

加壓注入防腐處理木材之現況與展望

台大森林環境暨資源學系名譽教授 王松永

一、CCA 處理木材之演變趨勢

國內早期之古蹟、歷史建築物以及室內外木材均以 CCA 處理，直至 2002 年由古蹟、歷史建築物主管機關宣布禁用 CCA 處理材，改用對環境友善之 ACQ(銅烷基銨化合物)或 CuAz(銅唑化合物)處理材，因此目前古蹟相關的修復工程都未有使用 CCA 處理材的案例。

行政院環保署於 2005 年 12 月 30 日將鉻化砷酸銅列入毒性化學物質，限制其使用用途。2006 年 12 月 29 日公告限制使用鉻化砷酸銅處理木材之用途，並自 2007 年 4 月 1 日起禁止鉻化砷酸銅處理供下列用途使用之木材，包括：(1) 室內建材、傢俱、戶外桌椅。(2) 遊戲場所、景觀、陽台、走廊及柵欄。(3) 其他與皮膚直接接觸者。但建築物樑柱、地基、製材、橋樑結構及基礎接地用材不在此限。

經濟部標準檢驗局為配合環保署限制 CCA 處理材，僅能用在相當於 CNS3000 之危害分級屬於 K5 環境。已於 2012 年 7 月 7 日修訂公布「加壓注入防腐處理木材」，CCA 處理材只保留在木材使用環境之危害分級為 K5 方可使用，其 CCA 防腐劑吸收量基準為 $9.6\text{kg}/\text{m}^3$ 以上，有效成分之最低吸收量為 CrO_3 : $4.2\text{kg}/\text{m}^3$ ， CuO : $1.6\text{kg}/\text{m}^3$ ， AS_2O_3 : $2.9\text{kg}/\text{m}^3$ 。K1~K4 危害分級之使用環境均禁止使用 CCA 處理木材。

近年國內公部門之公共工程，古蹟、歷史建築物等已不使用 CCA 處理木材，遺憾的是至今為止，國營事業單位台灣電力公司之電桿橫樑木仍使用 CCA 處理木材，此將造成環保處理成本增加，基於維護地球環保及人體健康之立場，建議早日改用環境友善之防腐處理木材。

正值國內使用之木材防腐劑順利的由 CCA 逐漸的改用環境友善之 ACQ 或 CuAz 防腐劑之際，於 2012 年下半年，在網路上公開「2012 年最新品進口窯乾 CCA 處理材，國外已重新可以進口，品質遠比國內防腐材優良，且價格相當」進行販售。使得國內私部門與民間又開始使用 CCA 處理材，國內防腐廠亦進行生產屬於被限用之 CCA 處理木材。使得推動十餘年之環境友善之防腐劑 ACQ 及 CuAz 之處理木材在國內市場受到甚大影響，有走倒車之情形。

而在網路上公開銷售之 CCA 處理木材，其 CCA 吸收量只有 0.25PCF，此吸

收量換算成公制單位，相當於 $4.0\text{kg}/\text{m}^3$ ，並未達 CNS3000 標準之 K5 要求($9.6\text{kg}/\text{m}^3$ 以上)，在國內應被禁止使用的產品。

環保署於 2013 年 1 月 24 日又公告將五氧化二砷(As_2O_5)列入第二、三類毒化物進行管制，五氧化二砷為致癌物，其為 CCA 之主成分之一。環保署於 2014 年 2 月 6 日公告禁止鉻化砷酸銅作為木材防腐劑，因鉻化砷酸銅為一種由鉻、砷及銅所組成，作為木材防腐用之混合物水溶液，可防止木材腐敗，因氣候、雨水或土壤酸度釋出重金屬砷、鉻及銅，其中以砷釋出污染環境，且目前已證實六價鉻是人類致癌物，危害民眾健康。環保署加嚴管制，修正公告鉻化砷酸銅(列管編號 055，序號 25)自 2016 年 1 月 1 日起禁止作為木材防腐劑，減少環境負荷。

二、 ACQ 與 MCQ，CuAz 與 MCA 處理木材有何不同

於 2005 年 5 月，含有微粒子化(microized)之碳酸銅水系之銅系木材防腐劑，在美國開始販售。當此微粒子型銅系防腐劑導入市場不久即刻擴大，於 2008 年在北美已佔有銅系防腐劑市場之 75%。微粒子型銅系防腐劑處理材之優點，係比起既有之水溶性銅系防腐劑處理材(ACQ 處理材或 CuAz 處理材)從處理材之銅溶出量會較少，於金屬蝕性會較低。另一方面，對於軟腐朽菌及其他材腐朽菌之防腐效力則較差。或亦有報告指出係為同等，或反而較為優良。因此，有關微粒子型銅系防腐劑之性能的觀點，在國際木材保存學會(IRG：International Research Group on Wood Protection)區分成兩派。

微粒子型銅系防腐劑處理材上市 4 個月後，可感受到銅系防腐處理材特有之綠色已不會呈現出來，處理材色調與未處理材幾乎一樣，不會著色。此係不使用胺銅(amine copper)及銨銅之離子性銅的意義。同時，比起離子性銅很明顯的尺寸較大的銅微粒子到底是否能浸透進木材之細胞壁內呢？此亦會讓人產生懷疑，這亦是 IRG 之主要討論的議題之一。

微粒子型銅系防腐劑(MCQ)係與既有的水溶性銅系防腐劑(CCA、ACQ、CuAz 等)為完全不同概念的藥劑。即 ACQ 或 CuAz 係為不溶於水之塩基性碳酸銅，以胺(amine)或銨(ammonium)溶解，再以水稀釋使用者。相對的，微粒子型銅系防腐劑係將此塩基性碳酸銅成為 Submicro size 之微粒子後使用者。此防腐劑係將球磨機(ball mill)磨碎之碳酸銅，與高分子分散劑及濕潤劑(Polymeric dispersing/wetting agents)以水系泥漿(slurry)製作而成者，其尺寸分布為 1 nm

-25 μm ，平均徑為 190 nm，其 90%以上係在 1 μm 以下者。

原液通常係可以被水稀釋，但因各個之銅粒子之表面會被高分子分散劑所被覆，故在處理液中係保持分散狀態。其他有效成分係與 ACQ 或 CuAz 為相同。DDACarb (Dimethyldidecylammonium carbonate/bicarbonate)或鐵布可唑 (Tebuconazole) 含有 DDACarb 者稱為微粉化 Microized Copper Quaternary(MCQ)，含有鐵布可唑者稱為 Microized Copper Azole (MCA)，其係將胺(amine)銅轉變成銅微粒子者，因此 ACQ 與 MCQ，CuAz 與 MCA 可視為各有姐妹關係。

MCQ、MCA 均可與 ACQ、CuAz 同樣的使用既有的注入藥罐、可以減壓加壓注入處理。由於此事實僅在僅僅數年期間即能改變北美之防腐劑的市場為其原因之一。在導入當初，已存在有 Osmose 公司之 MCQ 及 MCA，Phibro wood 公司之 MCA，Arch Chemicals 公司之 MCA，但不久後即被整合，約在 2009 年就剩下 Osmose 公司之 MCA 及 Arch Chemicals 公司之 MCA。因此現在 MCQ 已沒有被販售。又，在處理對象之樹種，從最初至現在為止，只有以易注入性之南方松為主。但最近銅微粒子之尺寸更小，尺度分布亦較均一，結果以往浸透較為困難之樹種，如冷杉類(Hem-fir)、Lodgepole pine (Pinus contorta)，紅松、西部雲杉等較南方松浸透困難的樹種，亦開始被探討其適用性。

由於微粒子型銅系防腐劑(MCA)之防腐效力，在 IRG 有兩派之主張，因此至今在 AWWA，JAS 均尚未列入標準內。

三、 加壓注入防腐處理木材之品質

木材之防腐處理方法係配合其用途、目的有許多種。但信賴性最高之處理方法是加壓式防腐處理方法。此方法係在 CNS3000「加壓注入防腐處理木材」有規定，其係將木材置入能耐 2.2MPa 以上壓力之耐壓容器內，施以減壓、加壓將木材防腐劑壓入木材內部而製造者。

加壓式防腐處理木材比起噴霧、浸漬或刷塗等表面處理、防腐藥劑會深深的浸透進入木材內部，長期間能安心的使用之製品。在日本木材防腐工業組合，組合員有 24 家公司，其工廠均會取得 JAS 或 AQ 認證，在充分的管理基礎下，提供品質安定之加壓注入防腐木材製品給消費者。

中華木質構造建築協會木材品質檢驗中心，於 2014 年度所進行檢驗結果可看出，ACQ-1 處理木材樣本數 206 件，滲透度合格率 52.9%，吸收量 > K3 者

63.3%，有效成分比例合格率 71.4%，總合格率 48.5%。MCA 處理木材樣本數 2 件，滲透度合格率 50%，吸收量 >K3 者 50%，有效成分比例合格率 50%，總合格率 50%。硼化合物處理木材，樣本數 5 件，滲透度合格率 80%，吸收量 >K1 者 100%，總合格率 100%。CCA 處理木材，樣本數 3 件，吸收量 >K5 者 0%。

上述係依 CNS3000 規定，ACQ-1 處理材之 K3 標準為 2.4kg/m^3 ，MCA 處理材之 K3 標準為 1.0kg/m^3 ，硼化合物處理材之 K1 標準為 1.2kg/m^3 ，K2 為 8kg/m^3 ，而 CCA 處理材之 K5 標準為 9.6kg/m^3 ，進行判定其是否合格。

由上述可看出，國內加壓式木材防腐處理尚有很大的改進空間，其問題需由設計單位、木材防腐處理工廠、施工單位、消費者等共同努力。而處理工廠須從處理條件考量，對樹種(藥液浸透難易，心材之耐腐性)、含水率、形狀、尺度、注入處理方法之種類、藥劑之性質，有無刺縫處理要求之品質等而決定。加壓之壓力通常為 $0.97\text{-}1.47\text{MPa}$ ，加壓時間並非預先設定，而是設定目標之壓力進行管理之方法。

多數之闊葉樹材因密度較高，又細胞腔有填充體使得既使採用加壓式注入方式，木材防腐劑亦很難進入木材內部，必須依賴刺縫處理。刺縫處理係為使藥劑能均勻的浸透進木材內部，使在表層附近形成浸透層為目的，其係在木材表面進行刺縫加工，使在其表面賦予小的孔穴，以人工方式製作出浸透容易之橫切面。以往刺縫(insicing)加工係採用圓筒形之滾筒(drum)，表面安裝有刀型或鑿刀型之刀刃，可將木材表面進行機械刺傷 1m^2 面積有 3,000-5,000 個深度 10mm 之傷痕，而會顯露出木材橫切面，期能增加藥劑浸透深度及藥劑吸收量。

以往認為刺縫處理係破壞木材表面，但現在需從另外角度去思考，即刺縫處理係為延長防腐處理木材之使用期間，所實施的作業，有其必要將原來的缺點，轉變成優點思考。現在有些設計採用回收鐵路枕木作地板、步道、圍牆，甚至於在台北市有裝修在餐廳之入口兩邊牆壁，有仿古之意味。另外在苗栗一條工務店所建造之木構造建築物，其所使用之大樑為 4×8 之花旗松，因防腐處理較困難，為達到延長其使用年限之目的亦採用刺縫處理。

台灣電力公司之電桿橫桿木，原來使用油仔木(Keruing)之 CCA 處理木材，今後，當 CCA 防腐劑全面禁止使用後，可使用如 ACQ、CuAz、MCA 等環境友善之木材防腐劑，經刺縫處理後再施以 ACQ、MCA 或 CuAz 加壓注入處理，也許其藥劑吸收量可較現在 CNS3000 所規定 K4 者增加 $1\text{-}2\text{kg/m}^3$ ，以預防因藥劑淋失而影響到其耐久性。

而現在國內之木材防腐工廠，並未有刺縫處理設備，為因應未來之需要，建議業界應早日增加刺縫處理設備。

日本林野廳制定「森林土木木製構造物設計等指南」，在第 6 章施工，6-3 節防腐處理等之品質確認施以防腐、防蟻處理之木材，係確認已滿足必要之品質者。使用經防腐、防蟻處理之木材時，需確認所使用之木材防腐劑，處理方法、木材防腐劑之浸透深度、吸收量者。又防腐、防蟻性能之明確的木材製品有日本農林規格(JAS)製品，(財)日本住宅、木材技術中心之 AQ 認證製品，(社)日本木材保存協會之處理木材認定製品。

國內亦可採用 MIT 微笑標章製品，中華木質構造協會驗證工廠，以確保加壓注入防腐處理木材之品質。

四、 加壓注入防腐處理木材之展望

眾所週知，樹木是吸收大氣中之 CO₂ 而生長，被砍伐後，改變成木材製品型態作為建築物，構造物等之資材被活用。因此，木構造建築物、生態工程構造物會發揮作為巨大的碳貯藏庫的功能。而加壓注入防腐處理者則能更長期，持續發揮作為碳貯藏庫的功能。如此，防腐處理木材作為環境友善材料，今後其使用量之增大是可預期的。

日本林野廳想將水泥社會轉變成木質社會，以實現低碳社會，提出國產木材自給率達到 50% 之目標，於平成 21 年(2009 年)發表「森林、林業再生計畫」，此計畫以擴大國產材之需求為目的，於平成 22 年(2010 年)10 月實施「公共建築物等促進木材利用相關法律」，日本木材防腐工業組合製作成以長期耐用住宅為目標之「長壽命住宅設計書」，努力於製材、集成材等防腐處理製品之普及。

建築物於設計階段既使很完整，因建造時之瑕疵，或建造後亦有因會受到某些外力，而很難保持初期性能之情形。萬一與當初設計有差異，而會發生漏水等之事故，造成使用環境改變等問題，須預先考慮到，長期優良住宅等之建築物，防腐處理被認為是必須的技術。一旦於建造後之木構造建築物，既使劣化狀態能掌握，確實之維護工程，亦極為困難。又，因必要有甚大的修補經費，所以不會實施。為突破此狀況，預先在主要的結構部位之構材多使用加壓注入防腐處理木材，使木構造建築物之高耐久化是可能的。與此動向相關連的，由日本國土交通省官廳營繕部所發行的「公共建築木造工事標準仕様書(平成 25 年度(2013 年版))」至今為止不明確有關檜木(Hinoki)之耐久性，檜木有耐久性只是心材，而

邊材即使是檜木，其耐久性亦很低，規定必須實施加壓注入防腐處理。

國內木構造建築物，每單位建築面積(m^2)之木質材料(包含製材、合板及其他)使用量為 $0.2125m^3$ ，但鋼筋混凝土造建築物(RC 造)及輕鋼構造建築物(S 造)均為 $0.020 m^3$ 。如一棟木構造建築物以 $136 m^2$ (約 40 坪)計算，則其所使用木質材料量為 $28.9 m^3$ ，而 RC 造及 S 造建築物各為 $2.72 m^3$ 。如其中製材品約佔 30%，則木構造建築為 $8.67 m^3$ ，RC 造及 S 造為 $0.816 m^3$ ，這些製材品均需進行加壓注入防腐處理，如木構造建築物數量增加，當然需防腐處理木材量就會增加。

加壓注入防腐處理係為延長木材之使用年限，亦即延緩木材所貯藏二氧化碳回歸大氣之時間，有減緩地球暖化之環境貢獻。上述木構造建築物建築面積 $136 m^2$ (40 坪)，係可貯藏(固定)26.524 公噸 CO_2 。如其結構材料(樑、柱、地檻材、桁木等)均經加壓注入防腐處理，並滿足 CNS3000 之 K4 的要求時，將可使原來使用年限由 20 年延長至 30 年。在日本也有推動木構造建築物保證 30 年之作法。

近年來為維護自然環境景觀、保護人們周圍環境，從天然素材之親切感與地球景觀之調和性或野生生物之棲息，生育環境之保護、創造等觀點，木材作為土木材料之利用意義已逐漸再被認識。

為改善以往擋土牆護坡、節制壩等使用太多混凝土，造成生態環境不平衡，近年已積極開發人工林疏伐木在擋土牆、節制壩等生態工程之應用技術。此係將柳杉或杉木、台灣杉等疏伐木旋切成圓木棒，其直徑為 9cm-15cm，長度分為 2m 及 1m。再施以 O&D 工法壓縮後，依 CNS3000 施以 ACQ 防腐劑之加壓注入處理，其藥劑吸收量達 K4 危害分級之 $5.2kg/m^3$ 。如此防腐劑可在柳杉邊材均勻分布，其防腐效果可達 30-40 年，此意味著在其生命週期內，可將木材所儲存之 CO_2 隔離於大氣碳循環系之外，即達到實際之固碳(碳隔離)之效果。

在此介紹由本研究室推廣之木格框擋土牆及節制壩對於節能減碳固碳之貢獻於次：

案例 I：木製生態工程木格框擋土牆與混凝土製工程 CO_2 排放量之比較(照片 1)

本座木格框擋土牆使用①直徑 12cm，長度 2m，圓木棒之壁材 84 支，其材積 $2.419 m^3$ ；②直徑 12cm，長度 1m，圓木棒之壁材與橫柱材 309 支，其材積 $4.450m^3$ ；③直徑 12cm，長度 1.2m，圓木棒之壁材 56 支，其材積 $0.968m^3$ ，

共計使用材積 7.836m^3 。而相當尺寸之混凝土製擋土牆需使用混凝土量 $1.5 \times 1 \times 20 = 30\text{m}^3$ 。

① CO_2 排放量

防腐處理木材： $66 \times 7.836 \text{ m}^3 = 517.2\text{kg}$

混凝土： $440 \times 30 \text{ m}^3 = 13,200\text{kg}$

② 碳(C)之固定量

(A) 防腐處理木材： $642 \times 7.836 \text{ m}^3 = 5,030.7\text{kg}$

其中，如木材未經防腐處理，則在 2-3 年便會腐朽而產生 CO_2 排放至大氣中，以柳杉材比重為 0.35 計，其含碳量為 $175\text{kg}/\text{m}^3$ (此係木材碳比例為 50% 計)，換算成 CO_2 時，則因腐朽所引起 CO_2 發生量為 $175 \times 3.67\text{kg}/\text{m}^3$ ，即 $642 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。但經防腐處理則這些 CO_2 將固定在木材中至少 30 年以上。

(B) 混凝土： 0kg

建造擋土牆工程時，如以木材 (疏伐木) 取代混凝土時，可使 CO_2 削減量達 $17,713.5 \text{ kg}$ ，即：

CO_2 削減量 = 混凝土 CO_2 排放量 - 木材加工 CO_2 排放量 + 木材 CO_2 固定量，則 $(13200 - 517.2) + 5030.7 = 17713\text{kg}$



照片 1 木製生態工法木格框擋土牆完成圖 (台灣案例) 南投處仁澤溫泉附近

案例 II：木製生態工程木格框節制壩 A 例與混凝土製工法 CO_2 排放量之比較(照

片 2)

A 例兩座節制壩使用圓木棒之控材、橫材與斜材共 846 支，其材積 12.53 m^3 ；而相當尺寸之混凝土製節制壩需使用混凝土量 1 號壩為 22.70 m^3 ；2 號壩為 44.30 m^3 ，合計 67 m^3 。

④ CO₂ 排放量

防腐處理木材： $66 \times 12.53 \text{ m}^3 = 827\text{kg}$

混凝土： $440 \times 67 \text{ m}^3 = 29,480\text{kg}$

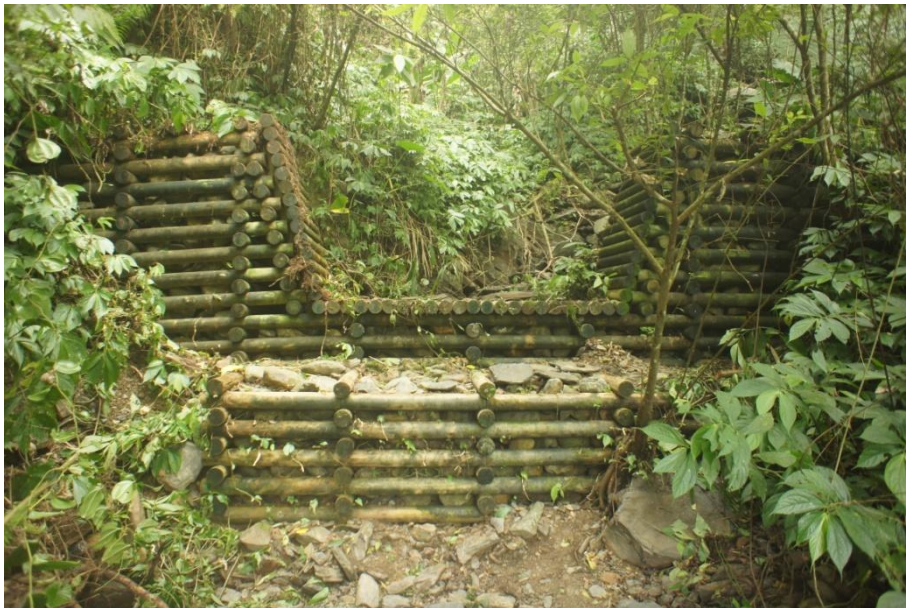
⑤ 碳 (C) 之固定量

(A) 防腐處理木材： $642 \times 12.53 \text{ m}^3 = 8,044.3\text{kg}$

(B) 混凝土： 0kg

建造節制壩工程時，如以木材 (疏伐木) 取代混凝土時，可使 CO₂ 削減量達 $36,697.3 \text{ kg}$ ，即：

$(29,480 - 827) + 8,044.3 = 36,697.3\text{kg}$



照片 2 宜專一線 1.72km 木格框節制壩完成圖

案例 III：木製生態工程木格框節制壩 B 例與混凝土製工法 CO₂ 排放量之比較(照

片 3)

B 例節制壩使用圓木棒之材積預估為 11.29 m^3 ；而相當尺寸之混凝土製擋土牆需使用混凝土量為 55.68 m^3 。

④ CO₂ 排放量

防腐處理木材： $66 \times 11.29 \text{ m}^3 = 745.14\text{kg}$

混凝土：440 × 55.68 m³ = 24,499.2kg

② 碳(C)之固定量

(A) 防腐處理木材：642×11.29m³ = 7,248.18kg

(B) 混凝土：0kg

建造擋土牆工程時，如以木材（疏伐木）取代混凝土時，可使 CO₂ 削減效果達 31002.2 kg，即：

(24,499.2 - 745.14 + 7,248.18 = 31,002.2kg)



照片 3 宜專一線 23.9km 木格框節制壩完成圖

表 1 生態工程以木格框架取代鋼筋混凝土結構 CO₂ 削減量與 CO₂ 貯存量

案例 (台灣)	木格框架 使用木材 材積 (m ³)	鋼筋混凝土結構之 體積 (m ³)	CO ₂ 排放量 (kg)	CO ₂ 固定 量 (kg)	CO ₂ 削減 量 (kg)	* (人) / 年
1、擋土牆	7.836	30	木材：517 RC：13200	5030 0	17713	55
2、節制壩	15.96	67	木材：1053 RC：29480	10246 0	38673	121
3、節制壩	11.06	55.68	木材：730 RC：24499	7100 0	30869	97
4、節制壩	3.55	12.53	木材：243 RC：5513	2279 0	7558	25
5、節制壩	4.08	16.91	木材：269 RC：7440	2619 0	9790	30

6、擋土牆	3.99	10.08	木材：263 RC：4435	2561 0	6733	21
7、木格框 駁坎	7.70	34.08	木材：508 RC：14995	4943 0	19430	61
8、節制壩	8.22	34.93	木材：542 RC：15369	5277 0	20103	63
9、節制壩	6.41	28.34	木材：423 RC：12469	4115 0	16161	51

註*：國人每人每年呼出 CO₂ 量為 320kg，換算每座生態工程所削減 CO₂ 排放量可抵上之
國人數目

五、 結語

從保育、生物多樣性原則點來看，今後天然林禁伐是一種趨勢，而環保性、永續性及再生性原則來看，今後供給人類所需生物資源-木材，勢必來自人工林。因木材資源可在永續性生產狀態下，永續供應人們之需求。為培育生長旺盛之森林，使能適當的發揮森林所具有之多方面機能，尤其生產人們所需之生物資源(木材)，有必要推動綠循環(green cycle)(栽植→撫育→利用→栽植)作業，若木材不利用，亦不實施疏伐等人為作業時，「綠循環」之平衡會被破壞，森林亦會荒廢掉。此與平常之「種稻」就必須「割稻」為相同道理。此係將人工林進行集約經營。

人工林因收穫循環期間較短，所以所生產木材所含未成熟材相對的較高，且心材化時間亦短，使其細胞之生化反應較不完全，其抽出物性質有別於天然林木材，其耐腐性、耐蟻性均較差，以檜木(日本扁柏)為例，生長千年之檜木樹木，砍伐後製造成製材品供建築使用，尚可使用千年以上，日本法隆寺(現列為世界遺產)，已歷經 1300 年，其所使用檜木(日本扁柏)木材尚有 75%為當初之材料，甚至於再經過千年，尚能保持有 50%為當初之檜木材。但人工林檜木(約 60-80 年生)則為延長，其使用年限必須要施以加壓注入防腐處理，尤其是邊材部分。從觀點來看，今後人工林木材進行加壓注入防腐處理是必要的步驟。國內木材防腐業界如能確保處理木材之品質，其市場應可預期。