

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：考察)

「考察木質材料在綠建築上之利用研究」報告

服務機關：行政院農業委員會林業試驗所

出國人職 稱：研究員

姓 名：周群

出國地區：加拿大溫哥華地區

出國日期：92年10月26日~92年11月1日

報告日期：93年1月5日

F81
/C09300122

公務出國報告提要

頁數：11 含附件：否

報告名稱：

考察木質材料在綠建築上之利用研究

主辦機關：

行政院農業委員會林業試驗所

聯絡人／電話：

郭麗娜／23039978#1118

出國人員：

周群 行政院農業委員會林業試驗所 森林利用組 研究員

出國類別：考察

出國地區：加拿大

出國期間：民國 92 年 10 月 26 日—民國 92 年 11 月 1 日

報告日期：民國 93 年 1 月 5 日

分類號／目：F8／林業 F8／林業

關鍵詞：綠建築(Green building)、生命週期評估(Life-cycle assessment)、LEED (Leadership in Energy and Environment Design)。

內容摘要：在永續環境及永續發展觀念蓬勃發展中，以「與地球環境共生共榮」為訴求的「綠建築」日益受到重視；尤以地狹人稠地震頻仍的台灣，推行綠建築為環境管理上勢之所必行。然而如何突破種種限制以使用木質材料為建材，在材料選用及建構技術上則仍待加強。加拿大森林蘊藏豐富，在綠建築的發展上卓然有成，引進加拿大技術對台灣綠建築的推動必有事半功倍之效。本研究目的乃在研習加拿大推行綠建築經驗，派遣林業試驗所相關研究人員研習考察木質材料應用在綠建築之現況以及環境友善化之綠建築施工方式，作為台灣推動綠建築的借鏡。由利用組周群研究員，於92年10月26日至11月1日赴加拿大溫哥華地區考察，扣除往返行程3日，實際考察日數為4日。訪問之機構及主題分別為：加拿大林產研究所談林產對環保之衝擊評估方式(Athena)，加拿大抵押貸款與住房公司談符合綠建築之木構住宅(R2000)，卑詩大學建築學院談綠建築在加拿大的現況，加拿大林業理事會談未來在台合作之可行性。參觀五棟依綠建築概念建造之建築，包括溫哥華地區二棟依R2000準則建造之住宅，位於卑詩大學之二棟及獲LEED金牌標準的白石市市政中心。行程另包括參觀考察二座針葉樹製材廠，及一座資源回收廠。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

目

次

一、緣起與目的.....	1
二、行程與任務.....	2
三、成果與心得.....	3
四、檢討與建議.....	11

一、緣起與目的

從一九九二年「聯合國氣候變化綱要公約」到一九九七年的「京都議定書」，由二氧化碳減量與管制以至於環境管理，永續發展已成為全人類對未來的共同期許。在此永續環境及永續發展觀念蓬勃發展中，我國也不能自外於國際風潮，行政院國家永續發展委員會遂於一九九六年成立。

人類所居住的建築及房舍使用全球六分之一的水資源、四分之一的木材收穫量、五分之二的物料及能源流通，對全球環境的衝擊超乎想像。因此以能源效率、水資源效率以及垃圾減量為目標，以及「與地球環境共生共榮」為訴求的「綠建築」便格外受到重視。

世界各國的綠建築評估指標因地理環境與風土民情不同而異，唯均與美國德州奧斯汀市之水資源、能源、建材及固體廢棄物等四大指標相去不遠；主管機構在縱向上涵括中央與地方各級政府單位以及民間非政府團體，橫向上則牽動經濟、環保、資源與營建等諸多部門。四大指標中之能源、建材及固體廢棄物更與我林產業息息相關。

國內由內政部建築研究所自 1989 年開始，推動建築節約能源政策，至 1997 年提出「綠建築與基地環境科技計畫」將基地綠化、基地保水、水資源、日常能源、二氧化碳減量、廢棄物減量、污水及垃圾改善等七項做為綠建築評估指標，建研所於 1999 年 9 月 1 日起，委託財團法人中華建築中心，根據上述七大評估指標，接受「綠建立標章」的申請。於 2001 年行政院核准、內政部函頒實施的「綠建築推動方案」中訂定，自 2002 年 1 月 1 日起，凡政府機關委託興建的建築工程，或受其補助金額達二分之一以上、而工程款在 5000 萬元以上之公有新建建築物，將強制要求必須要通過綠建築標章的評定，才能發包施工。目前經建會已將綠建築納入「城鄉永續發展政策」內，內政部營建署與環保署也分別透過「營建白皮書」及「環境白皮書」來推動綠建築的發展。

在地狹人稠的台灣推行綠建築為環境管理上勢之所必行，然而如何突破種

種限制以使用木質材料為建材，在材料選用及建構技術上則仍待加強。加拿大森林蘊藏豐富，在綠建築的發展上卓然有成，引進加拿大技術對台灣綠建築的推動必有事半功倍之效。本研究目的乃在研習加拿大推行綠建築經驗，考察木質材料應用在綠建築之現況以及環境友善化之綠建築施工方式，作為台灣推動綠建築的借鏡。

二、行程與任務

日期	星期	行程	任務
十月二十六日	日	台北→溫哥華	行程
十月二十七日	一	溫哥華地區	拜訪 Forintek 討論 Athena、 拜訪 CMHC 討論 R-2000
十月二十八日	二	溫哥華地區	拜訪 UBC 討論 LEED、參觀三棟 LEED 綠建築
十月二十九日	三	溫哥華地區	參觀二棟 R-2000 綠建築及資 源回收廠
十月三十日	四	溫哥華地區	參觀二製材廠、拜訪 COFI 討論 合作事宜
十月三十一日	五	溫哥華→台北	行程
十一月一日	六		時差關係延後一日到達

三、成果與心得

A. Forintek 及 ATHENA

加拿大國家林產研究院 (Forintek Canada Corporation, 簡稱 Forintek), 是加拿大的木材產品研究機構, 於 1917 年成立, 開始時為私立的且非營利的機構, 可源自 1913 年的二個公家實驗室的結合。其角色是藉著對木材的科學研究, 提供森林工業從製造、加工到高附加價值的產品的第一線研究, 並對客戶所關心的有關木材的耐久性、實用性, 提供新知。Forintek 歷年來對木材的科學研究, 執世界木材研究之牛耳, 其研究結果, 譯成多國文字, 提供有關國家對木材研究的第一手資料。目前 Forintek 持續提供林產業界最新科技, 從 1990 年開始, 在廣義的研究題目上, 亦積極從事及支持關於永續性產品及生命週期評估之研究, 網址為 www.forintek.ca。

此次與 Forintek 負責 Athena 之 Jennifer O' Connor 討論, 生命週期評估 (Life-Cycle Assessment, LCA) 的方法, LCA 為國際上認可用於比較不同產品對環境衝擊的評估方式, 採用客觀的、科學的、及量化的方式, 進行生命週期評估時, 產品、製程、或使用時對環境的衝擊, 須嚴格遵守國際標準機構 (International Standards Organization, ISO) 之規範, 及其他被廣為接受之生命週期評估指導原則, 生命週期評估尚未包括許多用於決定環境自覺設計的通用工具, 如許多已公佈之”綠產品”資源或評估系統如 LEED, 他們大多基於觀的、非量化的產品資訊, 且極少或沒有科學的佐證, 特別要注意的是缺少依標準程序做的確實分析之產品評估, 毫無意義。

LCA 的評估一般採用包含資料庫的軟體工具, 這種軟體須視建築工地所在區域而不同, 下列軟體工具僅適用於所在之國家, 但加拿大使用的 Athena 不久將包括適於美國的資料庫:

Athena(加拿大) www.athenasmi.ca

BEES(美國) www.bfri.nist.gov/oea/software/bees.html

LCAid(澳洲) www.projectwab.gov.au/dataweb/lcaid

Ecoquantum(荷蘭) www.ivambv.uva.nl/uk/index.htm

ENVEST(英國) www.bre.co.uk/sustainable/envest.html

Athena 是由 Athena 永續性材料研究所(The ATHENA™ Sustainable Materials Institute)發展出的，它是一個獨立的、非營利的研究機構，致力於開發並提供建築工業所需的有關永續發展，和良好環境選擇的客觀訊息，該機構由工業界和政府機構支助，包括美國能源部、加拿大國防部、加拿大國家資源部、加拿大工業部、及加拿大環境部等。

研究所的核心是一套電腦軟體(Athena)，使用的是生命週期評估法，評估產品生命週期中各階段對環境的衝擊，包括資訊獲得、產品製造、建築物施工、維護及使用後拆除；能評估並累積用於住宅及商用房屋的常用建築材料和組裝的生命週期對環境衝擊的數據，這些數據包括用於木結構、金屬框架結構及混凝土結構屋頂、樓地板、牆體、石膏牆板(Gypsum Board)、隔熱層、防潮層、油漆、窗戶，和維護結構的產品及組裝。數據由來自包括 Forintek 的各大學及私營企業的一流材料專家和環境科學家編輯。

加拿大林業理事會(The Council of Forest Industries, COFI)曾委托 Athena 永續性材料研究所就木結構房屋、金屬框架房屋及混凝土房屋，在建造時所造成的環境衝擊進行評估，結果顯示在考慮了各方面因素的條件下，選擇木材產品對環境最為有利。木構建築對環境的衝擊最小，因在製造施工所需產品時相對的低污染及低能源消耗，進而言之，森林的持續更新搭配木材用於如房屋及家具等耐久性產品，有助於減輕導致全球暖化的不均衡的碳循環。

B. CMHC 及 R-2000

加拿大抵押及房屋公司(Canada Mortgage and Housing Corporation, CMHC)

為聯邦政府之住宅機構，它在居住品質、房屋負擔、及住宅選擇方面，幫助加拿大人民逾 50 年。它也是加拿大建築業界外銷上的夥伴，協助將加拿大的專業知識推廣到海外市場，也是加拿大住宅資訊的最大出版商，目前致力於 R-2000 在加拿大及海外市場的推動與開發，網址為 www.cmhc-schl.gc.ca。

在 1970 年代為因應能源危機，加拿大針對建物之能源使用，發展出 R-2000 系統，注重能源節約、改善室內空氣品質、及建築整體性封膜；到 1990 年除節約能源外，亦強調如污水處理及節約用水等環保措施，並推展到英國、日本等地，惟名稱改為 Super E。

R-2000 的主要目標是建造高品質、舒適及健康的居住環境、節省能源、及先進的環保功能，採用對環境衝擊低的木材及回收再利用的建材，它的技術包括牆體技術、窗戶技術、室內空氣品質技術、及利用地熱技術。藉由牆體的加厚(由 4 英吋增至 6 英吋)及整體性封膜(設置由地基、牆壁、至屋頂的連續封膜)，達到隔熱、濕氣控制、防止雨水入侵、及減低漏氣的效果。窗戶技術包括使用多層玻璃、玻璃上塗佈低幅射油漆、及玻璃間設置絕緣層，可防止室外氣流穿透及室內氣體冷凝，達到氣密、水密、防風、及容易操作的目的。室內空氣品質的改善包括選用健康材料，以減低能源及物質消耗及減少污染；降低漏氣程度以便於控制室內環境及濕度，保持室內新鮮空氣；及使用機械通風系統，為所有房間提供健康、過濾的空氣，同時抽出屋內陳腐的空氣。地熱的利用則視建坪大小，於室外鑽取徑 6 英吋、深 200 英呎之孔洞，利用地表上、下層溫差的原理，搜集熱能，再透過熱集中機來提供所需熱能，可節省能源 80%。

此次參觀之兩棟木建築住宅，為二層帶地下室建築，一棟較大，建坪 6000 平方英呎，為充分利用地熱，鑽有 200 英呎深之孔洞 3 個；另一棟較小，鑽孔深度較淺。

地下室地基先鋪級配，其上覆以泡沫聚苯乙烯(foamed polystyrene)以為水泥模板，灌漿後不必拆除，再上為水泥塊，水泥模板及水泥塊間有隔離水氣之聚乙烯薄膜，水泥塊上釘實木地板；地下室牆體亦為以泡沫聚苯乙烯為模板的水

泥，內牆釘以石膏板(gypsum board)，石膏板上先塗防水底漆，再上面漆。

建物外牆間柱採 2x6 英吋，雨淋板用木絲水泥板(wood fiber cement siding)，間柱間有絕緣材料，絕緣材料與雨淋板間有厚達半英吋之空氣層，以防水氣集中；內牆間柱尺寸可用 2x4 英吋，採用氣密式乾牆施工(airtight drywall process)，即間柱外覆以石膏板，再上防水底漆作為水氣隔絕層(vapor barrier)，再上面漆，為達整體密封效果，牆上所有釘孔均需加以封填。

其他措施尚包括在浴室及廚房使用特殊通風系統，以維空氣品質，不使用含甲醛之合板及膠合劑，不使用窗簾以防塵蟎，外陽台使用木絲水泥材為構架及面板等。

據營造商所言，R-2000 的建築成本較傳統者多出 2-6%，主要用於牆體加厚、玻璃加強、及漏氣測試，可節省能源 40-50%，但因溫哥華地區目前能源便宜，故單以節約能源而言，估計須 20 年才可回收。

C. LEED 及三棟綠建築

能源及環境設計之領導地位(Leadership in Energy and Environment Design, LEED)為由美國綠建築協會所(US Green Building Council, USGBC)發展出的一種評估系統，用來評價建築設計的環境永續性。LEED 為一設計來評價新及舊的商用、機關、及高層住宅等建築的自我評估系統，但 LEED 的概念亦可應用在小型住宅建築的設計上。LEED 與其他評估系統不同處在於他可量化地評估大部份的”綠色分數”(green credits)，如 5%的建築材料須為舊屋拆除下來再利用，才可在”舊木料”項下得到一分。

LEED 為一種評分系統，總分為 69 分，包含 6 個主題領域，分別為基地發展、用水效率、能源效率、材料選擇、室內環境品質、及創新的設計；每領域各有數項應達成之目標，並據以給分。如地基發展包括暴雨逕流之最小化、鼓勵汽車共乘及騎乘腳踏車、增加都市密度、及增加綠化空間；用水效率包括去除基地溝渠、減少用水量、及廢水之最小化或加以處理；能源效率包括減少建物之能源消耗、

使用再生能源、消除會減少臭氧之藥劑、及統一建物系統；材料選擇包括工地廢棄物之最小化、使用舊木料、及使用可再生之建築材料；室內環境品質包括利用日光、使用低透氣性材料、提供可調式窗戶及辦公場所之人員控管、改善通氣；創新的設計包括採用 LEED 認可之專業設計、超過得分之基本要求、採用未包括在其他主題範圍之創新設計。LEED 分 4 個等級，26-32 分為通過認證、33-38 分為銀質獎、39-51 分為金質獎、52-69 分為白金獎。

USGBC 於 2003 年 8 月在一份備忘錄中，針列出數個針對 LEED 設計所衍生出的成本增加問題，一般而言，結果顯示初期的資本支出約較傳統建築高 1-4%，但長期成本則顯著為低。

目前加方正在研究加拿大版之 LEED，與美國版不同處有二：能源效率引用建築上之加拿大標準能源規範，及材料選擇須引用加拿大建築規範。溫哥華地區目前有二棟符合 LEED 金質獎之建物，白石市市政中心及溫哥華島科技園區。本次參觀前者，及位於卑詩大學依 LEED 理念所建之二棟建築。

白石市市政中心為得到 LEED 的金質認證，在其 661 平方米(約 200 坪)設施範圍內，採取各種創新性的建築策略，以符合標準，從環境上先進的設計至可再生能源系統及節約用水技術，無所不包。這些策略不但可持續地減少環境衝擊、能源消耗及長期營運成本，亦且提供健康的工作環境、增加工作效率、及增進建物的市場競爭力。此中心的建築成本僅較類似之傳統建築高 8%，但預計的 57% 能源節省，可將增加的成本於 11 年內回收，簡而言之，不論環境考量、經濟考量、或社會考量，朝建築的綠化方向發展均可有豐盛的回收。

白石市市政中心依 LEED 主題範圍所設的目標分別為：改善空氣品質目標為建立一個健康、有活力及生產力的工作環境；增強適宜居住性之目標為，確保建物內人員之健康、安全、及舒適；再生能源之目標為，藉在地及離地之再生能源系統，以減少對環境的衝擊；能源節約之目標為，使用有效之照明源、及策略性對天然光照的控制，每年可節省 5000 加幣；節約用水之目標為，減少對市立供水及廢水系統的負擔；暴雨逕流管理之目標為，藉最佳的經營手段來增強暴雨降

水的品質；固體廢棄物減量的目標為，藉由再利用(reusing)及再循環(recycling)，以減少所有的施工及拆除所產生的廢料。每一目標下訂定種種策略以達成，如節約用水之策略有，使用免沖水小便池、及低流量水龍頭以減少用水，暴雨降水收集於蓄水池用來沖馬桶及洗車，暴雨降水亦提供灌溉，在夏季乾旱時使用備用自來水系統以確保建築物的正常運作，其餘策略則不一一列舉。白石市市政中心在 LEED 的評分中，總分 69 分，得到 48 分，合乎金質獎之規定。

卑詩大學校區第一座綠建築，為作為亞洲研究院的 C. K. Choi 館，於 1995 年開始使用，此館特點包括眾多再利用及再循環材料、自然通風、高效能的照明、天然水的循環、及堆肥式馬桶。在 1993 年 C. K. Choi 建物設計時，特別要求需永續性設計，為達此一目的，特別著重於下列四點：

1. 減少衝擊及消耗：無庸置疑的，此建築最引人興趣的是使用堆肥式馬桶(Composting Toilet)，此種免沖水系統不與衛生下水道相連，這種利用空氣動力的馬桶具有持續的通風，可減少 90%的排泄物，排泄物最後會成為富含氮及其他有用元素的土壤肥料。此種馬桶的好處顯而易見，例如不但每日節省超過 1500 加侖的自來水，更可減少現有衛生下水道的負擔，若卑詩大學所有的新建築均使用這種馬桶，則現有的衛生下水道系統不需要擴建，同理類推至溫哥華市，如此則不需擴充污水處理廠。
2. 施工損耗能源降低：再利用由隔街舊建物拆除之木料，及利用溫哥華市內街道之紅磚鋪面，以節省製造建材的能源，大約 50%以上的建材使用再利用或再循環的材料。
3. 長期營運能源：充份利用天然日照，可較一般辦公室減少一半以上之照明能源，辦公室具手動照明控制，但日光充足時會減弱，室內無人時會熄滅。藉由可調式窗戶及窗戶下方的通風口達到自然通風的目的。
4. 舒適的工作環境：藉由慎選建材、裝飾用材、及施工手段來改善室內空氣品質，例如鋪地毯時不使用膠合劑、不使用含甲醛之建材、及不含溶劑的塗裝。

校區內第二棟綠建築為研究全球議題的劉氏中心(Liu' s Center)，於2000年開始使用，除了其他綠建築的考量外，最特別的是使用飛灰混凝土(fly ash concrete)；飛灰為燃煤火力發電廠的廢棄物，用來取代混凝土中之水泥，這是一項重要的創新，因水泥製造溫哥華產生的溫室氣體排放，幾乎等於該城所有汽車排放量的總和。

D. 二座製材廠

兩家製材廠其一為NWLD(New Westminister Lumber Division)，於1919年成立時為一獨立製材公司，於1962年為MacMillan Bloedel Limited所併購，在1999年時，整個MacMillan Bloedel Limited與Weyerhaeuser Company合併，現屬Weyerhaeuser Company。NWLD位於卑詩省New Westminister，所製之材60%為西部側柏(Western Red Cedar)、25%為花旗松(Douglas fir)及15%的鐵杉(Hemlock)，此廠之獨特性在於原料樹種及產品的多樣性為他廠所不及，其他廠僅專製西部側柏、或僅專製淺色材(如花旗松、鐵杉等)。

此廠在大剖時，使用電腦掃瞄原木的橫斷面及原木全長，以決定最佳鋸切方式，故可以只用樹梢材及小徑材，產品為含小的活節及穩定木理的木材。此廠之製材率在西部側柏為50-70%、其他材為50%。鐵杉製品68%銷日本、31%輸至美國，西部側柏則59%銷美國、內銷為34%、僅2%輸日。

另一家為Interfor (International Forest Products Limited)位於NEW Westminister的製材廠，以雲杉-松-冷杉(spruce-pine-fir, SPF)製材為主，產品均外銷日本，做為屋頂標條用。製材時有二個特點：一是為求最大生產量，所以原木在大剖前，先鋸成一定長度，鋸下來的殘料當廢材處理；在大剖時，不論原木品質或特徵，均先由中央一剖為二，再進行後繼鋸製；如此可使製材速度大增，但也造成資源的過度浪費，亦使製材之品等降低，此種製材方式大概也只有加拿大這種森林豐富的國家才有可能辦到。另在製材乾燥時，使用4個真空乾燥室取代傳統乾燥，雖然成本高且乾燥時易發生問題，但達到節省時間及減少乾

燥缺點的目的，乾燥時間由傳統的 14 日縮短至 6-7 日。

E. 溫哥華地區的資源回收

加拿大由於資源豐富，廢棄物大都用來填地或做為燃料使用，如一般平台式木建築(platform construction)拆下之廢木料。只有大木建築(heavy timber construction)之拆除之大尺寸木料，有為數不多的舊木料商收購，再直接售於消費者，由消費者自行加工再利用。有時在現地或緊臨地區之改建時，拆除之大尺寸木料由改建者再利用，如本文所述位於卑詩大學的兩棟綠建築、及白石市市政中心，由於使用舊木料，該三棟建築在綠建築之評分上均可獲得加分。

此次參觀的資源回收廠位於溫哥華市郊，主要來源是施工工地之廢棄物，如泥土、電線、廢木料、及水泥模板等，對於廢木料處理而言，品質較佳者由重型機械打成厚 1cm 長 3cm 的木片，其中的鐵釘等金屬物品由大型磁鐵吸出，木片售給板材工廠供製硬質纖維板(hardboard)，品質不佳者則打成粒片，可為燃料或做為填地後之被覆材料。

F. COFI 及合作項目

加拿大林業理事會(The Council of Forest Industries, COFI)總部位於溫哥華市，由 69 個內陸公司組成，目的在提供其會員公司在林業政策、品管、國際市場及貿易開發、公共事務及社區關係上之服務。在國際貿易上，透過與當地的合作研究，積極開發木材市場。此次與其亞洲市場負責人洽商，認為可透過下列合作，使中加雙方均可獲益，包括良好木構施工的宣導小冊、木構建築與其他材料建築之成本比較、混合式構造(hybrid structure，下層混凝土、上層木構造)在台的可行性、及木構建築施工實作訓練課程(預計 93 年 3 月舉辦)。

四、檢討與建議

此次考察對加拿大在綠建築的研究及推廣方面，有深入了解，綠建築的主要目的在將對環境的衝擊減至最低，注重建物與環境的協調，並達到居住的舒適性；加拿大以 Athena 軟體程式來評估建材的生命週期，結果顯示木材在所有主要建材中，對環境的衝擊最小；借重由美國發展的 LEED 評估方式，希望能達到綠建築的目的；並開發 R-2000 種種木構造設計理念及施工技術，以達節約能源及居住舒適的目的。但加拿大因資源豐富，所以在製材上，有先進的專製中小徑原木的製材工廠，也有為求製材速度卻浪費資源者；在資源回收再利用上，也明顯有可再加強之處。

本次考察建議事項如下：

1. 在國外已有針對使用不同建材的建築物，對環境影響的評估研究，國內尚缺乏此類數據，建議加強這方面的研究。
2. 國內目前的綠建築標章認證，有時失於主觀的評斷，建議在認證的標準上多於量化，以便客觀的評價。
3. 木構建築在對環境的衝擊及居住舒適性上，均較其他材料之建築為優，但台灣氣候溫暖潮濕，且能源昂貴，建議爾後應加強對木構造的耐久性及節約能源方面的研究。