

附 錄 十 三

溫室氣體排放減量計算

一、節能減碳措施檢討

首先，進行環境負荷影響評估，以建築生命週期(40年)的理念，估算開發後(含施工及營運階段)溫室氣體碳排放增量。進而以「碳中和」的觀念，針對本案具體的綠建築設計與節能減碳措施之效益，探討本案所採用的綠建築設計對策之實施，對減低環境負荷的貢獻。

(一)碳增量項目與減碳項目

1.開發後溫室氣體碳排放增量估算(含施工及營運階段)

- (1)開發前原基地植生碳匯
- (2)建材生產運輸階段
- (3)土方運輸
- (4)營建施工階段
- (5)日常耗電量
- (6)日常耗水量
- (7)日常交通運輸
- (8)日常垃圾量
- (9)拆除解體階段

2.節能減碳措施及效益分析

- (1)綠建築標章設計效益
 - A.綠化量指標固定量 TCO₂
 - B.日常節能減碳效益 TCO_{2e}
 - C.水資源指標節流減碳效益 TCO_{2w1}
 - D.水資源指標開源減碳效益 TCO_{2w2}
- (2)建築構造選用減碳效益 TCO_{2s}
- (3)施工階段建材選用減碳效益 TCO_{2m}
- (4)資源回收減碳效益 TCO_{2s1}
- (5)拆除解體廢鋼回收減碳效益 TCO_{2s2}

(二)碳中和(減碳量)分析

1.開發後溫室氣體排放增量估算(含施工及營運階段)

參考楊謙柔(2000)、張世典(1998)之台灣地區建築物耗能與 CO₂ 排放基礎資料，台灣建築中心發佈之各類建築單位面積耗電量與耗水量，以及陳介慧(2009)對地下停車場耗電量之調查等資料。從建築生命週期的觀點，建構營建開發後溫室氣體排放增量估算工具，如表 1 所示。可估算出本案營建行為對環境衝擊的水準值。

藉由表 1 計算本案規劃(SRC 構造)開發後溫室氣體排放增量情形，建築物生

命週期二氧化碳總排放量為 51,678,804 (kg)。

表 1 原始規劃開發後溫室氣體排放增量估算

建物名稱	弘千建設玉泉段南京西路住商大樓新建工程					基地面積(m ²)	2,531.79
建物用途	住宿類、辦公廳類建築物					建築面積(m ²)	1,797.76
使用分區	特(二), 商三					總樓地板面積(m ²)	32,757.26
建蔽率	71.01%	容積率	692.05%	戶數	125	樓層數	地上 30
構造	地上 SRC/地下 RC	日用水量	164.70CMD	引進人數	1,117		地下 5
停車位	汽車	189	機車	198			
階段	類別	單位基準 CO ₂ 排放量值		數量	生命週期年數	小計(kg)	
開發前原基地植生碳匯		闊葉大喬木	22.50 (kg/m ² · yr)		40	75,954	
		喬木	15.00 (kg/m ² · yr)				
		灌木	7.50 (kg/m ² · yr)				
	•	草地	0.75 (kg/m ² · yr)	2,531.79			
		老舊建物	0.00 (kg/m ² · yr)				
建材生產運輸階段	•	RC	210.94 (kg/m ³ · yr)		40	7,016,278	
		SRC	214.19 (kg/m ³ · yr)	32,757.26			
		SC	181.17 (kg/m ³ · yr)				
土方運輸	•	4,409 車次	2.61 (kg/m ² · yr)	39,678		103,560	
營建施工階段		7 公尺	1.65 (kg/m ² · yr)		40	180,493	
		7~15	2.12 (kg/m ² · yr)				
		15~30	2.50 (kg/m ² · yr)				
		30~45	2.75 (kg/m ² · yr)				
		45~60	3.03 (kg/m ² · yr)				
		60~75	3.58 (kg/m ² · yr)				
		75~90	4.41 (kg/m ² · yr)				
	•	90 公尺以上	5.51 (kg/m ² · yr)	32,757.26			
日常耗電量	•	住宿類	20.81 (kg/m ² · yr)	17,984.08	40	36,361,697	
		其他類	114.44 (kg/m ² · yr)				
	•	學校類	50.80 (kg/m ² · yr)				
		辦公類	90.58 (kg/m ² · yr)	4,666.74			
		醫院類	143.82 (kg/m ² · yr)				
		百貨商場類	179.32 (kg/m ² · yr)				
		餐飲旅館類	104.04 (kg/m ² · yr)				
	•	大型空間	90.58 (kg/m ² · yr)				
•	地下停車場	11.09 (kg/m ² · yr)	10,106.44				
日常交通運輸	•	汽車位	0.211(kg/km)	689,850	40	7,730,262	
	•	機車位	0.066(kg/km)	722,700			
日常垃圾量	•	垃圾產出(0.70kg/人/天)	2.060(kg/kg)	285,393.50	40	23,516	
拆除解體階段		7 公尺	1.71 (kg/m ² · yr)		40	187,044	
		7~15	2.20 (kg/m ² · yr)				
		15~30	2.60 (kg/m ² · yr)				
		30~45	2.86 (kg/m ² · yr)				
		45~60	3.14 (kg/m ² · yr)				
		60~75	3.71 (kg/m ² · yr)				
		75~90	4.57 (kg/m ² · yr)				
	•	90 公尺以上	5.71 (kg/m ² · yr)	32,757.26			
CO ₂ 總排放量(kg)						51,678,804	

2. 節能減碳措施及效益分析

以生命週期的觀點分別探討本案規劃設計之節能減碳措施及效益分析。包括：(1)綠建築標章設計效益、(2)施工階段建材選用減碳效益 TCO_{2m} (3)資源回收減碳效益 TCO_{2s1}、(4)拆除解體廢鋼回收減碳效益 TCO_{2s2} 等 4 項。

(1) 綠建築標章設計效益

綠建築標章指標分為生態、節能、減廢與健康四大類指標群。本案針對綠化量、基地保水、日常節能、二氧化碳減量、廢棄物減量、水資源、污水及垃圾改善指標進行規劃設計與評估，以取得銀級綠建築評定為目標。

此部分效益包括：綠化量指標之 TCO₂ 固定量、日常節能減碳效益 TCO_{2e}、水資源指標節流減碳效益 TCO_{2w1}，以及水資源指標開源減碳效益 TCO_{2w2} 等 4 項。

A. 綠化量指標之 TCO₂ 固定量

藉由綠建築標章評估系統之綠化量指標之評估計算，我們可以知道植栽綠化之二氧化碳固定量(kg)。經由前述綠建築評估部分，本案綠化量指標之 CO₂ 固定量=401,578.13 (kg)。

B. 日常節能減碳效益 TCO_{2e}

參考財團法人台灣建築中心對於通過綠建築標章審查之建築物。節能、省水之節約效益計算方法。通過綠建築標章評估審查之建築物，在節能方面會相較一般建築物節能 20%，省水方面會省水 30%的前提之下。其評估計算表格如表 2、表 5 所示。

表 2 綠建築設計每年節能評估

建物類別	樓地板面積(m ²)	節 能		
		耗電密度 EUI (KWH/m ² .yr)	節能效率	每年省電量(KWH/yr)
住宿類	17,984.08	34	0.2	122,292
其他類		187	0.2	0
學校類		83	0.2	0
辦公類	4,666.74	148	0.2	138,136
醫院類		235	0.2	0
百貨商場類		293	0.2	0
餐飲旅館類		170	0.2	
大型空間		148	0.2	0
地下停車場	10,106.44	18.12	0.2	36,626
小 計	32,757.26	每年節省電能(KWH)		297,054
		40 年節能減碳量(kg)		7,271,882
備		註 1 度電(KWH)：排放 0.612 公斤二氧化碳		

資料來源：台灣建築中心網站公告之節能省水效益，<http://www.tabc.org.tw/>

根據台電網站公布，台電平均發電，每度電排放 0.612 公斤二氧化碳。所以，

通過綠建築標章評定之建築物之日常節能減碳效益值 TCO2e 計算公式：

$$TCO2e = \Sigma FA \times EUI \times 0.20 \times 0.612 \times 40 \quad (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中，

TCO2e：日常節能減碳效益值(kg)

ΣFA ：總樓地板面積

EUI：財團法人台灣建築中心所發佈之綠建築設計節能數據(KWh/m².yr)

假設建築生命週期於日常營運使用階段為 40 年，當本案通過綠建築標章評定時。建築生命週期日常節能減碳效益 TCO2e 為：

$$TCO2e=7,271,882 \text{ (kg)}$$

然而，本案除了申請綠建築標章評定為銀級，日常節能指標合格外，另於空調及照明節能部分，加強節能設計。所以綠建築標章通過之節能效益之概估法，暫不列入此次計算範圍內。另針對本案相關之空調節能設計手法、照明節能設計手法、電器節能設計手法，予以分別檢討計算。

(a) 住宿類部分

3-30 樓層部分擬做為住宅使用，用途分類屬住宿類。本案於空調系統部分用節能標章之分離式冷氣機。因此，建築空調節能設計約可減少 69% 之空調用電。

$$34 \times 48\% \times 17,984.08 \times 40 \times 69\% = 8,100,605 \text{ (kwh)}$$

$$\text{減碳量} : 8,100,605 \times 0.612 = 4,957,570 \text{ (kg)}$$

(b) 辦公室部分

1-2 樓層部分擬做為辦公使用，用途分類屬辦公類。本案於空調系統部分用節能標章之分離式冷氣機，依據綠建築標章評估手冊(2015 年版)空調節能技術簡易評估表所載，其省能效益約 45%。

表 3 空調節能技術簡易評估表

節能對象	空調節能技術	效率	效率標準值	採用率(*1)	送審設計圖說(*2)
熱源系統 節能技術	冰水主機台數控制系統	α_1	手動ON-OFF控制：0.05	n=1.0	主機空調規格書、系統流程及控制規範圖說
			時程自動控制：0.10		
			邏輯策略自動控制：0.15		
	儲水空調系統	α_2	時程自動控制：0.10	n (分量儲水率) =	系統流程及控制規範圖說
			邏輯策略自動控制：0.20		
	吸收式或熱泵式冷凍機	α_3	互補自然式或熱泵式：0.15	n (熱源容量比) =	採用率計算書、吸收式主機規格書、系統流程圖說
			熱回收式：0.30		
	變頻主機或變冷媒量熱源	α_4	0.30	n =	採用率計算書、變冷媒量熱源規格書、系統流程圖說
	CO ₂ 濃度外氣量控制系統	α_5	0.15	n =	風管配管平面圖、系統流程及控制規範圖說
	全熱交換器系統	α_6	0.13	n =	採用率計算書、全熱交換器規格書、系統流程及控制規範圖說
外氣冷房系統	α_7	0.06	n =	採用率計算書、系統流程及控制規範圖說	
空調風扇並用系統	α_8	0.03	n =	採用率計算書、風扇規格書	
其他熱源節能系統	α_9	(提士計算證明自填)	n =	採用率計算書、規格書、系統流程、控制規範	
熱源系統節能效率 $R_s = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$					

因此，建築空調節能設計約可減少 69%之空調用電。

一般而言，建築耗能區分為空調、照明、動力用電等三大部分，辦公類建築約分佔 48%、44%、8%比例。因此，據以推估本案增加之空調節能設計效益：

$$148*48%*4,666.74*40*69%=9,150,096 \text{ (kwh)}$$

$$\text{減碳量}：9,150,096*0.612=5,599,859 \text{ (kg)}$$

照明節能控制管理所考量的面向包括高效率的光源與燈具之選擇，及與照明控制技術。控制的關鍵在於不產生超過合理需求的照度(品質節約)，以及在無人需要時能關閉照明(使用節約)，也就是適量、適時、適地。本案除採用高效率燈具以及電子式安定器符合綠建築評估基準外，另外增加了、照度調整、時間設定等照明節能控制手法，預期照明總節電量達 66.5%。



圖 1 照明節能設計之節能效果

(資料來源：能源局，《建築物能源管理及效率指標研究計畫》97 年度執行報告內容，第 B-78 頁。)

因此，據以推估本案增加之照明節能設計效益：

$$148*44%*4,666.74*40*66.5%=8,083,690 \text{ (kwh)}$$

$$\text{減碳量}：8,083,690*0.612=4,947,218 \text{ (kg)}$$

$$\text{本區減碳量小計}：5,599,859 + 4,947,218 = 10,547,077 \text{ (kg)}$$

(c)停車場部分

停車場部分樓地板面積共 10,106.44 m²，EUI 為 18.12(KWh/m².yr)，其用電設備主要為照明用電設備。本案擬採用高效率燈具以及電子式安定器，配合時程控制及佔據感知設備，以及初期照度調整控制等手法，預期可節省約 41.5%耗電量。

據此，推算地下停車場部分之節能設計效益：

$$18.12*10,106.44*40*41.5%=3,039,936 \text{ (kwh)}$$

$$\text{減碳量}：3,039,936 * 0.612 = 1,860,441 \text{ (kg)}$$

$$\text{本區減碳量小計}：1,860,441 \text{ (kg)}$$

(e)日常節能減碳效益 TCO_{2e} 小計

本計畫分別探討本案相關之空調節能設計手法、照明節能設計手法，予以檢討計算。並依建築物用途分為(1)住宅部分、(2)辦公室部分、(3)停車場部分等三個區域。進行節能減碳。總減碳量合計：

$$4,957,570+ 10,547,077+1,860,441=17,365,087 \text{ (kg)}$$

C.水資源指標節流減碳效益 TCO_{2w1}

參考表 5 省水之節約效益計算。自來水公司網站公布，每度水排放 0.195 公斤二氧化碳。

$$\text{TCO}_{2w1} = V \times 0.3 \times 0.195 \times 40 \quad (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中，

TCO_{2w1}：水資源指標節流減碳效益值(kg)

V：年用水量(m³/日)

假設建築生命週期於日常營運使用階段為 40 年，當本案通過綠建築標章評定時。建築生命週期水資源指標節流減碳效益 TCO_{2w1} 為：

$$\text{TCO}_{2w1} = 140,673 \text{ (kg)}$$

表 5 綠建築設計每年省水評估

節 水		
年用水量(m ³ /年)	節省效率	節省水量(m ³ /年)
164.70*365=60115.50	0.3	18,035
40 年省水量(m ³ /年)		721,400
40 年省水減碳量(kg)		140,673
1 度水：排放 0.195 公斤二氧化碳		

資料來源：台灣建築中心網站公告之節能省水效益，<http://www.tabc.org.tw/>

D.水資源指標開源減碳效益 TCO_{2w2}

水資源指標除了節流外，亦規劃開源措施，例如雨水或中水回收再利用系統。假設建築生命週期於日常營運使用階段為 40 年，建築生命週期水資源指標節開源減碳效益 TCO_{2w2} 為：

$$\text{TCO}_{2w2} = W_d \times 365 \times 0.195 \times 40 \quad (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中，

TCO_{2w2}：水資源指標開源減碳效益值(kg)

W_d：雨水利用設計量 CMD (立方公尺/日)

本計畫每日雨水回收量為 4.97CMD(立方公尺/日)，則年雨水回收量=4.97×365 天=1,814 公噸。根據自來水公司公告之自來水每度水排放 0.195 公斤二氧化碳，換算建築生命週期水資源指標開源減碳效益 TCO_{2w2} 為：

$$4.97 \times 365 \times 0.195 \times 40 = 14,150(\text{kg})$$

(2) 建築構造選用減碳效益(TCO2s)

本計畫原採 SRC 構造設計，以減少本計畫的鋼筋及混凝土用量，達到減碳效益。

根據楊謙柔(2000)、張世典(1998)之台灣地區建築物耗能與 CO2 排放基礎資料，計算本案建築構造變更後之減碳效益評估如表 6 所示，總共可以減少 1,081,645 (kg)之二氧化碳排放量。

表 6 建築構造選用減碳效益評估

構造種類	原始規劃 (m ³)	改善設計 (m ³)	CO ₂ 排放係數 (Kg-CO ₂ /單位)	CO ₂ 排放量(Ton-CO ₂)	
				原始規劃(kg)	改善設計(kg)
SRC	32,757.26	0	214.19	7,016,278	—
SC	0	32,757.26	181.17	—	5,934,633
合計				7,016,278	5,934,633
施工期間構造選用減碳量(kg)				1,081,645	

(3) 資源回收減碳效益 TCO2s1

本計畫未來使用人數預估引進 524 人，依新北市政府主計處統計要覽統計資料，民國 105 年平均每人每日垃圾產生量 0.67 公斤估算，則本開發計畫每日廢棄物產生量約為 0.35 公噸，當中含資源性垃圾約 0.25 公噸。

參考環保署台灣碳足跡資訊網(<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/defaultPage.aspx>)之計算參數，每減少 1 公斤垃圾產出量(回收 1 公斤資源垃圾)約減少 2.06 公斤二氧化碳產生。

本案預估回資源垃圾量約 250 (kg/日)，40 年生命週期約可減少 7,519,000 (kg) 碳排放量。

(4) 拆除解體廢鋼回收減碳效益 TCO2s2

參考張世典(1998)提及回收廢鋼每一公斤可以減少二氧化碳排放量 0.62 (kg/kg)。以及楊謙柔(2000)針對建築物每平方公尺回收廢鋼所減少之二氧化碳排放量之推估。

本案拆除解體後，回收廢鋼所減少之二氧化碳排放量

$$10,106.44 \times 0.1012 + 22,650.82 \times 0.1395 = 4,596 (\text{kg})$$

表 8 建築物每平方公尺回收廢鋼所減少之二氧化碳排放量

構造方式	廢鋼	總樓地板面積	減碳量
------	----	--------	-----

	產生量 (kg)	減少二氧化碳 排放量 (kg)		
RC 構造 (m ²)	0.163	0.1012	10,106.44	4,596
SRC 構造 (m ²)	0.21	0.1302	22,650.82	

3.碳中和(減碳量)分析

所以，碳中和(減碳量)計算

$$CN = TCO_2 + TCO_{2e} + TCO_{2w1} + TCO_{2w2} + TCO_{2s} + TCO_{2m} + TCO_{2t2} + TCO_{2s1} + TCO_{2s2}$$

式中，

CN：碳中和(減碳量)CO₂ 固定量值(kg)

TCO₂：綠化量指標之 CO₂ 固定量(kg)

TCO_{2e}：日常節能減碳效益(kg)

TCO_{2w1}：水資源指標節流減碳效益(kg)

TCO_{2w2}：水資源指標開源減碳效益(kg)

TCO_{2s}：建築構造選用減碳效益(kg)

TCO_{2s1}：資源回收減碳效益(kg)

TCO_{2s2}：拆除解體廢鋼回收減碳效益(kg)

所以，本案評估計算開發後溫室氣體排放增量（含施工及營運階段），相關設計措施，合計減碳量累計：

$$CN = 401,578.13 + 17,365,087 + 140,673 + 14,150 + 1,081,645 + 7,519,000 + 4,596 = 26,526,729 \text{ (kg)}$$

$$\text{減碳率} = 26,526,729 / 51,678,804 = 51.33\%$$

故本計畫預期可以減量 51.33%。