

熱浸鍍鋅鋼結構在花卉博覽會之應用

蔡明達/臺鍍科技股限公司副總經理

一、前言

鋼構建築具有快速、耐震、造型、環保等特性，加上熱浸鍍鋅具有耐蝕保護鋼鐵生銹之優點，使高耗能之鋼鐵得以長期使用免以重複維護，所以熱浸鍍鋅鋼構建築可說就是綠建築。而 2010 年 11 月 6 日~2011 年 4 月 25 日舉辦的「2010 臺北國際花卉博覽會」，是希望人類追求自然與文明的和諧共生，創造未來無盡的可能性。因此，花卉博覽會中夢想館、生活館及未來館等採用熱浸鍍鋅鋼結構符合三大設計理念之一”達成減碳排放及 3R(Reduce, Reuse, Recycle) 之環保目標”。

二、熱浸鍍鋅鋼結構

鋼結構建築本身就較鋼筋混凝土結構環保，根據成功大學建築系林憲德教授研究分析指出，以 5 棟鋼結構建築物建造過程來統計，其二氧化碳排放量比鋼筋混凝土及鋼骨鋼筋混凝土(SRC)構造少，約為其之 70%，這代表鋼構造較 RC 構造更為環保，更能減少使用建材所產生的二氧化碳。但是，鋼結構有腐蝕生銹的問題可能會增加日後維修之成本及污染，假使可利用熱浸鍍鋅對環境衝擊之減輕及污染之減少特性，則鋼結構建築日後在綠建築標章之認證申請可說是如虎添翼。

鋼結構之生產來源不外乎煉鋼業之鋼板及型鋼類，而煉鋼業可分為鐵礦砂為原料之高爐、氧氣轉爐的一貫作業煉鋼廠(例如中鋼)，和以廢料為主要原料的電爐煉鋼廠(如東和鋼鐵)兩類型。前者以煤為動力，後者以電力為動力。根據『中鋼能量消耗計算與分析』，中鋼每生產一公噸，須耗熱能(以煤為主) 6,500,000~8,000,000 千卡路里，而電爐煉鋼，每公噸鋼品也需要 23,000,000 千卡路里。若計算鋼鐵業用電量則每月約 2 億 6,000 萬度，佔國內生產事業用電之 8.87%，其中煉鋼業就佔 69.87%。如此龐大能源產生的鋼結構若不加以保護，我們未來可能痛失地球資源。而熱浸鍍鋅正是可以保護鋼結構的重要方法。

熱浸鍍鋅足以長時間保護鋼結構，使鋼結構免於短時間內重複維修保養。表 1 為 CNS 13401 標準對大氣腐蝕性分類定義碳鋼與鋅在各種環境下之腐蝕速率，其中可顯示鋅穩定態之耐蝕能力約是碳鋼的 2~9 倍；而若以第一年之腐蝕速率比較更高達 13~24 倍。熱浸鍍鋅之所以可以較鋼鐵之腐蝕速率低，其原因是熱浸鍍鋅於大氣中，表面在不同時間下與空氣中氧、水及二氧化碳逐漸氧化形成氧化鋅

(ZnO)、氫氧化鋅(Zn(OH)₂)、碳酸鋅(ZnCO₃)腐蝕生成物，成為緻密的薄膜保護鋅及底材，所以熱浸鍍鋅對於鋼鐵有強力之保護能力。

正因為熱浸鍍鋅足以長時間保護鋼結構免以重複保養，所以熱浸鍍鋅具有長期經濟效益及優異之週期壽命，所以相較於其他防蝕方法更具環保，更不會造成環境污染，根據芬蘭VTT Technical Research機構研究結果顯示，以一熱浸鍍鋅處理平台架經60年後之週期壽命(Life-cycle)為例，其包含鋼鐵製作及期間維修之所需要能源為 23,700M 焦耳，為其他處理方法之 36.6%。然而 23,700M 焦耳中又只有 16%約 3,792M 焦耳是因熱浸鍍鋅所產生的，其餘則為鋼結構製作所消耗之能源。至於對環境衝擊很大之二氧化碳、二氧化硫及揮發性氣體排放，其在 60 年期間之排放量同樣是較少的，如表 2。

表1 CNS 13401碳鋼與鋅之穩定態(γ_{lin})腐蝕速率

腐蝕環境分類	腐蝕速率	
	碳鋼(μ m/a)	鋅(μ m/a)
C1	$\gamma_{lin} \leq 0.1$	$\gamma_{lin} \leq 0.05$
C2	$0.1 < \gamma_{lin} \leq 1.5$	$0.05 < \gamma_{lin} \leq 0.5$
C3	$1.5 < \gamma_{lin} \leq 6$	$0.5 < \gamma_{lin} \leq 2$
C4	$6 < \gamma_{lin} \leq 20$	$2 < \gamma_{lin} \leq 4$
C5	$20 < \gamma_{lin} \leq 90$	$4 < \gamma_{lin} \leq 10$

註：腐蝕速率單位 μ m/a 為毫米/年。

表 2 鋼結構防蝕方法之比較

	熱浸鍍鋅	油漆
Total energy	23,700 M 焦耳	53,500 M 焦耳
二氧化碳(CO ₂)	754 kg	1,830 kg
二氧化硫(SO ₂)	1,660 g	3,650 g
揮發性氣體(VOCs)	4,900 g	46,100 g

資料來源：芬蘭 VTT Building & Transport

三、台北花卉博覽會之熱浸鍍鋅應用

熱浸鍍鋅應用在 2010 年台北國際花卉博覽會之工程，主要在新生三館「夢想館」、「未來館」、「生活館」及銜接各園區之「花之隧道」工程與廣告 T 霸，四個工程總鋼結構量約 1600 公噸，如圖一~圖十四。

2010 年台北國際花卉博覽會，由台北市政府工務局新工處於台北市新生公園內新建地上 2 層地下 1 層之熱浸鍍鋅鋼構造建築物 2 棟展館：(1)夢想館：建築面積 2,522.64m²、總樓地板面積 3,869.94 m²；夢想館為多功能展館，室內運用電子科技，透過最前衛的感應技術與互動科技，讓參觀者親身體驗花開、花落與花舞、蝶飛的聲控與觸控感受。(2)未來、生活館：建築面積 6,185.74 m²、總樓地板面積 10,676.17 m²；未來館為高科技智慧型節能溫室，搭配建築物所裝設的溫濕度及光度等調節控溫系統，利用自然採光、自然通風、自然能源，室內以綠建築及中央監控方式呈現園藝科技，展現最新花卉品種，描繪未來大自然新風貌；生活館為展示及會議中心，室內以園藝與數位科技結合運用於日常生活中，讓參觀者體會人類與大自然和諧相處之道。

耗資十一億元打造新生三館「夢想館」、「未來館」、「生活館」，係由九典聯合建築師事務所規劃設計與監造，由福清營造股份有限公司取得營建工程，而建築物之鋼構工程則由新峰機械工業股份有限公司及奇勇鋼鐵工程股份有限公司負責屋頂鋼架施工。三個展館的設置，有彎曲曲線，外型宛如蝴蝶的蛹，而屋頂結合空氣、土、水及太陽，三個館全部透水，採雨水回收再利用作為澆灌植物用，另外未來館及生活館的屋頂，還有採用北京奧運水立方的 ETFE 輕薄透光的薄膜屋頂，而三個展館除了符合綠建築評估指標，屋頂的覆土植栽，也可以讓展館室內的溫度降 4-6 度，更符合節能的概念。

夢想館、未來館及生活館以綠化、節能減碳為目標，大量使用再生能源，全部鋼結構採用熱浸鍍鋅防蝕處理，然後依照法規再噴塗防火漆，其噴塗系統如表 3 所示。新生三館建物鋼結構總重量約 1500 公噸，屋頂鋼架約 100 公噸。三館的施工設計圖已獲綠建築「鑽石級」證書，建物完工後將進一步申請綠建築標章。

表 3 新生三館鋼結構防蝕塗裝系統

	種類	膜厚(μ m)
1	熱浸鍍鋅	85
2	合金底漆	25
3	防火底漆	75
4	防火漆	500

此外，另一熱浸鍍鋅鋼結構工程為花之隧道。花之隧道是連接 3 大公園區的重要步道，連接美術公園區及新生公園區，並由新生公園區至大佳河濱公園區。

花之隧道，其中之「光影森活」係由美術公園區通往新生公園區，採樹狀架構之花廊結合藤蔓及花球，使花廊在太陽照射角度下饒富光影變化及趣味性，並與兩側喬木、灌木、草坪及繽紛的草花相互輝映。總工程費約 5300 萬元花之隧道工程，由台北市政府工務局公園路燈管理處發包，大凡工程顧問有限公司負責設規劃計監造，營建工程則由育晟營造有限公司取得，鋼結構工程則由新時代鋼架股份有限公司施工，其鋼結構防蝕處理之規定如表 4。

表 4 花之隧道鋼結構防蝕之規定

	種類	膜厚(μ m)
1	熱浸鍍鋅	85
2	氟碳烤漆	35



圖一 未來館鋼結構吊裝



圖二 未來館屋頂鋼架熱浸鍍鋅完成



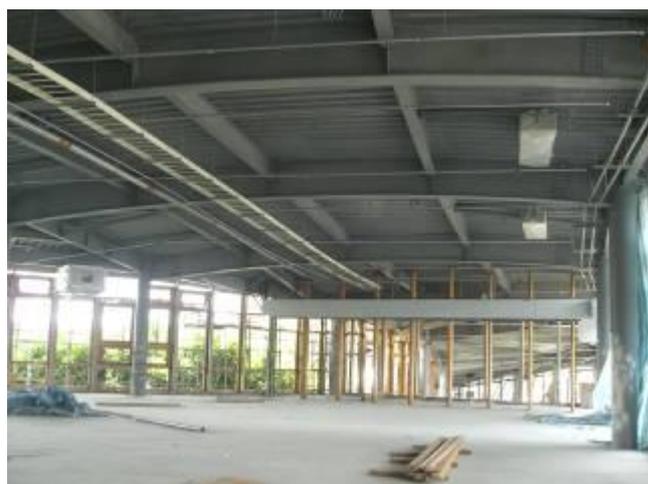
圖三 未來館屋頂鋼結構吊裝



圖四 未來館鋼架完成



圖五 館內裝潢，木材鑲入 H 型鋼



圖六 館內鋼架完成



圖七 ETFE 薄膜屋頂完成



圖八 夢想館全景



圖九 花之隧道鋼結構假安裝



圖十 花之隧道鋼結構熱浸鍍鋅完成



圖十一 鋼結構氟碳烤漆



圖十二 花之隧道鋼結構吊裝



圖十三 花之隧道完成



圖十四 熱浸鍍鋅 T 霸

四、熱浸鍍鋅在國外溫室案例

熱浸鍍鋅應用在花博或溫室之案例中，在台北國際花卉博會並非第一次。由於在溫室中有高的濕度與水氣容易對鋼結構造成生鏽，所以對鋼結構之防蝕是不可輕忽的。就因為熱浸鍍鋅對鋼結構有強的防蝕能力，所以在國外早將熱浸鍍鋅運用在溫室方面，以下將簡單介紹三個英國及日本之案例。

1. 英國 CORNWALL 生物展示館

伊甸園計劃不僅在英國已經引起大眾的想像力，而且在歐洲和世界其他地區也一樣。而英國伊甸園計畫是一個生物多樣性的展示，將廢棄的粘土礦坑轉變成最大的植物世界，並儘可能以最輕、最生態的方式建造而成。

該建築佔地 15 公頃（35 個足球場大），足以涵括世界各地的植物以促進環境的認識和理解。該建築包括兩個區域，西區包含赤道、熱帶雨林氣候區及東區為溫暖地中海氣候區的動物群。每個區域由四個相互聯繫的巢狀圓頂連結，建築物直徑從 37 至 124 公尺、高度達 40 米高，如圖十五。該建築物之支撐結構是極輕的，並經熱浸鍍鋅處理以提供防蝕的最佳解決方法。此熱浸鍍鋅鋼結構是兩層、球面彎曲的，為 4000 接頭和超過 11,000 根鋼管之 3D 空間桁架。頂部或外部，形成了一個六角形。

2. 東京都夢之島熱帶植物館

夢之島熱帶植物館，是由大型溫室、影視廳、展示室等所組成。其中大型溫室是一棟高 28 米的縱向切開碗狀的玻璃屋頂。溫室內有 127 種、4280 株植物，有一個小瀑布和池塘，可以盡情享受熱帶植物。

該大型溫室是由鑽石型桁架工法，以數種種類的鋼管支持外側玻璃組裝而成的。由於溫室內濕度高，為了防止鋼管生鏽而所有鋼管採用熱浸鍍鋅。而且溫室內暖氣配管和散熱器也都採用熱浸鍍鋅，如圖十六。



圖十五 英國 CORNWALL 生物展示館



圖十六 東京都夢之島熱帶植物館

3.日本大阪咲くやこの花館

1990年在大阪舉行的“國際花與綠博覽會”，目的是創造一個邁向21世紀的繁榮社會，是個盛大的國際園藝博覽會。會場位於大阪“鶴見綠地”佔地約140萬 m^2 ，其中有一極受歡迎的日本最大的冷、溫室展覽館，為“咲くやこの花館”。展覽館館內採用大量圓鋼管結構，鋼材都使用熱浸鍍鋅，這些與世界珍貴、鮮豔的花朵和綠色相調合，與精采的展覽館相呼應，如圖十七。



圖十七 日本大阪咲くやこの花館

五、致謝

感謝新時代鋼架股份有限公司、奇勇鋼鐵工程股份有限公司、尚燁工業股份有限公司及新峰機械工業股份有限公司提供相關照片及資訊。

六、參考文獻

1. 林憲德，「以鋼構造節能減碳推廣鋼構造建設才是台灣永續發展的投資」，鋼結構會刊 36 期，2009
2. 謝明瑞，「台灣鋼鐵業的發展」，國政研究報告，2001
3. 經部標準檢驗局，「CNS 13401 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類」，1994
4. American Galvanizers Association，「Galvanizing Insights」 Vol.8， Issue 2， 2008
5. Galvanizers Association，「GALVANIZING ARCHITECTURE」
6. 日本鉛亞千需要研究會，「鉛と亞鉛」 Vol.148， 1989
7. 日本鉛亞千需要研究會，「鉛と亞鉛」 Vol.156， 1990