

「2020 中華民國營建工程學會第十八屆營建產業永續發展研討會」
塑木複合建材使用於景觀工程之探討
-以中部地區某工程為例

*邱耀駒 (Chiu-Yuen Chu)
逢甲大學建設學院
專案管理研究生

**曾 亮 (Liang Tseng)
逢甲大學建築專業學院
副教授

***楊朝仲 (Chao-Chung Yang)
逢甲大學建設學院
專案管理研究所主任

摘要

最接近自然的建材就是木材，因全球森林資源受到人類過度地開發及砍伐，造成森林逐漸減少消失，隨著全球環保意識抬頭，塑木複合材料(Wood-Plastic Composites，簡稱 WPC)成為替代木材的首選產品。塑木複合材料主要採用廢棄木粉、農業纖維及其他植物纖維，依照比例與塑料(例如 PP、PE、PVC 等)加工而成。

本文係探討國內建材中，有關塑木複合材料使用於景觀工程實際情況為研究目的，經調查國內論文研究文獻，對於塑木類較偏重於材料組成之化學成分研究，對於塑木之運用及設計規劃應注意事項尚無深入探討。故以臺灣中部地區「臺中帝國糖廠」及「臺中大安海水浴場」之工程為案例，透過現況調查、現況使用分析等研究方法，整理發現案例 B 之塑木材料不含木纖維成分，其差異如下：(一)案例 B 吸水率 0.24%，比案例 A 吸水率 0.3%，減少約 40%吸水率。(二)案例 B 抗曲強度 492kgf/cm²，比案例 A 抗曲強度 349kgf/cm²，增加約 40%抗曲強度。故使用不同成分之塑木，將影響其吸水率、密度、抗曲強度及衝擊強度等物理機械性能。

關鍵字：塑木複合材料，景觀平台，步道，回收再利用，綠建材。

Discussion on the Use of Plastic-Wood Composite Building Materials in Landscape Engineering -Take a Project in Central Taiwan as an Example

Abstract

The closest natural building materials are the lumber, because the whole world forest resources receive the human excessively development and the felling, creates the forest to reduce vanishing gradually, gains ground along with the global environmental protection consciousness, models the wooden compound materials (Wood-Plastic Composites, is called WPC) to become the substitution lumber the first choice product. Models the wooden compound materials mainly to use abandons the lime pyrolignite, the agricultural textile fiber and other vegetable fiber, according to the proportion and the raw material for plastics (e.g. PP, PE, PVC and so on) processes bonds becomes.

This article discusses the actual situation of plastic-wood composite materials used in landscape engineering in domestic building materials for research purposes. After investigating domestic research literature, the research on plastic-wood is more focused on the chemical composition of material composition, and the use and design of plastic-wood. There is no in-depth discussion on the matters needing attention in planning. Therefore, taking the projects of "Taichung Empire Sugar Factory" and "Taichung Daan Bathing Beach" in central Taiwan as case studies, we sorted out and found that the plastic-wood material of Case B did not contain wood fiber components through research methods such as current situation investigation and current situation analysis. As follows: (1) Case B water absorption rate is 0.24%, which is 0.3% water absorption rate compared with case A, which is about 40% less water absorption rate. (2) The flexural strength of Case B is 492kgf/cm², which is about 40% more than the flexural strength of Case A at 349kgf/cm². Therefore, the use of plastic wood with different compositions will affect its physical and mechanical properties such as water absorption, density, flexural strength and impact strength.

Keywords: Wood-Plastic Composites, landscape platform, footpath, recycling, green building materials

一、緒論

本節對國內業者生產之塑木複合材料，有關研究動機與目的、研究方法與流程介紹如下：

(一) 研究動機與目的

1. 研究動機

本研究擬探討塑木複合材料(WPC)，利用塑料與木粉以及農業植物纖維為原料，經過生產加工後的塑木產品，除了減少對天然森林資源的消耗，可說是兼具回收再利用與永續環境的最佳方式。由於塑木的吸水率極低，約為原木吸水率的十二分之一，因此減少了由水份造成的腐壞因素。另外，塑木不會受蟲蟻啃食，因此可利用塑木取代天然原木製品，更能大幅減輕未來更換及保養維修的成本。再者，原木製品往往需要添加大量防腐劑以避免腐壞，加上保養維護的護木漆，若含有甲醛、塑化劑等亦不利於人體接觸使用之化學物質。塑木的加工生產，係將塑料與木纖維等經由高溫高壓融合包覆，不會使用任何防腐劑、甲醛等對人體有害的物質，因此是健康無毒的綠建材。

2. 研究目的

本文研究主要目的，在於研究國內業者生產的塑木複合材料，針對其特性以及應用的實績案例，比較不同塑木複合材料，從規劃設計、生產、加工到施工完成，對於使用者的實際體驗，其目的說明如下：

- (1) 檢視國內塑木建材使用於景觀工程之現況。
- (2) 探討塑木產業，在永續環境的理念下持續應用及發展。
- (3) 整合塑木完工後的保養維護管理，彙整相關問題的改善對策。
- (4) 比較不同塑木複合材料與其他材質產品的價值差異。
- (5) 提出規劃設計準則，如何改善應用於不同場域問題。

(二) 研究方法與流程

1. **研究方法**：首先以相關文獻分析及個案研究為基礎，接著再以材料功能分析、問卷調查及訪談為方法，蒐集塑木生產業者及使用者的意見。為達上述目的，本研究採擬用文獻分析法、個案研究法、功能分析法進行研究。
2. **研究流程**：研究流程係從塑木複合材料(如圖2、圖3所示)，於規劃設計時依據其物理特性，經文獻回顧及案例探討等層面評估，彙整為成果分析與比較說明。本文之研究作業流程(如圖1所示)。

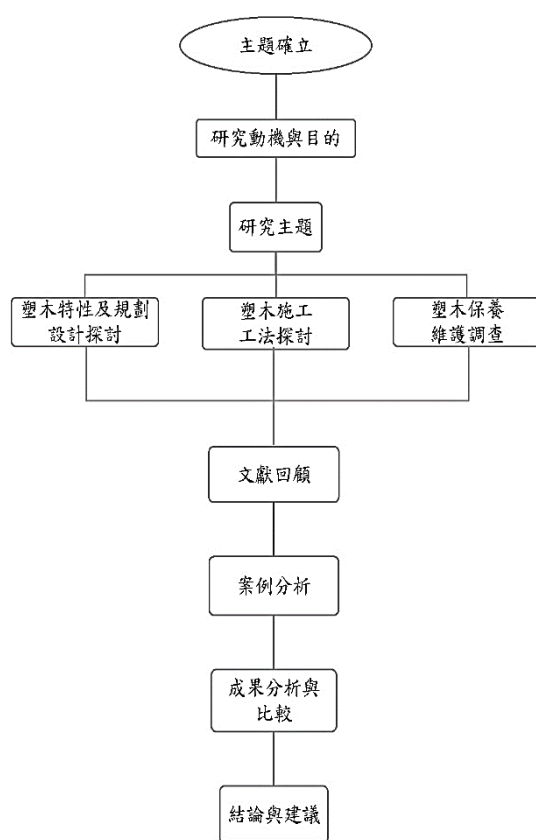


圖 1 研究流程圖

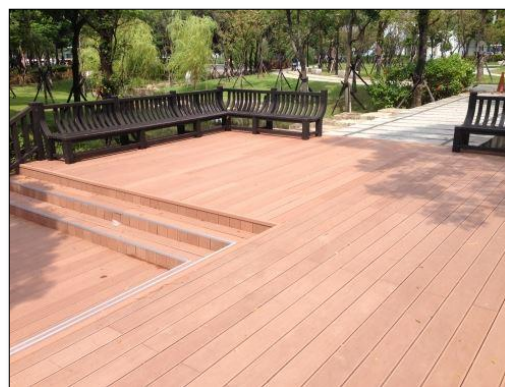


圖 2 塑木平台圖



圖 3 塑木欄杆圖

二、文獻回顧

經調查國內論文研究文獻，對於塑木類之研究較偏重於材料組成比例之化學成分研究，對於塑木建材之運用及設計規劃上應注意事項尚無深入之探討。本節主要針對塑木複合材料之塑木材質、物理特性、施工工法及維護保養，以及塑木產品之應用，分別說明如下：

(一) 塑木複合材料

1. 塑木材質：

- (1) **PP**：聚丙烯 (Polypropylene, 簡稱 PP) 是一種半結晶的熱塑性塑膠，具有較高的耐衝擊性，機械性質強韌，抗多種有機溶劑和酸鹼腐蝕。
- (2) **PE**：聚乙烯 (Polyethylene, 簡稱 PE) 是日常生活中最常用的塑膠之一，大量用於製造塑膠袋、薄膜、桶等產品，亦是現今塑膠廢物的最主要來源。
- (3) **Wood Fiber**：木纖維 (亦稱木質纖維) 通常是從樹木中提取的纖維素元素，用於製造包括紙張在內的材料。木纖維主要從硬木 (落葉樹) 和軟木 (針葉樹) 等木材碾磨過程中提取收集，也可以從使用過的紙材料中回收。
- (4) **玻纖**：玻璃纖維 (Fiberglass), 亦稱玻璃纖維強化塑膠 (Fiber-Reinforced Plastic, 簡稱 FRP) 是一種經過複合工藝而製成的複合材料。
- (5) **再生綠建材**：指利用回收材料經過再製程序所製造之建材產品，符合廢棄物減量(Reduce)、再利用(Reuse)及再循環(Recycle)等 3R 原則製成之建材。

2. 物理特性：(如表1所示)

- (1) **比重**：塑木和一般木材比較，塑木的比重要大得多，通常在 1.1 到 1.18，而一般木材比重為 0.4~0.7，即使是比重較大的硬木，比重只在 1.0 左右，所以同體積情形下塑木要重得多。
- (2) **吸水率**：吸水率是表示物體在正常大氣壓下吸水程度的物理量。
- (3) **防腐性**：腐朽、蟲蛀、白蟻是木材類建材運用過程中最嚴重的缺點之一。木材材料若處於容易腐朽、蟲蛀的條件下：濕度、適宜溫度 15~25°C、氧氣(木材內含有 5~15% 左右容積的空氣)、食物來源(木質纖維)時，木材就容易腐壞及蛀食，歷經 3~5 年就可能使強度顯著下降甚至損壞倒塌。
- (4) **翹曲**：指成型產品的表面外觀發生變形，使的產品外型無法依照設計上的外觀尺寸及形狀，如果產品的整體收縮相當均勻，那產品就不會發生變形或是翹曲的現象。

表1 塑木複合材料物性表

物性試驗項目	試驗方法	試驗結果
比重	ASTM D792	0.8-1.0
抗彎曲彈性模數 (kgf/cm ²)	ASTM D790	9088
抗彎曲強度 (kgf/cm ²)	ASTM D790	185
抗壓強度 (kgf/cm ²) (10%壓縮量時)	ASTM D695	153
吸水率(%)(23°C,24hr,重量增加率)	ASTM D570	0.8
釘著力 (kgf) (8號木工螺絲)	ASTM D1037	280
耐候性 (200小時)	ASTM G154 Cycle 1	無粉化及龜劣現象
材質判定	FTIR+DSC+TGA	HDPE+木纖維
膨脹/收縮 (mm/10°C)	/	1.02

*資料來源：吳上榜、陳春盛「台灣塑木產業永續發展探討」，P5-4。

3. 施工構法：

- (1) 工具：使用一般木工工具，如電鑽、鑽尾、圓鋸機、切斷機等。
 - (2) 切斷加工：可採用木工切斷機，鋸片齒數越少越容易裁切與排屑，裁切時可噴防銹油(WD-40)於鋸片上，避免碎屑沾粘。
 - (3) 鑽孔加工：因塑木的密度較大，故使用自攻螺釘或螺栓緊固時，應先行預鑽引孔，以避免塑木龜裂，預鑽孔的直徑應小於螺釘直徑的 3/4。
 - (4) 毛邊修理：裁切斷面產生毛邊可用細砂紙磨除，或用刀片剔除。
 - (5) 基座橫樑：可依據現況調整，例如地板板材 2~2.5 公分，橫樑間距建議為 30~40 公分。塑木具有輕微的熱漲冷縮的特點，安裝時型材之間必須留有適當的間隙，該間隙需考量當地環境氣候及氣溫預留與施工。
4. 維護保養：使用清水清洗或木質地板的中性清潔劑清潔即可，不可使用具腐蝕性清潔劑(如含有鹽酸和氯化氫成分)、漂白水及其他具強酸、強鹼之溶劑清洗。

(二) 塑木之應用

塑木複合材應用於景觀工程之格柵、平台、欄杆、棧道、花架、街道傢俱等，皆是目前普遍採用之情形。塑木具備低吸水性、不發黴長斑、不生蟲腐爛，可長期處於戶外各種惡劣環境，尤其處在潮濕、酸鹼度高的海邊、湖泊等特殊場所，更能發揮其特性，更適合臺灣高溫潮濕的天然環境，降低維修保固養護之成本，加上塑木材料可以重覆回收再利用，是非常好的綠色建材。以下說明其應用範圍：

1. 室外用途：如用於鋪設木棧道、扶手欄杆、景觀平台，以及做成室外座椅、花圃、垃圾桶、花架、涼亭、圍籬設施等(如圖4、圖5)。
2. 室內用途：如用於樓梯扶手、門板、地板、隔間裝修材料等。
3. 工業應用：高階的塑木複合材，具密度高、熱膨脹係數低等優點，可應用於風力發電機槳葉、鐵軌枕木、船上裝修材料等。一般工業產品如棧板、音箱、雨傘柄、高跟鞋底、無金屬結合椅子、傢俱製品等。
4. 其他用途：如體育設備、高速公路隔音牆、隔熱阻燃板、建築模板等。



圖 4 塑木座椅圖



圖 5 塑木花架圖

*資料來源：禾塑實業有限公司

三、案例介紹

本文研究以臺灣中部地區之工程案例 A「臺中帝國糖廠」及案例 B「臺中大安海水浴場」之景觀工程為探討範圍。

(一) 案例A：臺中帝國糖廠

臺中帝國糖廠（舊稱臺中製糖所）是一座臺灣糖業公司位於臺中市東區的製糖工廠土地開發案。開發案總面積約 22 公頃，2019 年年底建築修復完成，並正名為帝國製糖廠臺中營業所，與臺中帝國糖廠湖濱公園部分區域一同開放。

1. 設計圖說(如圖6所示)

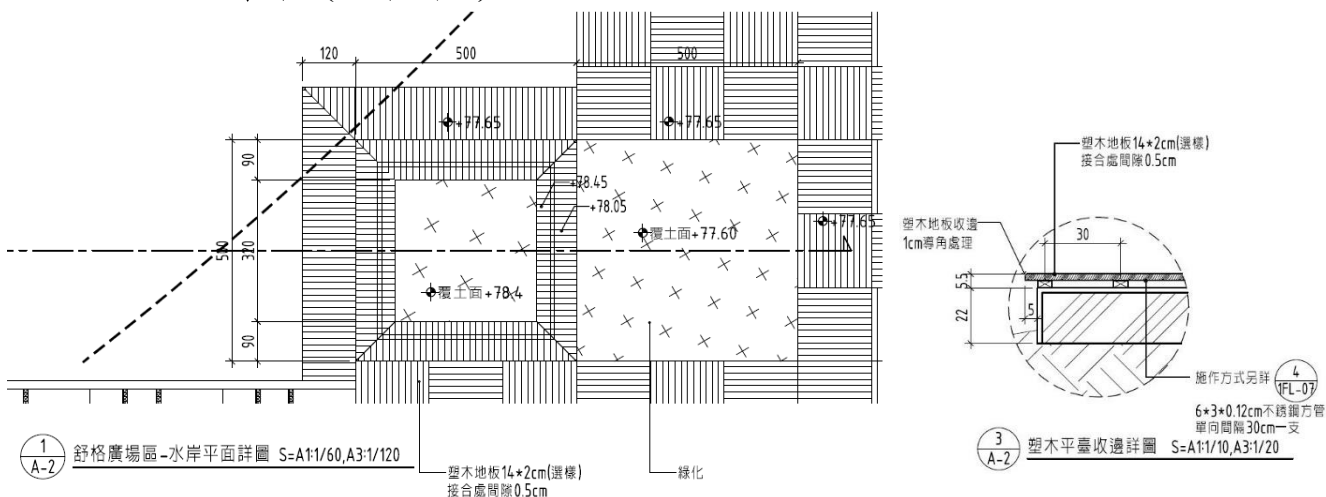


圖 6 塑木平台施工示意圖

2. 施工過程及完工照片(如圖7、圖8所示)



圖 7 塑木平台施工中照片

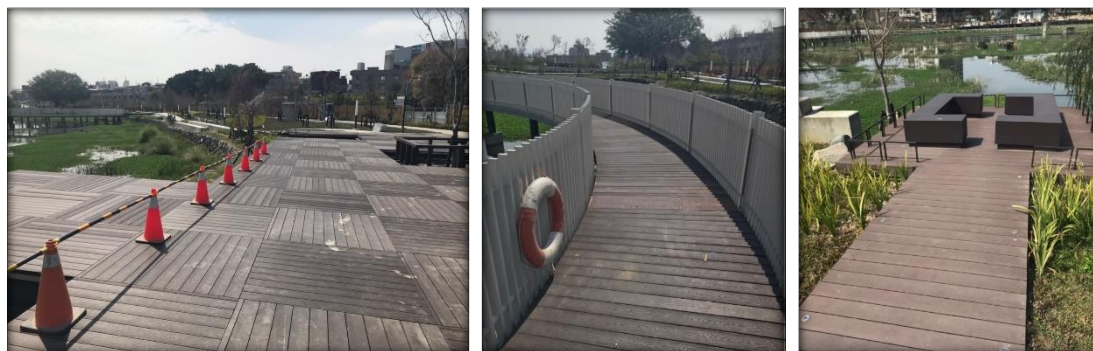
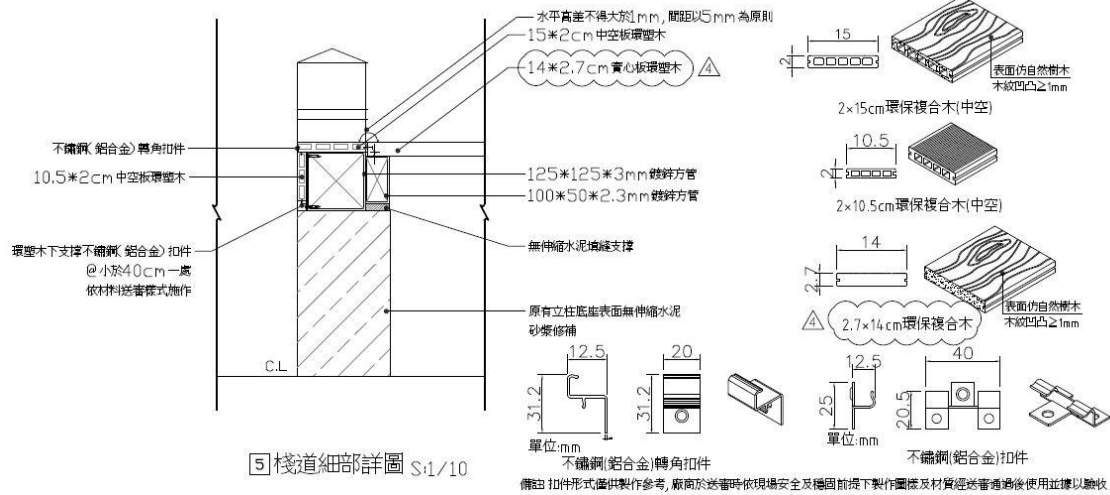


圖 8 塑木平台、棧道完工照片

(二) 案例B：臺中大安海水浴場

本案基地位於臺中市大安區「大安濱海樂園」，佔地 17 公頃，目前開放大安濱海樂園可從事衝浪及風箏衝浪活動，提供民眾就近體驗衝浪、風箏衝浪及沙灘戲水樂趣，提供中部地區民眾更多水域休閒遊憩活動選擇。

1. 設計圖說(如圖9所示)



2. 施工過程及完工照片(如圖10所示)



圖 10 塑木平台完工照片

四、成果分析與比較

本節針對塑木複合材料成果分析說明，以及塑木材質、密度、吸水率、抗曲強度及衝擊強度、耐候性、單價、化學性之成果比較，分別說明如下：

(一) 成果分析：國內以PE、PP為基材生產之塑木產品日趨穩定，其中大部份產品仍應用於棧道及地板。國內從現在添加的木粉、竹屑與PVC、PE回收塑膠擠出成型，逐漸朝利用天然長纖植物與PP、PVC回收塑料，以射出成型方向研發生產。本文研究之案例針對塑木複合材料實際之性能特點做分析如下：

1. 添加木粉、長纖植物及玻纖材料，將影響塑木複合材料之物理機械性能。
2. 塑木複合材料雖然有較高的強度及韌性，但不具備有木材的天然剛性，因此不能作為主要結構材料，仍須與型鋼建材搭配施作跨距較大之結構。

(二)成果比較：隨著時間的推移，塑木複合材料的品質已經得到技術改善，以下針對二案例之塑木產品的應用對比分析說明(如表2所示)。

1. 材質：二案例塑木皆含PE+PP材料成分，僅案例A之塑木添加木纖維成分，因含有天然木纖維成分，表面外觀質感與實木非常相似。
2. 密度：添加木纖維材料之塑木，其密度比未添加之塑木者大。
3. 吸水率：未添加木纖維材料之塑木，吸水率比未添加之塑木者小。
4. 抗曲強度及衝擊強度：成分只有PE+PP之塑木材料，其抵抗彎曲及衝擊強度，優於添加木纖維材料之塑木。
5. 耐候性：二案經耐候性試驗，皆無粉化及龜劣現象，所以塑木複合材對抗紫外線之破壞，其效果遠優於天然實木及南方松。
6. 單價：分析二案例塑木平台造價(不含下方RC及鋼骨結構)，案例A造價約8,500元/m²，案例B造價約9,500元/m²。因案例B設置於海邊，施作塑木成本較高，雖然初期的建置成本較高於普通的天然木材，但塑木耐久性長且不必使用護木漆維護，長期維護成本較木材低，減輕未來維修及更換成本。
7. 化學性：探討案例使用之塑木，皆不含防腐劑且符合低甲醛含量，以及不含任何有害健康的重金屬物質，可降低化學合成物質帶給居住環境的危害。

表2 研究案例塑木複合材比較表

性能特點	指標	案例A 臺中帝國糖廠	案例B 臺中大安海水浴場
(1)材質	/	PP+PE+木纖維	PE+PP
(2)密度 (g/cm ³) (23°C)	≥1.2	1.35	1.21
(3)吸水率 (%)	≤0.3	0.3	0.24
(4)吸水率長度變化率 (%)	≤0.03	/	0.03
(5)抗曲強度 (kgf/cm ²)	≥300	349	492
(6)抗曲彈性係數 (kgf/cm ²)	≥45000	/	45604
(7)釘著力 (kgf)	≥300	/	603
(8)耐磨耗性(CS-10,1000g,1000轉)	≤12.4	/	10.1
(9)衝擊強度 (kJ/cm ²)	≥0.5	3.2	3.3
(10)防焰性試驗	/	防焰一級	防焰一級
(11)耐候性 (200小時)	/	無粉化及龜劣現象	無粉化及龜劣現象
(12)單價 (元/m ²)	/	8,500元/m ² (較低)	9,500元/m ² (較高)
(13)有害物質溶出量	/	未檢測出	未檢測出

五、結論與建議

塑木複合材料以木材廢料、竹材廢料、農業植物纖維與回收塑膠製成，除能夠降低木材的使用量，亦能減少天然資源的消耗，以及降低二氧化碳的排放量，符合世界各國積極提倡地球永續經營、天然資源回收再利用的趨勢。塑木複合材料透過回收再生，改變人們對木製產品的使用觀念，是將來在臺灣及全世界可以持續開發的環保產品，放眼其市場仍是潛力無窮。

本節針對臺灣中部地區已施作完成之景觀工程為實際探討案例，進行緒論、文獻回顧、案例介紹、成果分析與比較等內容，結論與建議說明如下：

(一) **結論**：探討塑木複合材料從規劃設計到施工完成之使用狀況，進而改善消費者的認知與行為，減少對天然木材的依存及消耗，加上塑木可回收循環再利用，不會造成環境污染，能有效降低對社會危害，減輕人類對天然資源的消耗。以下針對二案件之塑木主要特性上的差異說明如下：

1. 塑木複合材料因有塑料、木粉、植物纖維等各種組合成分，其特性會因氣候及環境產生熱漲冷縮、翹曲及變形，因此在規劃設計初期須依照各塑木之物理性質，因應環境而使用不同成分配比之塑木，如案例B塑木材料不含木纖維成分，其吸水率0.24%，比案例A吸水率0.3%，減少約40%吸水率。
2. 塑木複合材料因內含塑料PE及PP，若再添加木纖維之材料，將影響其密度、抗曲強度及衝擊強度等物理機械性能，故應注意其添加木纖維混合成分及比例，如案例B塑木材料不含木纖維成分，其抗曲強度492kgf/cm²，比案例A抗曲強度349kgf/cm²，增加約40%抗曲強度。
3. 正確的施工管理可以避免塑木損害情形發生，並延長使用年限。其中應一併考量材料儲存場的進出路線順暢，避免碰撞損傷，加上完善的管理措施、儲存場的防水與排水設施、制定材料品質試驗之權責及相關事宜，以確保工程使用之各項塑木材料及組件，均能達到規定品質要求。

(二) **建議**：塑木複合材料未來可充分應用在建築材料、戶外設施、物流運輸、交通設施、居家用品、工業產品等。塑木產品本身不需要任何化學黏著劑，不含防腐劑、甲醛、TVOC等任何危害健康的有毒物質，加上生產過程低污染排放，而且可以回收再利用，不產生二次污染，是非常好的綠色建材，經探討二案例後歸納建議如下說明：

1. **材料及施工規範**：塑木相較於天然木材，在技術上是一項革命性產品，倘若工人未依標準程序及規範施工，導致施工品質受損，衍生塑木產品售後問題不斷，將導致消費者對塑木品質產生疑慮及不信任。未來應該由政府部門出面組織協調相關產品業者，制訂國內塑木生產標準(如CNS)、通過公正認證單位或實驗室(經過國家認證)之測試，以制定國內合成塑膠複合材料工程之材料及施工規範，讓生產業者有製造依循，施工單位有遵循規範，消費者購買驗收有參考標準，以減少不必要的爭議。
2. **保固期限及維護管理**：目前國內公司針對塑木複合材料，在非人為使用不良或保養不當之前提，於正常使用狀況下提供3~5年保固，也有業者承諾保用15年，但前提是塑木結構需完好，且無外力因素造成破壞，建議未來應該針對塑木組合成分，制定其合理對應之保固期限，避免造成消費者對保固責任認知上的差異。並且在塑木完工後及保固期內，透過業者對塑木保養及使用維護管理的推廣，促進塑木有更多研究發展，進而減少消費者對塑木複合材不適用之誤解。

參考文獻

1. 洪紫萍、王貴公，「生態材料導論」，五南圖書出版公司，p5~7，臺北，2004。
2. 劉毅弘、關家倫、陳明德、陳文卿、呂子鑄、陳彥竹，「綠色環保木塑複合材資源化技術探討」，經濟部工業局，臺北，2006。
3. 吳上榜、陳春盛，「台灣塑木產業永續發展探討」，台灣環境資源永續發展之研討會，台北，2007。
4. 吳上榜，「台灣綠色材料產業發展策略探討～以塑木為例」，碩士論文，清雲科技大學經營管理研究所，桃園市，2007。
5. 吳志鴻，「淺談木材塑膠複合材之開發與利用」，林業研究專訊Vol.16 No.6，頁33~35，2009。
6. 徐啟賢、郭文華，「塑木複合材料的發展趨勢及產品應用介紹」，期刊論文，國家石材雜誌 95期，頁4-9，2009。
7. 紀荐豪，「台灣塑木複合材料產業經營策略探討」，碩士論文，東海大學管理碩士在職專班，臺中市，2012。
8. 楊子賢，「以回收木粉和聚丙烯製備木材塑膠再生複合材之性質評估」，碩士論文，中興大學森林學研究所，臺中市，2012。
9. 黃依婷，「以生命週期評估探討塑木低碳應用」，碩士論文，嘉南藥理大學環境工程與科學系，臺南市，2014。
10. 賴俊諺，「內具相變化材料之戶外型塑木鋪面其熱傳特性之實驗研究」，碩士論文，建國科技大學機械工程系暨製造科技研究所，彰化縣，2018。
11. 史天宏、朱禮智、李笑航、李雪慧，「木塑複合材料耐老化性能的研究進展」，中國期刊論文，林業機械與木工設備 2019年04期，頁7-10。
12. 唐海文，「木塑複合材料的生產要點和發展研究」，中國期刊論文，中國建材科技 2020年04期，頁45~46+54。

姓名	服務單位	職稱	地址	電話	E-mail	是否出席?
*邱耀駒	逢甲大學建設學院 專案管理在職專班	研究生	台中市南屯區東興西街9號 8樓之22	0980800928	popo928tw@gmail.com	是
曾亮	逢甲大學建築專業 學院	副教授	台中市西屯區文華路100號	0931775801	ltseng@fcu.edu.tw	是
楊朝仲	逢甲大學建設學院 專案管理研究所	主任	台中市西屯區文華路100號	0939504299	ccy@fcu.edu.tw	否