

模組化薄層式綠屋頂之可行性分析

The Feasibility Study of Modular Thin Layer Green Roof

陳博亮(CHEN,BOR-LIANG)、李盛明(LEE,SHENG-MING)、陳正穎(CHEN,CHENG-YING)、
*翁綺君(WONG,CI-JYUN)、林師仔(LIN,SHIH-YU)、黃凱琪(HUANG,KAI-CHI)

¹ 聯合大學土木與防災工程學系

摘要

近年來，由於台灣熱島效應十分嚴重，而綠屋頂具有減緩熱島效應、節能降溫、生物跳島等功能，對於台灣是一個很適合又容易著手的方向，而本研究為深入了解綠屋頂的建置過程、分析數據，並且透過金錢、節能、降溫等最佳化建置模式及最佳效益等方式探討最經濟之建置費用，以提高綠屋頂普及為目標，期望發展出一套方法用以評估台灣城市建置綠屋頂最佳化效益。結合建築物資訊系統(BIM)的概念，採用 ECOTECT 軟體模擬建置薄層式及模組化綠屋頂前後熱傳透率以估算綠屋頂建置前後的耗能差異，計算出模組化取代傳統薄層式綠屋頂之可行性。

Abstract

Recently, the island urban heat effect in Taiwan is serious. The green roof has many advantages to slow down the island urban heat effect, energy saving, stepping stone for wild animal and so on. It is a right direction for Taiwan to make effort for reducing warm house effect. This study wish to realize the building process about green roof and set up the analysis by software packages. We hope to optimize building method and get the most benefit for money and energy saving. We expect that we can develop a best method to analyze the most economical building module. Combining the concept of building information model (BIM), we adopt the ECOTECT (a commercial software package) to simulate the traditional extensive green roof and the modular one. Using the data to calculate the difference of energy and the feasibility of using modularity to substitute traditional extensive green roof.

關鍵字：模組化、綠屋頂、節能、Ecotect

1. 前言

1.1 研究源起

隨著都市的成長，原有可透水的植栽綠地減少，建築物和柏油道路等高蓄熱構造物增加所致，導致台灣的都市熱島效應現象十分嚴重[1]，由於綠屋頂具有減緩熱島效應、節能減碳、生物跳島之功能、減少雨水地表逕流、農業生產、潔淨空氣與雨水、綠屋頂能保護建築物、提升生活品質與療癒復健等效益，因此已有不少國家推廣中。國內城市推廣綠屋頂行之有年，本研究對於綠屋頂發展一套方法用以評估台灣城市建置綠屋頂最佳化效益。

綠化並不僅於追求經濟上的效益，也是為了保護生活環境，無論經濟效益好與壞，都應該要做到綠化以保護我們所居住的環境。

1.2 研究目的

希望藉由此研究，分析歸納各實例的缺點，深入了解國內綠屋頂實例，改善綠屋頂的缺點，並詳細研究建置過程、方式及探討經濟之建置費用，並且以能源分析得到模組化綠屋頂的費用、節能、降溫等數據，藉此提升建置綠屋頂之普及

率。

2. 文獻探討

2.1 薄層型綠屋頂

薄層型綠屋頂: 指在屋頂上以滿鋪方式在防水層上覆蓋厚度低於三十公分輕介質，並種植強韌、低矮、具自生性的植栽，以適應燠熱、乾旱、強風等不利環境，達到提升環境效益、永續節能的目的[1]。

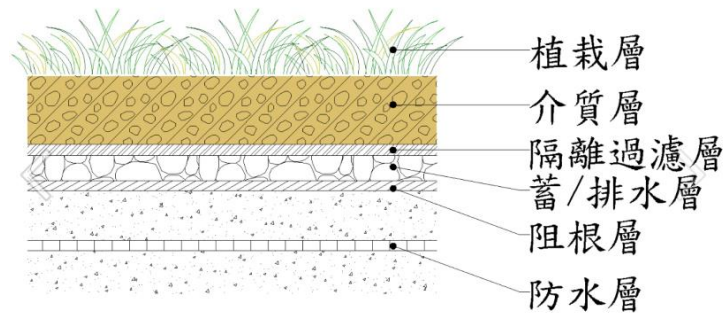


Fig.1 薄層式綠屋頂結構示意圖

2.2 導熱係數及熱傳透率

導熱係數又稱傳熱係數，導熱係數公式為 $k = (Q/t) * L / (A * T)$ 其中 k 為導熱係數、 Q 為熱量、 t 為時間、 L 為長度、 A 為面積、 T 為溫度差[2]；用來衡量單位時間、單位溫差之條件下，垂直通過單位面積材質之傳導熱量，單位為 $W/m.K$ 。

我們所使用熱傳透率公式為

$$U_i = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \gamma_a + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{d_x}{k_x}} \quad (\text{式 1}) [3]$$

2.3 模組化 (Modularity)

生產設計可以採行的途徑，應包括簡單化 (Simplification)、標準化 (Standardization)、模組化 (Modularity)。模組化可合併用標準化建構的模塊或模組來創造獨特的最終產品。[4]

3. 研究方法

3.1 圖書館模型示意圖

位置: N24.5369, E120.7901

座向: 正北-23 度

氣象資料: 匯入台中氣象資料

建築物使用時間: 0700~2300

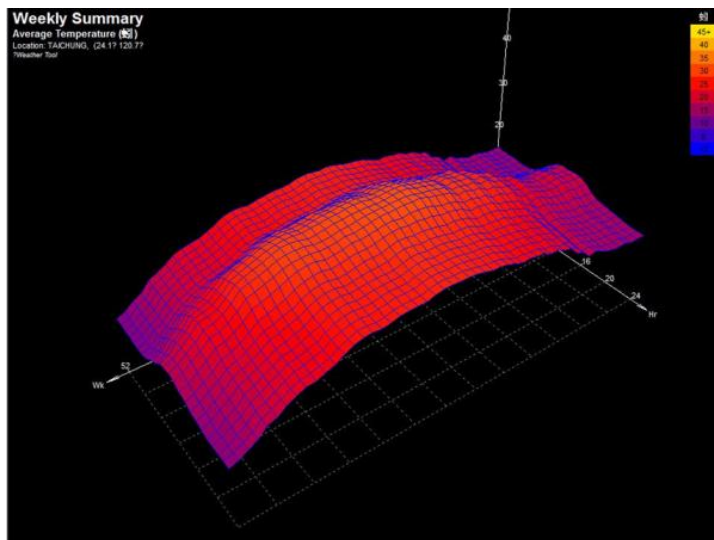


Fig.2 全年平均溫度顯示圖

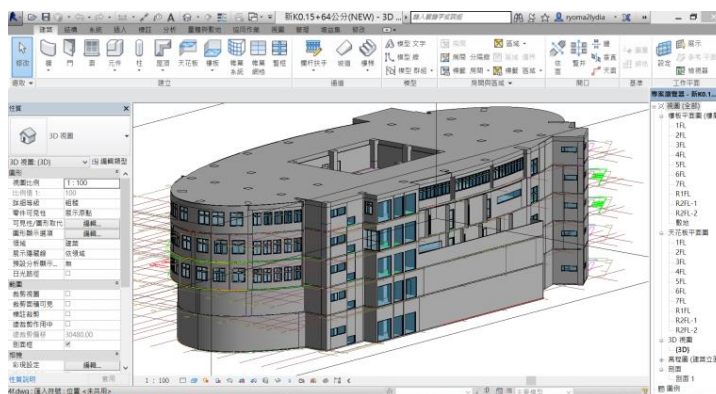


Fig.3 Revit 擬真示意圖

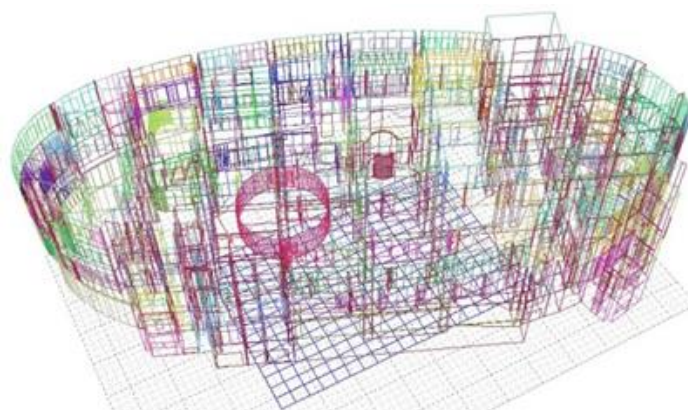


Fig. 4 Ecotect 房間模型

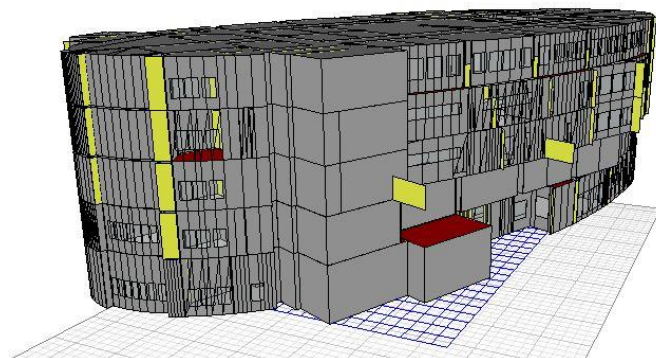


Fig. 5 Ecotect 擬真模型

3.2 薄層式綠屋頂構造大樣與成本估算

表 1. 薄層式綠屋頂構造大樣(K 值)

構造 編號	構造大樣	厚度	熱阻係數	熱阻	總熱阻	熱傳透率
		d	1/k	r=d/k	R=Σr	Ui=1/R
		(m)	(m. k/w)	(m ² . k/w)	(m ² . k/w)	(w/m ² . k)
五角磚油 毛氈 Uar-1	外氣膜		1/23	0.0435	4.46	0.224
	覆地植物(Turfing)			0.3600		
	植栽墊/輕質泥土	0.2	1/0.47	0.4255		
	鋸木屑	0.1	1/0.05	2.0000		
	不織布及保水板	0.02	1/0.19	0.1053		
	瀝青油氈毛	0.01	1/1.4	0.0071		
	防水保護與洩水坡度層	0.02	1/1.4	0.0143		
	防水層	0.03	1/0.05	0.6000		
	整平砂漿與洩水坡度層	0.02	1/1.4	0.0143		
	水泥砂漿	0.02	1/1.5	0.0133		
	防水層	0.03	1/0.05	0.6000		
	水泥砂漿	0.02	1/1.5	0.0133		
	RC 混凝土	0.15	1/1.4	0.1071		
	水泥砂漿	0.02	1/1.5	0.0133		
	內氣膜		1/7	0.1429		

*黃色區域為原屋頂構造大樣

表 2. 薄層式綠屋頂成本估算

工程項目	每 m ² 單位價格(萬元)
防水工程	0.1
綠化工程	0.18
滴灌設備	0.01
	0.29

3.3 模組化綠屋頂構造大樣與成本估算

表 3. 模組化綠屋頂構造大樣

構造 編號	構造 大 樣	厚度	熱阻係數	熱 阻	總 熱 阻	熱傳透率
		d	1/k	r=d/k	R=Σr	Ui=1/R
		(m)	(m. k/w)	(m ² . k/w)	(m ² . k/w)	(w/m ² . k)
五角磚油毛 氈 Uar-1	外氣模		1/23	0.0435	3.9591	0.253
	輕質土	0.1	1/0.47	0.2128		
	鋸木屑	0.1	1/0.05	2.0000		
	陶礫石	0.03	1/0.1	0.3000		
	PVC	0.02	1/0.039	0.5128		
	水泥砂漿	0.02	1/1.5	0.0133		
	防水層	0.03	1/0.05	0.6000		
	水泥砂漿	0.02	1/1.5	0.0133		
	RC 混凝土	0.15	1/1.4	0.1071		
	水泥砂漿	0.02	1/1.5	0.0133		
	內氣膜		1/7	0.1429		

*黃色區域為原屋頂構造大樣

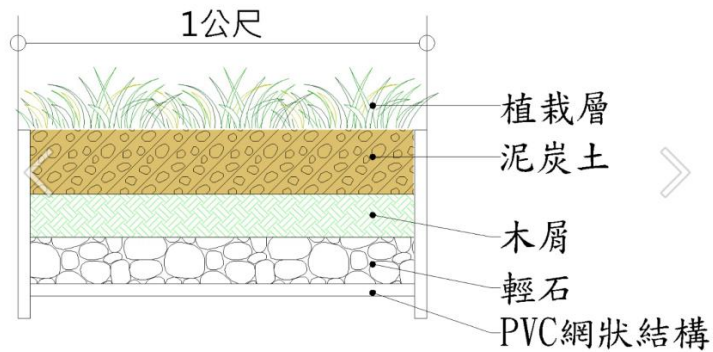


Fig. 6 模組化綠屋頂結構示意圖

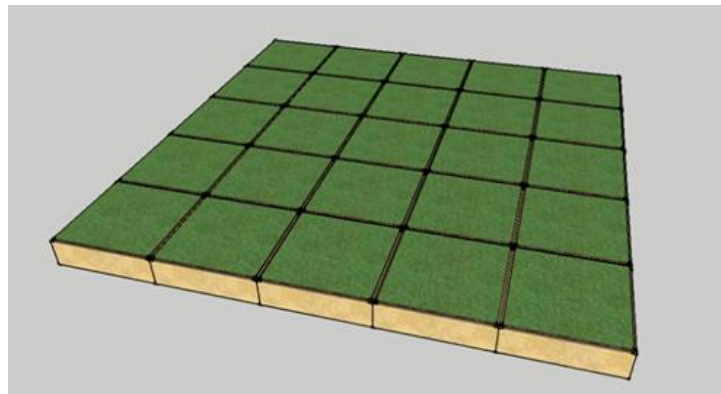


Fig. 7 模組化完成示意圖

模組化載重:150kgf/m²<圖書館可承受之屋頂載重:300kgf/m²

表 4. 模組一單位(m²)成本估算

材料大樣	噸	單一價(NTD)
輕質土	0.075	380
鋸木屑	0.026	98.8
輕石	0.018	108
PVC	0.0325	211.2
單一模組(總)	0.15	798

4. 研究結果與討論

4.1 設定基本資料

表 5. 設定基本資料

	原屋頂	薄層式	模組化
U 值 (W/m ² .K)	0.93	0.224	0.253
屋頂厚度(M)	0.338	0.64	0.49

4.2 空調開啟溫度不同和屋頂綠化改善前後比較

表 6. ECOTECT 薄層式綠屋頂節能之一天空調耗能(kwh)比較

開啟溫度	26°C	27°C	28°C	
改善前	5250.745	4778.416	4303.474	18.04%
改善後	5129.734	4667.162	4201.976	18.08%
	2.3%	2.32%	1.39%	

表 7. ECOTECT 模組化綠屋頂節能之一天空調耗能(kwh)比較

開啟溫度	26°C	27°C	28°C	
改善前	5250.745	4778.416	4303.474	18.04%
改善後	5159.300	4695.526	4229.141	18.03%
	1.74%	1.73%	1.72%	

4.3 舒適度分析

表 8. ECOTECT 薄層式綠屋頂節能之整棟建築全年空調耗能(kwh)

開啟溫度	26°C	27°C	28°C	
改善前	754118.016	641872.384	534335.008	29.14%
改善後	735341.824	625395.392	520240.736	29.25%
	2.48%	2.57%	2.64%	

表 9. ECOTECT 模組化綠屋頂節能之整棟建築全年空調耗能(kwh)

開啟溫度	26°C	27°C	28°C	
改善前	754118.016	641872.384	534335.008	29.14%
改善後	740359.872	629751.424	524237.696	29.19%
	1.82%	1.89%	1.89%	

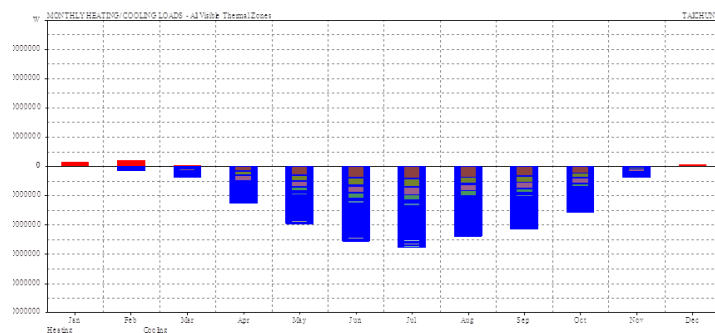


Fig. 8 整棟建築模組化後空調耗能(27°C) (x : Month y : wh)

表 10. ECOTECT 薄層式綠屋頂節能之屋頂部分全年空調耗能(kwh)

開啟溫度	26°C	27°C	28°C	
改善前	26519.870	22720.968	18936.256	28.59%
改善後	7748.044	6243.342	4841.354	37.51%
	70.8%	72.52%	74.43%	

表 11. ECOTECT 模組化綠屋頂節能之屋頂部分全年空調耗能(kwh)

開啟溫度	26°C	27°C	28°C	
改善前	26519.870	22720.968	18936.256	28.59%
改善後	12761.624	10599.683	8838.586	30.74%
	51.88%	53.35%	53.32%	

5. 研究結果與建議

5.1 薄層式及模組化之比較差異

經由 ECOTECT 分析結果得知模組化綠屋頂可達到 73% 之傳統薄層式綠屋頂之節能效果，但在單價上面，模組化綠屋頂只需傳統薄層式價格的四分之一，故在推廣上面，模組化綠屋頂具有相當的優勢，如下表 12。

表 12. 薄層式及模組化比較表

名稱	薄層式	模組化
全年節能效益	2.56%	1.87%
單價(每平方公尺/元)	2900	798
屋頂條件	較嚴格	較鬆
施作時間	略長	快速
後續維護	困難	簡單

5.2 模組化綠屋頂建置流程

由上述比較，本研究決定使用對推廣較有優勢的模組化綠屋頂，建立其標準建置流程，希望能夠對大眾推廣建置綠屋頂能有相當的成果。

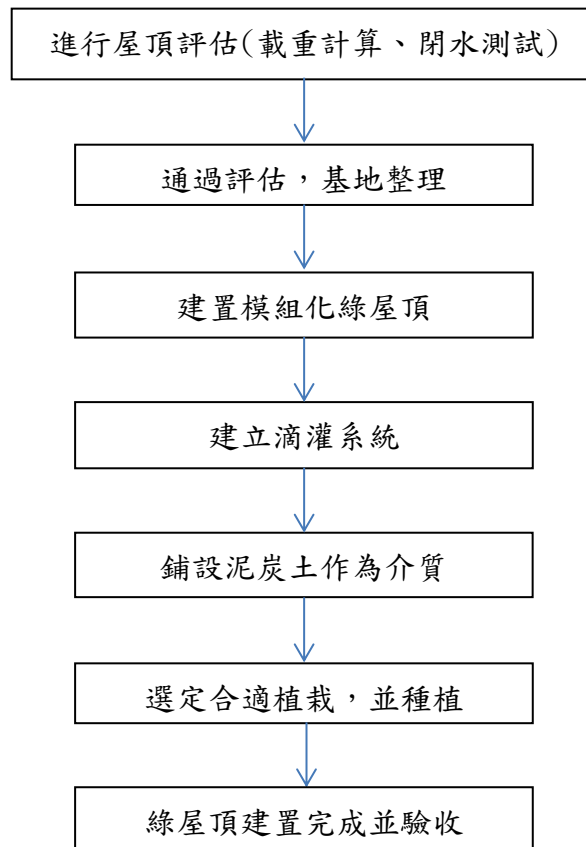


Fig.9 SOP 流程圖

5.3 建立智慧建置模組化綠屋頂系統

本研究並不包含電子系統部分，因此希望在未來會有電子建置系統出現，幫助一般大眾在建置綠屋頂時，能有更完整的依據。又因模組化具相當多可能性，搭配不同型式之模組，賦予綠屋頂更多創造力及客製化的需求，而衍生出智慧建置模組化綠屋頂的概念。

參考文獻.

- [1]台灣綠屋頂暨立體綠化協會“綠屋頂綠化技術手冊”2015/03
- [2] 高柏科技研發團隊
<http://www.tglobal.com.tw/what-is-thermal-conductivity-heat-transfer-coefficient.php>
- [3]內政部營建署“建築物強化外殼部位熱性能節約能源設計技術規範”2012/11
- [4] 江明洲“模組化理論與實務之研究—以資訊電子業 B 公司為例”2002