

投稿類別：工程技術類

篇名：

校園綠建築的討論與分析-以國立龍潭高中為例

作者：

邱繼緯。國立龍潭高級中學。電機二甲。

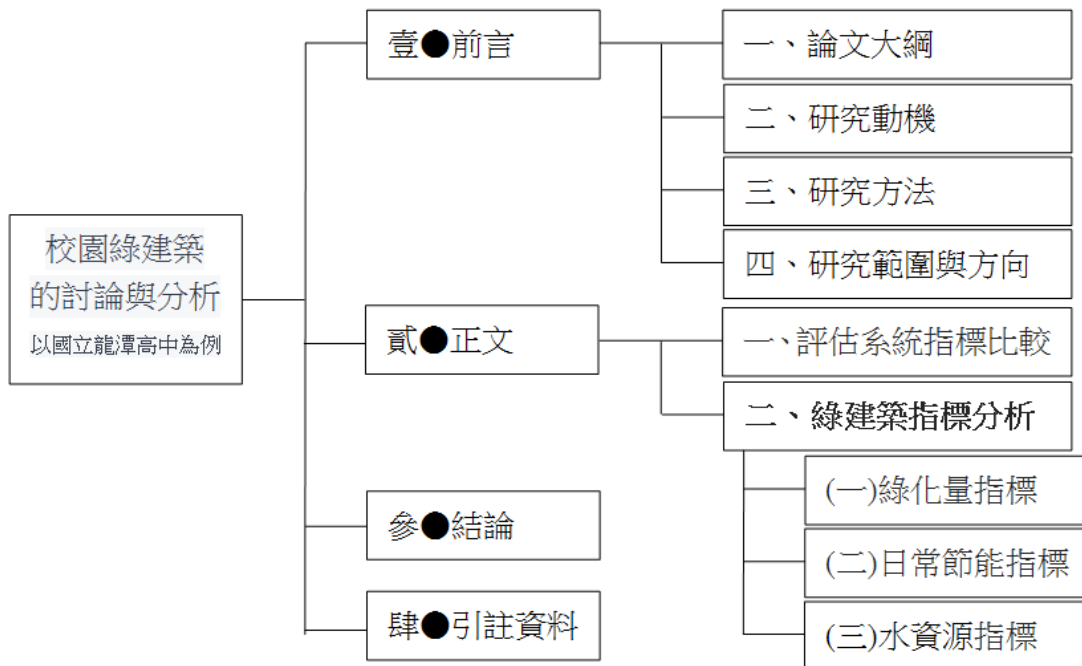
游庭豪。國立龍潭高級中學。電機二甲。

指導老師:

王政瑜 老師

壹●前言

一、論文大綱



二、研究動機

在高二環境科學概論課堂中指導老師提到了我們學校教學大樓獲有【候選綠建築證書】(如右圖一);而臺灣的著名地標 101 大樓也榮獲 LEED 綠建築白金級證書。而這樣綠建築的概念相當吸引我們,加上在高一的基本電學課程中對於電費的計算,也讓我們瞭解到未來節能減碳為全球產業都需要去面對的重要議題。

因此我們就以學校所符合綠建築的四項指標來進行分析作為本次小論文的題目,希望能夠藉由這次的小論文的研究能夠進一步瞭解綠建築的內涵並進行綠建築減碳的分析,達到電機科課堂所學與環保節能減碳觀念深入探討學習的目的。



圖一：學校候選綠建築證書

三、研究方法

目前世界各國都有不同的綠建築評估系統,常見的有美國的 LEED(領先能源與

環境設計)、英國的 BREEAM(英國綠建築環境評估法)、日本的 CASBEE(建築物綜合環境性能評估系統)及我國的 EEWH(臺灣綠建築評估系統)。

此次的小論文我們以美國的 LEED 與我國的 EEWH 的綠建築評估指標作為我們分析的基準,並以我們所就讀的龍潭高中教學大樓所符合的指標進行現況調查,進行評估公式的運算,最後進行各項指標效能的分析。

註: LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology

CASBEE: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency

EEWH: Ecology、Energy Saving、Waste Reduction、Health

四、研究範圍與方向

本次小論文是以我們所就讀的學校進行綠建築分析,分析探究的指標包括:「綠化量」、「日常節能」及「水資源」。並進一步探討要那些指標所達到的節能減碳的成效,而其中學校「基地保水」的部分,由於比較不好分析與評估,在指導老師的建議下不納入本次小論文的研究範圍中。

貳●正文

一、評估系統指標比較— 美國 LEED 與 臺灣 EEWH

LEED(領先能源與環境設計)綠建築評估系統,是由美國綠建築協會(U.S. Green Building Council)進行受理與審查綠建築的工作,LEED 綠建築評估系統針對不同的建築類型,而有不同的認證類型,而其評估項目注重於七大項目,在申請 LEED 的建築物在評分系統中(總分 110),若獲得 40-49 分,則該建築物為【認證級】(Certified); 評分達 50-59 分,達到【銀級認證】(Silver); 評分達 60-79 分,則為【金級認證】; 如評分達 80 分以上,則該建築物達到【白金級認證】(Platinum)。臺灣截至 2014.12 為止,有 61 建築座獲得 LEED 認證的如:台北 101 (LEED EBOM 白金級),遠雄集團信義區 03 金融大樓 (LEED NC 黃金等級) …等建築都有通過 LEED 的認證。

EEWH(生態、節能、減廢、健康)綠建築評估系統,為我國現行綠建築評估系統的,也是全球第一個以亞熱帶建築為發展的節能系統,將 1999 年以來的「綠建築評估與解說手冊,定義為最基本的綠建築基本型,並於 2011 年改編為本「綠建築評估手冊基本型」(EEWH-BC),作為其他評估體系之發展平台。目前有 5 類專用綠建築評估系統與專用對象,並有九大評估指標,其中 EEWH 評估系統為了因應我國缺水、缺電之危機也將「日常節能指標」與「水資源指標」作為必要門檻,而也因應 EEWH 指標規範達成比率將綠建築分成合格級、銅級、銀級、黃金級、

鑽石級五種等級

表一為 LEED、EEWH 兩綠建築評估系統認證類型的比較表、表二為兩綠建築評估系統認證指標與專注的差異性

EEWH 專用綠建築評估系統	LEED 認證類型
1. 基本型(EEWH-BC)：除了以下 2-5 類以外之建築	1. 新建建築物或大範圍增改建案認證(NC)
2. 住宿類(EEWH-RS)：住宅、集合住宅、宿舍、養老院等住宿類建築。	2. 既有建築或建築局部修改認證(EB)
3. 廠房類(EEWH-GF)：一般室內作業之新建或既有工廠類建築。	3. 供僅負責即擁有建築物結構體業主或開發申請認證(CS)
4. 舊建築改善類(EEWH-RN)：取得使用執照三年以上，且建築更新樓板面積不超過 40%以上之既有建築物。	4. 新建集合住宅、商業或混合建案開發之認證(ND)
5. 社區類(EEWH-EC)：鄰里單元社區、新開發住宅社區、即成住宅社區、農村聚落或原住民部落、科學園區、工業區、大學城、商業區、住商混合區及工商綜合區等。	5. 室內中修改善認證申請(CI)

表一、LEED、EEWH 綠建築評估系統認證類型的比較

EEWH 九大指標	LEED 專注七大項目
1. 生物多樣性指標	1. 永續性開發計畫(SS)
2. 綠化量指標	2. 用水效率計畫(WE)
3. 基地保水指標	3. 能源與大氣計畫(EA)
4. 日常節能指標	4. 材料與資源計畫(MR)
5. 二氧化碳減量指標	5. 室內環境品質計畫(IEQ)
6. 廢棄物減量指標	6. 區域優先得分項目計畫(RP)
7. 室內環境指標	7. 創新與設計過程計畫(ID)
8. 水資源指標	
9. 汗水垃圾改善指標	

表二、為兩綠建築評估系統認證指標與專注的差異性

二、綠建築指標分析－以國立龍潭高中為例

(一)綠化量

1、綠化量指標說明

植物所吸收的二氧化碳(CO₂)依據植物的種類、大小的不同而有所變化，在綠建築評估裡將這些用一個固定量(Gi)來表示，固定量(Gi)是指植物在建築物四十年的生命週期內針對空氣中吸收二氧化碳的固定效果，再乘上栽種的面積(Ai)，Gi×Ai 可以計算求出栽種區域吸收二氧化碳的總值。若在設計時採用各種原生及誘鳥誘蝶植物可以在乘上一個生態綠化優待係數 α ， $\alpha = 0.8 + 0.5 \times ra$ (以龍潭高中為例計算原生誘鳥誘蝶植物且採用比例等於 ra=0.98，因此 $\alpha = 1.29$)，再將各種栽種植物吸收的二氧化碳加總($\sum Gi \times Ai$)，根據以上所求可算出綠化設計值 TCO₂， $TCO_2 = (\sum Gi \times Ai) \times \alpha$ 。

若設計值 TCO₂ > 標準值 TCO_{2c}，即符合標準綠化量指標標準。

2、綠化量指標數據分析

以我們學校龍潭高中為例，以下是關於學校以建築物四十年生命週期的綠化設計，進行 TCO₂ 的計算其中包括：生態複層、大喬木、小喬木、棕櫚類、灌木面積、草坪面積 7 大類的植栽進行加總計算可得到學校的二氧化碳加總值，如下表三整理分析。

植栽類型	總栽種的面積 Ai	植栽類型固定量 Gi	二氧化碳吸收 Gi×Ai	備註
生態複層	1373.88m ²	1200	1648656kg	大小喬木，灌木，花草密植混種區
大喬木	2788.93m ²	900	2510037kg	榕樹、樟樹、橄欖樹、茄苳樹…等共計 189 株
小喬木	1116.20m ²	600	669720kg	山櫻花、楊梅、黃蓮木、阿勃勒…等共計 124 株
棕櫚類	488.94m ²	400	195576kg	大王椰子、黃椰子樹…等共計 27 株
灌木面積	1250.12m ²	300	75036kg	扣除一個生態複層重疊部分
草坪面積	6986.24m ²	20	139725kg	
		$\sum (Gi \times Ai)$	5238750kg	

表三、龍潭高中 TCO₂ 計算統計表 (本研究資料統計整理)

由表三總和數據乘上生態綠化優待係數 α 即可算出本校 40 年綠化量的設計總值 $TCO_2 = \sum ((G_i * A_i) * \alpha) = 5238750 * 1.29 = 6757987 \text{kg}$ ，將數值平均除以 40 表示在一年內可減少 168949.68kg 二氧化碳。如果要知道有沒有符合綠化的標準就一定要有一個基準值 TCO_{2c} 來比較，我們依據綠建築評估手冊基準值公式

$$TCO_{2c} = 1.5 * (0.5 * A' * \beta),$$

$$A' = (\text{基地面積 } A_o - \text{不可綠化面積 } A_p) * (1 - \text{法定建蔽率 } 40\%),$$

$$\beta = \text{為單位綠地 } CO_2 \text{ 固定量基準 } 500 \text{kg/m}^2,$$

$$\text{所以基準值 } A' = (33663.73 - 4210.55) * (1 - 0.40) = 17671.91,$$

$$\text{算出 } TCO_{2c} = 1.5 * (0.5 * 17671.91 * 500) = 6626966 \text{kg}$$

$TCO_2 = 6757987 > TCO_{2c} = 6626966$ 由以上可得知學校符合了綠化量指標

(二)日常節能

1、日常節能指標說明

日常使用電燈、冰箱及電扇等電器用品都會消耗相當可觀的能源，其中這些電器用品中又以空調系統及照明系統佔極大的比例。我國位於亞熱帶地區在 EEWH 評估系統中強調運用隔熱、遮陽、通風等建築設計手法降低建築物之熱度，間接降低能源用量，因此作為「日常節能指標的規劃及策略，以建築的外殼節能設計、空調效率設計及照明效率為設計三方向。而日常節能指標亦是 EEWH-BC 的必要的「門檻指標」，任一建築物必須同時通過三項評估：外殼 (EEV)、空調系統 (EAC) 及照明系統 (EL) 才算合格。

2、學校綠建築日常節能分析

(1)EEV 外殼節能效率計算

以我們學校龍潭高中為例，學校類建築屋頂之平均熱傳透率應低於 1.0 瓦/(平方公尺·度)，本校屋頂平均熱傳導率為 0.66 瓦/(平方公尺·度)。外殼耗能以計算窗面平均日射取得量 (AWSG) 值與北區基準值 (AWSGs) 比較，相除後可得一比較數值 EEV，若 $EEV \leq 0.80$ 則通過標準。因為此效率計算涉及建築材質我們所學有所差距，因此僅以表三簡單說明。

學校類 窗面平均射日取得量 AWSG	北區地區基準值 AWSGs	EEV	判斷
123.69	160	0.77	≤ 0.80 通過

表四、參考龍潭高中日常節能指標評估表

(2)EAC 空調系統節能計算

本校教學大樓無設置水冷式空調系統，故直接另 EAC 為基準值 0.8。

(3)EL 照明系統節能效率

學校教室用電不考量冷氣使用還是以照明為主，在照明系統節能效率中主要以提高燈具效率與照明功率為主，其中主要作業空間燈具效率係數以 IER 表示、主要作業空間照明功率密度加權係數以 IDR 表示、相關的數據計算如下：

照明系統節能效率計算公式為 $EL=IER \times IDR(1.0-\beta_1-\beta_2-\beta_4)$ ，其中再生能源在照明系統評估可充重複優惠計算以 β_1 表示、建築能源管理系統效率以 β_2 表示、其他特殊採光照明節能優惠係數(如：光導管、光纖集光裝置等)以 β_4 ，得到一計算值若計算值 ≤ 0.8 即符合標準。

IER 計算

T5 燈管(圖二)之每盞光源功率(w_i)= 28、
光源效率比(r_i)=1.25、安定器係數(B_i)=0.8
照明控制係數(C_i)=1、燈具效率係數(D_i)=0.9
單一作業工作數量以 n_i 表示、單一作業空間燈具
功率(w)以 w_i 表示

總用電功率基準計算如下

$$\sum n_i * w_i * r_i = 1805(\text{總燈具量}) * 28 * 1.25 * = 63175$$

實際總用電功率計算如下

$$\sum n_i * w_i * B_i * C_i * D_i = 1805(\text{總燈具量}) * 28 * 0.8 * 1 * 0.9 = 36389$$

$$IER = \text{實際總用電功率} / \text{總用電功率基準} = 36388.8 / 63175 = 0.58$$



圖二、本校綠建築 T5 燈管

IDR 計算

空間面積(A_j)單位 m^2 、照明用電密度基準 UPD_{cj} 單位 w/m^2 。

1F 處室總面積=715 m^2 、2F 處室總面積=1021 m^2 、3F 處室總面積=1187 m^2 、
4F 處室總面積=504 m^2 、5F 處室總面積=504 m^2 。

照明用電密度基準 UPD_{cj} 單位 w/m^2 =15

$$\text{總用電功率基準} = \sum (UPD_{cj} * A_j) = 15 * (715 + 1021 + 1187 + 504 + 504) = 58965(w)$$

用電總功率 sw_j 單位 w 。

1 F 處室用電總功率=12880W、2 F 處室用電總功率=17976W、

3F 處室用電總功率=20468W、4F 處室用電總功率=9408、

5 F 處室用電總功率=9480。

$$\text{總用電功率} = \sum sw_j = (12880 + 17976 + 20468 + 9408 + 9408) = 70140(w)$$

$$IDR = \text{總用電功率} / \text{總用電功率基準} = 70140 / 58965 = 1.19$$

$EL=IER*IDR*(1-\beta_1-\beta_2-\beta_4)=0.58*1.19*1=0.69 < 0.8$ ，評估本校教學大樓照明系統節能部分是符合評估系統規範的，綜合上列分析學校教學大樓在三項條件都合格符合日常節能指標標準。

(三)水資源

1、水資源指標說明

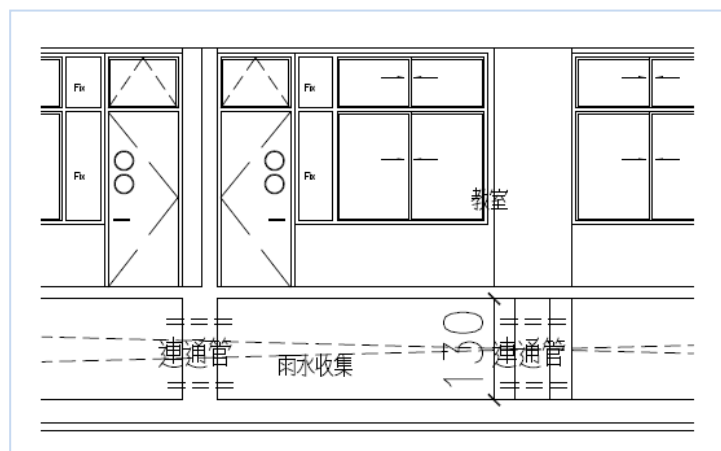
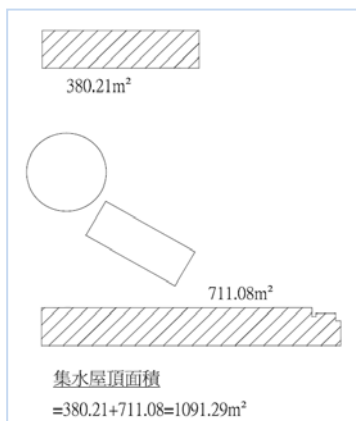
水資源在日常生活中是不可缺少的，根據水利署及中央氣象局資料臺灣地區近年平均降雨量雖可達到 2510mm，但因台灣地形陡峭無法有效儲存降雨，加上每年冬季枯水期後常常看到工業用水、農業用水及民生用水間的相互競爭排擠情形，因此水資源在臺灣便顯得非常珍貴，因此在我國綠建築 EEWB-BC 的指標上「水資源指標」也為必要門檻。

2、水資源的計算與分析

本次研究學校水資源的運用主要是以雨水回收再利用部分，首先我進行 2011~2014 年桃園地區降雨量的統計資料的分析，平均年降雨量為 2108.25 mm，我們將平均年降雨量乘上集水屋頂的面積(如圖四)及可得到收集雨水的量，而收集後的雨水也將儲存於教學大樓地下室作為澆灌與廁所大小便斗的沖水使用。

年度	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年降雨量
2014	34.5	209	132	96.5	441	191	84.5	47.5	105	39	59	83	1520.5
2013	92.5	36.5	90.5	352	424	112	121	557	76.5	40	54.5	235	2189
2012	205	308	115	309	286	635	39.5	305	175	55	312	199	2941
2011	118	89	127	26.5	324	272	190	136	14	90.5	271	126	1782.5

表五、2011~2014 年桃園地區降雨量統計表(桃園氣象站)



圖三、教學大樓的頂樓屋頂集水面積

圖四、教學大樓地下室雨水收集示意圖

水資源計算如下：

學校教學大樓的頂樓屋頂集水面積為 $A_r=380.21+711.08=1091.29\text{m}^2$ ；桃園地區的年降雨量約 2108.25mm 把這兩種數據相乘就知道了學校一年可以省下 $1091.29*2108.25\text{mm}$ 約等於 2300m^3 （度）的水，根據自來水公司的減碳資料顯示可得到 1 度的水(1m^3)可以減少 0.155 公斤的二氧化碳，一年水資源的指標上可減少約 356.6 公斤二氧化碳排放量，與綠化量及日常節能兩指標比較，雖然減少二氧化碳的不多，但是如果可以把這些水來去灌溉栽種植物，提供植物的優良的生長環境這樣可以提升綠化量的效益進行更多的二氧化碳的吸收。

參●結論

一、LEED 與 EEWB 的比較

根據參考資料閱讀分析，即使 LEED 與 EEWB 評估系統指標名稱上略有差異，但標還是有些相關性，如表六分析比較：

EEWB 綠建築評估系統	LEED 認證類型	對應項目
1. 日常節能指標	1. 能源與大氣計畫(EA)	日常節能→能源
2. 廢棄物減量指標	2. 材料與資源計畫(MR)	廢棄物減量→材料
3. 水資源指標	3. 用水效率計畫(WE)	水資源→用水效率
4. 室內環境指標	4. 室內環境品質計畫(IEQ)	室內環境→品質

表六、EEWB 與 LEED 指標與專注相關內容比較

比較 EEWB 與 LEED，發現 EEWB 在基本建築的節能效率、樹木所吸收的二氧化碳及汙水垃圾的指標有別於 LEED，而美國的 EEWB 所包含的層面面向較廣，多了設計、區域位置及永續開發等，未來我國 EEWB 或許可以因應我國現況學習仿效的地方逐步的改進融合他國的優點相信對於我國的綠建築推的會有更進一步的成效。

二、綠建築三指標探討研究感想

(一)綠化量

這次的小論文分析中有一項誘鳥誘蝶的生態綠化優待係數，在一開始我還不了解為何要有這種生態綠化優待係數，透過資料的查閱與指導老師的說明講解，讓我們了解引誘鳥類去吃果實及誘蝶可以幫忙傳遞花粉可提昇植物傳播的能力而提升綠化效益，對於生態的平衡也有很重大的意義，綠建築節能減碳並不只是解決能源即將不足的問題，對於生態系統也有相當意義，而且當植物高度可以遮蔽建築物也可對日常節能中 EEV 外殼節能進行效率有提升的效果。

(二)日常節能

我們常常在日常生活中聽到「隨手關燈」但卻不知其重要性，經過這次的小論文分析讓我了解到以小觀大的道理。或許一根 T5 的燈管(28W)只比傳統舊型的 T8 燈管(40W)只少了 12W 的消耗功率，但此次以學校為對象來分析，因學校在平日學生大多在教室中上課，一天中有超過 1/3 的時間(含進修學校)日光燈都是開著，一間教室約有 12 支燈管，以龍潭高中約為 44 間(未包含各處室)，假如只使用 T8 燈管一根 40W*12 根(一間教室)*44(約為 44 間教室不含教室)*8 小時*5 天(平日)*4(1 個月 4 週)=3379.2 度電(一個月)，同樣的計算 T5 燈管(28W)一個月所消耗用電約為 2365.44 度。因此一個月約能省下 1 千度的電費(3379.2-2365.44=1013.76)。日常節能是少數我們能夠做到控制的一項，而把這項做好所能節省的電量也是相當可觀的。

(三)水資源

水在日常生活中是很重要的，我們人、植物或動物都需要水，本次水資源的分析或許在減碳上面效益較其他兩項指標來的不明顯，但對於的灌溉植物是有加分的效果。

此次的小論文寫作讓我們學到綠建築的評估方法，也進一步的去探索分析學校的環境與綠建築的數值，我們也確信此次與指導老師討論合作將是高中時期很有意思的團隊經驗。

肆●引註資料

- 一、內政部建築研究所(2015)。**綠建築評估手冊-基本型**。臺北市：內政部建築研究所。
- 二、黃錦華、郭塗(2014)。**基本電學**。臺北市：華興。
- 三、王政瑜、巫淑玲、沈必正、陳堅文(2014)。**高級中等學校能源科計入門學生學習手冊**。臺北市：臺北市立大學。
- 四、建築基地綠化設計技術規範修正規定。104.11.8，
http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=10536&Itemid=57
- 五、自來水公司。104.11.8，https://www.water.gov.tw/04service/ser_c_main7.asp
- 六、中央氣象局。104.11.8，<http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/dailyPrecipitation/dP.htm>
- 七、臺灣電力公司。104.11.8，
http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-b32.aspx?LinkID=8
- 八、費斯 Multiflow。104.11.8，<http://www.multiflow.com.tw/about.html>