組長振榮代表林業試驗所致贈禮物予Kate Druhan並合影留念，期待未來建立合作管道。



照片7 觀摩竹製發呆亭製造過程。