新建公園之綠營建研究

邱俊傑[1], 郭來松[2]

[1]健行科技大學土木工程系（空間資訊與防災科技）研究所碩士班, [2]健行科技大學土木工程系副教授

摘要

全台灣有超過4,000座公園，以公園綠營建為主的工程較少被提及，更少的是雖台灣社會對原住民族文化的重視與關注不斷提高，尚未有一座以原住民族為主題，可以有效展現原住民族獨特的文化特色且兼具綠能永續的公園。本研究規劃一座以綠營建建造的公園，藉由分析選用合宜的材料與其貢獻於碳排量的影響，能為未來工程規劃符合減碳與永續的目標扮演重要角色。

透過利用輕質骨材混泥土（減少約20%的碳排放量），使用添加40%焚化底渣之高壓磚（減少約33%的碳排量），維持或植栽相思樹具有較高效率的碳排量，總計整體將降低20-30%碳排量。此外，再新建工程裡，融入民眾參與，也能夠讓他們更加了解公園建設的過程，從而更加珍惜和愛護這座公園。整體而言，公園不僅美觀，更加環保，也更能深入了解不同族群的文化。結合本研究觀察的工程設計與施工工法，顯示有減碳效果。藉此，希望能為未來工程規劃，提供一個可行且符合減碳與永續的目標的工程範例。

關鍵詞：綠營建公園、生態保育、原民文化

一、前言

傳統公園建置關注地點和用途外，設計設施，管理與對周邊環境甚至社會是否產生正面影響。自1988年第一屆國際材料科學研究會中，首提出綠色建材概念，並以『綠色』強調永續發展的貢獻（內政部, 106）。近年來，對綠建材的研究漸增，並發現導入綠能概念工程，有減碳效果(Nowak & Heisler, 2010)。根據統計，全台灣有超過4,000座公園，其中包括國家公園、郊野公園、都市公園、社區公園等不同類型的公園，且特地以公園綠營建為主的工程較少被提及。以綠營建建造的公園是否能在減碳與永續的目標扮演重要角色，值得近一步研究。

綠營建公園相較於傳統公園有許多需注意的要件：(1)節能和水資源管理，(2)採用友善環境的建材，(3)公園需兼具生態保護，與(4)提高建築的可持續性和經濟效益（李彥頤, 100）。工程規劃中，建材是不可或缺的要素，透過選用綠色建築材料，除了可以降低建築物對環境的影響，也有降低能源和水的消耗，減少廢物和溫室氣體排放的功能。因此，研究規劃一座以綠營建建造的公園，藉由分析選用合宜的材料與其貢獻於碳排量的影響，能為未來工程規劃符合減碳與永續的目標扮演重要角色。

台灣的公園建設，均依照地區，主題，應用等目的規劃與施作，其中有融入文化主題特色的社區公園較少見。原住民族群分布地區幾乎在台灣的每一個縣市都有涵蓋，從1987年起，台灣政府陸續推出了一系列原住民族保障政策，對其傳統文化及藝術表現形式，原住民族文化逐漸受到重視，亦為台灣重要的文化資產。因此，在公共建設上，以尊重原住民族的文化特色與生活習慣，將其納入規劃與設計中，已成為各縣市政府建設理念的重要議題。除了文化特色外，原住民族文化的另一重要元素是以自然為基底的生活方式。未來，如能將文化結合綠能建築並加入植栽，打造一個生態友善的公園環境，除了讓人們更能體驗到原住民族與自然共存的生活方式，也不失為一個維護原住民文化，並融入地球村減碳概念的創新思維。

根據行政院原住民族委員會公布的2020年「原住民族人口統計」資料，桃園市原住民人口為5,323人，占桃園市總人口的0.3%。（原住民族委員會, 2023)桃園市原住民主要居住在觀音區、復興區和大溪區等地。由於目前尚未有結合文化主題與綠建築的公園建設研究，因此，本計畫將分析新建一座原住民族主題公園，透過對公園建設及運作的深入探討，並透過分析此規劃與成果，探討是否能達成保護環境的同時減少對地球的負擔，以實現從而實現綠色、可持續和環保的目標。

二、文獻回顧

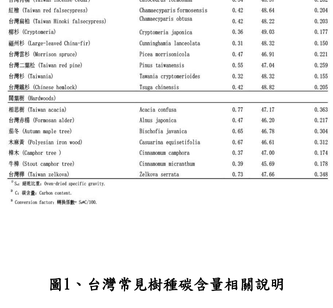
綠營建是一種建築設計和施工的概念，其目標是在設計、施工、運營和拆除的全過程中，最大化地減少對環境的負面影響，同時創造一個健康、高效和可持續的建築。透過節能、節水、減少污染、資源循環利用、環境保護等原則，使用可再生能源或綠色建材，是常見可以降低對環境負面影響的方法。

在公園建設中，綠營建也得到了越來越多的應用，透過打造一個生態友好的公園，提高公園的環境質量和生態價值，讓人們在健康、舒適和美麗的環境中享受大自然的美好。根據研究，台灣常見24造林樹種之絕乾比重、碳含量百分比及轉換係數(圖1)，其中，相思樹的碳轉換係數高 （林裕仁, 97)（行政院農業委員會, 97)，可以在碳排放減少方面扮演重要的角色。

根據經濟部能源局「長期電力負載預測電源開發規劃報告」指出，每節省1度電力，就可以減少約0.612公斤的二氧化碳排放（經濟部能源局, 2015)。因此，施工過程採用節能減碳燈具，能夠大幅降低能源消耗，減少碳排放。

輕質骨材，一般稱為輕質骨材混泥土（Lightweight Aggregate Concrete，簡稱LWAC）使用輕質骨料作為代替傳統石材、沙子等重質骨料，因此其生產過程中減少了對天然資源的需求，且其材料密度較低，所需的能源和排放量較少，因此降低建築物的整體能耗。另外，其結構更緊密且耐久性和抗震性能更好，可以延長建築物的使用壽命，降低維修成本和浪費。另外環保再生材料，如焚化底渣再生粒料，通常可再利用為道路級配粒料底層及基層、地基填築及路堤填築控制性低強度回填材料、水泥混泥土、瀝青混泥土、磚品及水泥生料等用途（環保署, 111）。

綜合上述，融入綠營建打造一座符合原住民族文化特色的、生態友善的、文化多元性的原住民族主題公園，並提供人們一個深入了解與體驗原住民族文化的場所，本研究將探討一個以綠營建概念佔地約600坪的原住民族主題公園。此新建公園位於大溪區仁善里，雖然面積不大，但是卻是一個小而美、小而巧的設計。除了周圍有社區大樓外，更位於國道三號北二高「埔頂隧道」上方。於此研究中，將進一步分析，因考慮施工重量，兼顧綠能材質與節能減碳工法，雖增加設計與施工的困難度，但卻創造環境永續的效益。



商品名 (Common name)	學　名 (Species name)	S_v	$C^{(b)}$	Conversion factor[a]
針葉類 (Softwoods)				
台灣肖柏 (Taiwan incense-cedar)	Calocedrus formosana	0.54	48.57	0.262
紅檜 (Taiwan red falsecypress)	Chamecyparis formosensis	0.42	48.64	0.204
台灣扁柏 (Taiwan Hinoki falsecypress)	Chamecyparis obtusa	0.42	48.22	0.203
柳杉 (Cryptomeria)	Cryptomeria japonica	0.36	49.03	0.177
福州杉 (Large-leaved China-fir)	Cunninghamia lanceolata	0.31	48.32	0.150
台灣雲杉 (Morrison spruce)	Picea morrisonicola	0.47	46.91	0.221
台灣二葉松 (Taiwan red pine)	Pinus taiwanensis	0.55	47.04	0.259
台灣杉 (Taiwania)	Taiwania cryptomerioides	0.32	48.32	0.155
台灣鐵杉 (Chinese hemlock)	Tsuga chinensis	0.42	48.82	0.205
闊葉類 (Hardwoods)				
相思樹 (Taiwan acacia)	Acacia confusa	0.77	47.17	0.363
台灣赤楊 (Formosan alder)	Alnus japonica	0.47	46.20	0.217
楓香 (Autumn maple tree)	Bischofia javanica	0.65	46.78	0.304
木麻黃 (Polynesian iron wood)	Casuarina equisetifolia	0.67	46.61	0.312
樟木 (Camphor tree)	Cinnamomum camphora	0.37	47.00	0.174
牛樟 (Stout camphor tree)	Cinnamomum micranthum	0.39	45.69	0.178
台灣櫸 (Taiwan zelkova)	Zelkova serrata	0.73	47.66	0.348

[a] S_v: 絕乾比重; Oven-dried specific gravity.
[b] C: 碳含量; Carbon content.
[c] Conversion factor: 轉換係數; S_v*C/100.

圖1、台灣常見樹種碳含量相關說明

施工機具重量比較表

中型機具		輕型機具	
機具設備	重量(噸)	機具設備	重量(噸)
1.20 挖掘機	12 噸	20 級挖掘機	2 噸
200 級挖掘機	20 噸	40 級挖掘機	4 噸
雙軸廂斗型混凝機	6~8 噸	小型單廂軸倒動型混凝機	2-2.5 噸
三軸廂斗型混凝機	8~12 噸	小型雙廂軸倒動型混凝機	3-3.5 噸
17 噸傾卸程式大貨車	總重 17 噸	3.49 噸傾卸程式小貨車	總重 3.49 噸
21 噸傾卸程式大貨車	總重 21 噸	5 噸傾卸程式小貨車	總重 5 噸

表1.施工機具重量比較表

圖2、輕質混泥土與一般混泥土配比表

三、輕量作業

本研究的新建公園位於國道三號北二高「埔頂隧道」上方。有別於一般新建工程，使用之材質與施工中工地乘載重量，須控制在隧道上方的道路需要能夠承受交通負荷和其他可能的荷載，以確保行車安全和道路的耐用。

輕量施工設備:以一般新建一座面積600坪數綠地公園施工之工程機具設備；其設備也就是一般馬路上最常見的中型挖掘機；泛指總重量6噸以上40噸以下挖掘機；6-8噸雙輪鋼筒式壓路機；17-21噸傾卸框式大貨車等中大型設備進行施工。本研究案位於國道三號北二高「埔頂隧道」上方。為減輕施工中工地承載重量，故所有施工機具設備採輕量化機具；總重量低於6噸以下(表1)。增加施工上一定的難度：1.輕量化設備施工工期增長2.維持一定工進增加大量人力投入3.專人專責監控建物傾斜自動化監測系統4.材料運送進場流量及重量管制。

輕質混凝土:在本研究輕質混泥土與一般混泥土配比，以等強度210kg/cm2相較；輕質混泥土每立方總重量為1797 kg/cm3。一般混泥土每立方總重量為2302 kg/cm3。相較之下；每立方減重21%kg/cm3。

四、環境減碳

1. 採用輕質混凝土代替傳統石材、沙子等重質骨料，其生產過程中減少了對天然資源的需求，且其材料密度較低，所需的能源和排放量較少，一般而言將減少約20%的碳排放量（弗拉格庫利斯·卡納瓦里斯, 2020)。另外，其結構更緊密且耐久性和抗震性能更好，可以延長建築物的使用壽命，降低維修成本和浪費。因此，使用大量輕質化材料，除了可以減輕新建公園底下之隧道結構負擔，同時減少建築物對環境的影響。這也符合現代社會追求環保和永續發展的理念。在新建一座原住民族主題公園中，運用輕質材料的特色可以提高公園的環境友善程度，減少對當地環境和生態的破壞，同時也符合原住民族對自然的尊重和保護。
2. 選用焚化底渣再生粒料，為追求環保再生，步道設計使用添加40%焚化底渣之高壓磚，相較於使用100%傳統原料生產磚塊，能夠減少約33%的碳排量(Ye & Li, 2017)節省了大量天然資源，同時也減少了環境污染。
3. 在公園的建設中，注重保護生態環境，盡量保留了原有的植被和地貌，同時也在公園中增加了更多的綠化，選用山黃梔、百合植物以代表原住民族，園區內新植草皮面積1415 m2 ；灌木植栽4700株，提高綠化覆蓋率和生態多樣性(圖3)。

植栽類型		CO2 固定量 Gi（kg/m²）	覆土深度 屋頂、陽臺、露臺	覆土深度 其他
生態複層	大小喬木、灌木、花草密植混種區（喬木間距 3.5m 以下）	1200	1.0m 以上	1.0m 以上
喬木	闊葉大喬木	900		
	小喬木（闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉型喬木）	600	0.7m 以上	
	棕櫚類	400		
灌木（每 m² 至少植栽 2 株以上）		300	0.4m 以上	0.5m 以上
多年生蔓藤		100		
草花花圃、自然野草地、水生植物、草坪		20	0.1m 以上	0.3m 以上

註：植栽之覆土深度必須合乎表 1 之規定始得承認之。

圖3、各種植栽單位面積二氧化碳固定量Gi（kg/m2）

圖4、3D光達-全樹形掃描

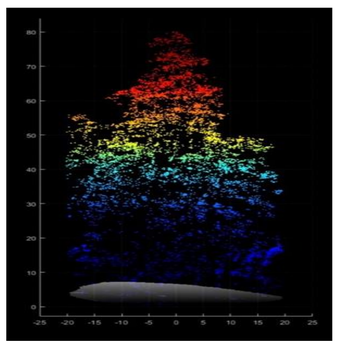


圖5、3D光達-樹高偵測

五、科技運用

1. 利用3D光達掃描（LiDAR, Light Detection and Ranging），用於林木資源、生物量、冠層立體空間繪製、並且能產出單木層級的資料，包括立木位置與樹高等（蘇美婷, 2022)，在本案新建公園過程中，透過觀察樹木生長狀態圖，避免施工對它們造成損害。利用3D光達掃瞄儀器，得知現場兩棵樹木現況(圖4)。樹-1 胸徑33.6、34.2(兩岔)公分，樹高9.826公尺，樹冠直徑13.285公尺。樹-2胸徑45.2公分，樹高7.910公尺，樹冠直徑12.297公尺(圖5)。在工程完成後，將比較兩棵樹木的胸徑，樹高樹冠等，幫助施工團隊了解樹木是否繼續健康的成長，以進而為生態保護及環境減碳提供更精確和全面的訊息。
2. 本工程運用了先進的科技技術，針對隧道結構體的安全，搭載『建物傾斜自動化監測系統』進行即時性的監測，確保施工過程中隧道結構安全無虞（圖6）。

六、結論與建議

1. 綠能建築在文獻回顧與工程初步評估，預計每年減少70500公斤二氧化碳排放量，在施工過程並降低58.49噸廢棄物產生與清運。
2. 輕質材料結合資源再生，節能減碳；輕量施工設備在管理施工期程與人力調度配合，不僅如期完工，且在結合有效率的期程管理，與預期工進提早35日完工；減少施工碳足跡。
3. 新建公園落成之後，結合每年的原住民日，也可以成為原住民文化及作品之展覽場地及活動舞台，讓居住於都市之民眾，可就近了解原住民族獨特的傳統及特質，更進一步促進不同族群之文化融合。
4. 因為工程的地點位於國道三號59.5k大溪埔頂隧道正上方，除了一般的新建工程監控外，更引用了電子傾斜式監控儀，並在監控中設有警示與緊急通報機制，如有出現異常沉陷量，將通知高公局等相關單位處置。此外，為保有綠能減碳的原則，此監測系統也設有太陽能的供電，讓監控的能源消耗控制合宜。
5. 減少環境污染排放和加強環境監測，減少對生態系統的影響。推行持續發展，通過有效利用工程現地自然資源及回收再生資源持續節能減碳永續發展。

除了探討綠營建外，其研究案執行過程中，鼓勵居民參與設計『創意護欄之彩繪石頭』。這是一項讓學生參與的活動，讓他們有機會實際參與公園建設的過程，同時也能夠發揮他們的創意和想像力。在這個活動中，學生可以畫出他們心中的創意，然後將這些成果實現在新建的公園內。學生參與其中，除學習如何使用工具和材料，並體驗到建造過程的樂趣。這不僅能夠提高學生的動手能力和創造力，同時也能夠讓他們更加了解公園建設的過程，從而更加珍惜和愛護這座公園。近一步達成提高公園建設的社區參與度，促進了社區的互動和溝通，同時也體現了民主和開放的建設理念。

綜合以上特點，讓公園不僅美觀，也更加環保。公園內的設施提供給當地居民使用，包括綠地休憩區、儀式廣場等，方便他們能夠在自己的鄰里社區中享受休閒娛樂的同時，也更能深入了解不同族群的文化。結合本研究觀察的工程設計與施工工法，顯示有減碳效果。藉此，希望能為未來工程規劃，提供一個可行且符合減碳與永續的目標的工程範例。

圖6、建物傾斜自動監測系統-即時數據

七、參考文獻

- 內政部. (106). 循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究.
- 李彥頤. (100). 生態城市綠建築推動方案.
- 經濟部能源局. (2015). 長期負載預測與電源開發規劃.
- 環保署. (111). 垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式.
- 蘇美婷徐廣達郭鎮維,. (2022). 應用空載光達於公共工程規劃之大面積樹木調查.