

台灣建築空調系統資材二氧化碳排放量之研究

王育忠* 林憲德**

關鍵字：生命週期，綠建築，二氧化碳排放，環境負荷，空調設備

摘要

CO₂ 排放量評估法是現代綠建築體系與建築碳足跡評估最重要的評估工具，其成敗的關鍵在於可靠的系統資材 CO₂ 排放量資料庫及高精度的簡易 CO₂ 排放量應用式。本研究以筆者之前研究所建立 300 餘項的建築空調設備 CO₂ 排放量資料庫與 22 項簡易 CO₂ 排放量推估應用式為核心基礎，實際以 42 個空調系統工程案例樣本，分別解析空調工程所產生之 CO₂ 排放量，並建立以空調面積或空調裝置容量簡算之 CO₂ 排放量推估公式，其預測精度 R² 值均在 0.9 以上。此 CO₂ 排放量推估公式提供了一個十分簡易的空調系統 CO₂ 排放量評估方式，可以在空調設計階段藉由空調面積或空調裝置容量預測可靠的空調系統 CO₂ 排放量，提供建築產業對地球環境衝擊的評估，對綠建築的永續設計與建築碳足跡評估有具體的貢獻。

The Evaluation of CO₂ emission of Air-Conditioning System Used in Taiwan Buildings

Yu-Chung Wang* Hsien-Te Lin**

KEYWORDS: Life Cycle, Green Building, CO₂ Emission, Air Conditioning Equipment

ABSTRACT

Assessment of CO₂ emissions is the foremost imperative evaluation tool in modern green buildings and carbon footprints. The key to its success is dependent upon a reliable database system of CO₂ emissions along with an accurate and simple application. This research has been instituted based on more than 300 databases collected from CO₂-emitting air-conditioning units and 22 applications of estimated CO₂ emissions during graduate school. 42 actual air-conditioning system projects are then individually analyzed to derive emitted CO₂. Accuracy of the estimate is backed by coefficient of determination, R², averaging above 0.9 using volume or capacity of the air-conditioning to formulate CO₂ emissions. It offers a simple assessment method for estimating reliable CO₂ emissions in the design stage by evaluating the impact the construction industry has on the global environment. Sustainable design and assessment of carbon footprint hence has made a significant contribution to green building.

收件日期：2015.03.24；接受日期：2015.12.11

*成功大學建築學系博士生（通訊作者 Email: ta.yang168@msa.hinet.net）

Ph.D. student, Department of Architecture, National Cheng Kung University, Taiwan

** 成功大學建築學系教授

Professor, Department of Architecture, National Cheng Kung University, Taiwan

DOI: 10.3966/101632122016030095008

一、前言

二氧化碳是造成全球暖化的主要溫室氣體之一，而人為排放來源中有 97% 乃是源自石化性燃料的燃燒。聯合國氣候變遷綱要公約於 1997 年 12 月初通過了京都議定書，各工業國家均分別訂定控制溫室氣體排放的目標，我國於 1998 年由行政院宣布要參與對抗地球暖化行動，並舉行全國能源會議，集合全國專家提出控制溫室氣體的相關策略。根據經濟部能源局 2014 年的統計資料顯示，我國燃料燃燒二氧化碳排放統計，1990 年燃料燃燒二氧化碳總排放量為 109491 千公噸，逐年持續成長至 2007 年 255869 千公噸成為歷史高點，人均排放量約 11.2 公噸 CO₂/人，相對於與全世界的人均 CO₂ 排放量而言，台灣近年來的 CO₂ 排放量增加速度十分突出，未來必造成台灣經濟發展的重大危機。

建築相關產業對於地球環境影響部分相當重要，所以在全球 CO₂ 減量的趨勢中，建築產業 CO₂ 減量工作將無可避免成為我國整體 CO₂ 減量計畫中的重要一環。鑑於過去我國建築產業在 CO₂ 排放量的統計不足，使國內建築 CO₂ 減量政策的研究受到限制。本研究室過去曾投入大量人力建立建築產業的 CO₂ 排放量資料庫上，例如材料生產與運輸 (張又升, 2002)、百貨公司裝修工程 CO₂ (趙又嬋, 2004)、住宅設備管線工程 (曾正雄, 2006)、空調設備資材 (王育忠, 2007) 等 CO₂ 排放量的資料庫，同時也發展辦公建築生命週期評估方法 (黃國倉, 2006)，現今更擴大研究領域至建築碳足跡評估 (林憲德, 2014)。然而，以上均為建築土木軀體或設備的 CO₂ 排放量統計，但缺乏對於建築空調系統 CO₂ 排放量的研究，因此本研究根據筆者過去所建立的空調設備資材的研究 (王育忠, 2007) 的資料庫為核心，實際以 42 個空調系統工程案例樣本，分別解析空調系統工程所產生之 CO₂ 排放量，並建立簡易回歸推估應用式，提供給未來建築碳足跡評估之應用。

二、研究方法與內容

中央空調系統的組成包括水側系統與空氣側系統

二大系統，水側系統包括空調主機、冷卻水塔、冰水泵、冷卻水泵及管路系統等，而空氣側包含末端設備空調箱或室內送風機及風管系統等。建築物空調裝置容量會依其空調使用類型如醫院、量販店、百貨商場、旅館等經由動態空調負荷計算軟體如 DOE2，計算其尖峰負荷值，再配置適當容量與數量的空調主機，依其空調主機之容量與數量，再搭配其周邊設備與管路，構成一完整中央空調系統。因此空調裝置容量越大，其空調設備所產生的 CO₂ 排放量也越大。

據筆者過去研究 (王育忠, 2007) 所建立的空調設備資材 CO₂ 排放量資料庫為核心，並已建立 22 項空調設備資材 CO₂ 排放量推估方程式如表 1。

本研究以 42 個不同空調使用類型樣本，藉由空調設備資材 CO₂ 排放量資料庫分別解析其所產生之 CO₂ 排放量，並建立簡易回歸推估應用式，方便建築物初期設計階段來預估空調系統工程 CO₂ 排放量。

本研究以 42 個不同空調使用類型樣本，藉由空調設備資材 CO₂ 排放量資料庫分別解析其所產生之 CO₂ 排放量，並建立簡易回歸推估應用式，方便建築物初期設計階段來預估空調系統工程 CO₂ 排放量。

空調系統組成繁多，因此需界定不同空調系統 CO₂ 排放量解析變因範圍如下說明：

(1) 同一建築物空調裝置容量會因其使用類型不同而不同：

同一建築物 (相同室內空調面積)，使用類型如醫院、百貨商場、辦公大樓等，其空調負荷裝置容量會不同，如為百貨商場用途，其空調裝置容量遠大於辦公大樓用途。如以建築物樓地板面積換算 CO₂ 排放量是會有所差異，因此必須以空調裝置容量的單位冷凍噸所產生的 CO₂ 排放量來解析空調工程 CO₂ 排放量。

(2) 不同類型之中央空調系統之研究樣本界定：

中央空調系統種類繁多，如水冷式中央空調、氣冷式中央空調、儲冰中央空調、吸收式中央空調、熱回收型中央空調等，不同類型空調系統其 CO₂ 排放量也會不同，而水冷式中央空調系統為時下建築物常用之空調系統，因此本研究 42 個樣本皆採用水冷式中央空調系統。

(3) 空調箱風管系統 (AHU SYSTEM) 與室內送風機水

管系統(FCU SYSTEM) CO₂ 排放量解析：

一般中央空調系統之空氣側組成可分為以下三大系統：

- (A)空調箱風管系統：適用於百貨商場、量販店、體育館等大型空間。
- (B)室內送風機水管系統：適用於小型空間場所如辦公大樓、旅館等。
- (C)以上兩者混合使用系統：該中央空調系統其空調箱風管系統與室內送風機水管系統設置混合使用，如醫院場所。

三、建立空調系統資材 CO₂ 排放量資料庫

3.1 室內送風機水管系統 CO₂ 排放量案例樣本解析

建築空調工程內容是由設備工程、配管工程、風管工程、配電與自動控制工程四大類型所組成。本研究以國內空調工程 15 個案例樣本，依其工程材料內容，藉由前章節所建立之空調設備資材 CO₂ 排放量資料庫，換算上述四大類型工程 CO₂ 排放量，本研究如表 5 所示。

如圖 1 所示，15 個案例樣本平均每冷凍噸排放量為 292 kg- CO₂/RT，標準差為 66 kg- CO₂/RT。

而其空調工程案例樣本 CO₂ 排放量回歸推估應用式如以空調裝置容量為推估應用式，則其推估應用

表 1 空調設備材料 CO₂ 排放量回歸推估公式總表(王育忠，2007)

設備項目	空調設備CO ₂ 排放量迴歸推估公式		說明
1.螺旋式空調主機	$Y=26.601X+700.44$	$R^2=0.992$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 空調主機能力(RT)
2.離心式空調主機	$Y=23.152X-30.407$	$R^2=0.9182$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 空調主機能力(RT)
3.氣冷式空調主機	$Y=69.005X+84.02$	$R^2=0.9929$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 空調主機能力(RT)
4.空調箱	$Y=36.835X+750.51$	$R^2=0.995$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 空調箱能力(RT)
5.吊掛隱藏室內送風機	$Y=0.0553X+9.4666$	$R^2=0.9834$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 送風量(CFM)
6.吊掛露明室內送風機	$Y=0.0574X+19.336$	$R^2=0.9874$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 送風量(CFM)
7.水冷箱型冷氣機	$Y=32.402X+181.46$	$R^2=0.9894$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 箱型機能力(RT)
8.方型冷卻水塔	$Y=6.9594X+494.88$	$R^2=0.9915$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 冷卻水塔能力(RT)
9.圓型冷卻水塔	$Y=6.4144X+95.605$	$R^2=0.9947$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 冷卻水塔能力(RT)
10.端吸聯結水泵	$Y=10.913X+290.2$	$R^2=0.9862$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 水泵馬力(HP)
11.端吸直結水泵	$Y=12.315X+116.47$	$R^2=0.9868$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 水泵馬力(HP)
12.進排氣風機	$Y=120.12X+52.123$	$R^2=0.9863$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 風車馬力(HP)
13.鍍鋅鋼管	$Y=6.9183X-7.8735$	$R^2=0.9917$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 鋼管直徑(in)
14.PVC管	$Y=0.4077X^{1.581}$	$R^2=0.995$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= PVC管直徑(in)
15.蝶閥	$Y=4.1738e^{0.2062X}$	$R^2=0.9939$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 閥體尺寸(in)
16.逆止閥	$Y=1.4789e^{0.3358X}$	$R^2=0.9775$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 閥體尺寸(in)
17.吸入端擴散器	$Y=33.648X-85.838$	$R^2=0.9652$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 閥體尺寸(in)
18.Y型過濾器	$Y=21.644X-47.328$	$R^2=0.9553$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 閥體尺寸(in)
19.平衡閥	$Y=1.4981X^{2.2038}$	$R^2=0.9711$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 閥體尺寸(in)
20.球塞閥	$Y=0.1922e^{1.3405X}$	$R^2=0.9942$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X= 閥體尺寸(in)
21.PVC電線	$Y=0.0247X+0.189$	$R^2=0.9985$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X=電線尺寸(m/m)
22.金屬電導管	$Y=0.0144X-0.1582$	$R^2=0.9901$	Y= CO ₂ 排放量(kg), X=電線尺寸(m/m)

表 2 室內送風機水管系統案例樣本一覽表

樣本編號	建築使用類型	空調裝置容量
NO.1	辦公大樓	空調主機 260RT×2 台。
NO.2	商場	空調主機 350RT×3 台。
NO.3	辦公大樓	空調主機 300RT×2 台。
NO.4	旅館	空調主機 300RT×2 台，200RT×1 台。
NO.5	辦公大樓	空調主機 160RT×1 台。
NO.6	辦公大樓	空調主機 350RT×3 台。
NO.7	醫院	空調主機 160RT×1 台，10RT×1 台。
NO.8	辦公大樓	空調主機 250RT×1 台。
NO.9	旅館	空調主機 360RT×1 台。
NO.10	醫院	空調主機 500RT×1 台，100RT×1 台。
NO.11	旅館	空調主機 200RT×1 台，400RT×1 台
NO.12	辦公大樓	空調主機 100RT×2 台。
NO.13	辦公大樓	空調主機 300RT×2 台。
NO.14	辦公大樓	空調主機 100RT×2 台。
NO.15	辦公大樓	空調主機 150RT×2 台。

表 3 空調箱風管系統案例樣本一覽表

樣本編號	建築使用類型	空調裝置容量
NO.1	集會禮堂	空調主機 140RT×1 台。
NO.2	集會禮堂	空調主機 145RT×1 台，40RT×1 台
NO.3	集會禮堂	空調主機 100RT×1 台。
NO.4	航空站	空調主機 110RT×2 台。
NO.5	辦公大樓	空調主機 140RT×3 台。
NO.6	量販店	空調主機 500RT×2 台。
NO.7	百貨商場	空調主機 600RT×3 台。
NO.8	辦公大樓	空調主機 180RT×1 台。
NO.9	辦公大樓	空調主機 200RT×2 台。
NO.10	量販店	空調主機 500RT×2 台。
NO.11	集會禮堂	空調主機 160RT×2 台。
NO.12	百貨商場	空調主機 600RT×3 台，300RT×1 台。

表 4 空調箱與室內送風機混合系統案例樣本一覽表

樣本編號	建築使用類型	空調裝置容量
NO.1	醫院	空調主機 300RT×2 台。
NO.2	醫院	空調主機 300RT×2 台。
NO.3	醫院	空調主機 400RT×2 台，40RT×1 台。
NO.4	展示館	空調主機 100RT×2 台。
NO.5	集會禮堂	空調主機 120RT×2 台。
NO.6	展示館	空調主機 80RT×1 台，60RT×1 台。
NO.7	辦公大樓	空調主機 200RT×1 台。
NO.8	辦公大樓	空調主機 240RT×2 台。
NO.9	辦公大樓	空調主機 100RT×1 台。
NO.10	辦公大樓	空調主機 250RT×2 台，140RT×1 台，50RT×1 台。
NO.11	集會禮堂	空調主機 200RT×2 台，125RT×1 台
NO.12	辦公大樓	空調主機 180RT×1 台。
NO.13	旅館	空調主機 300RT×2 台。
NO.14	展示館	空調主機 60RT×3 台，30RT×1 台，15 RT×2 台。
NO.15	旅館	空調主機 210RT×3 台。

表 5 室內送風機水管系統 CO₂ 排放量統計一覽表(本研究整理)

樣本編號	空調面積 (m ²)	空調裝置容量 冷凍噸(RT)	設備工程(1) Kg-CO ₂	配管工程(2) Kg-CO ₂	風管工程(3) Kg-CO ₂	配電與自控工程(4) Kg-CO ₂	(1)-(4)項合計 Kg-CO ₂	每冷凍噸排放量 Kg-CO ₂ /RT
NO.1	7722	520	48588	72212	7701	48007	176508	339
NO.2	15593	1050	110085	114290	22609	86396	333380	318
NO.3	8910	600	52769	58431	18183	17226	146609	244
NO.4	11880	800	102405	75314	7885	16338	201942	252
NO.5	2376	160	14384	21631	800	7160	43975	275
NO.6	15593	1050	110085	114290	22599	86396	333370	317
NO.7	2525	170	23210	16319	3209	7696	50434	297
NO.8	3713	250	51120	49165	14450	5403	120138	481
NO.9	5346	360	31909	41793	3725	7089	84516	235
NO.10	8910	600	55672	51312	15995	13219	136198	227
NO.11	8910	600	66023	53144	5102	6614	130883	218
NO.12	2970	200	17218	30925	2578	6591	57312	287
NO.13	8910	600	89629	100880	3995	17225	211729	353
NO.14	2970	200	22789	16908	3232	7203	50132	251
NO.15	4455	300	37968	35740	3831	6295	83834	279
合計			833854	852354	135894	338858	2160960	
平均值								292
標準差								66

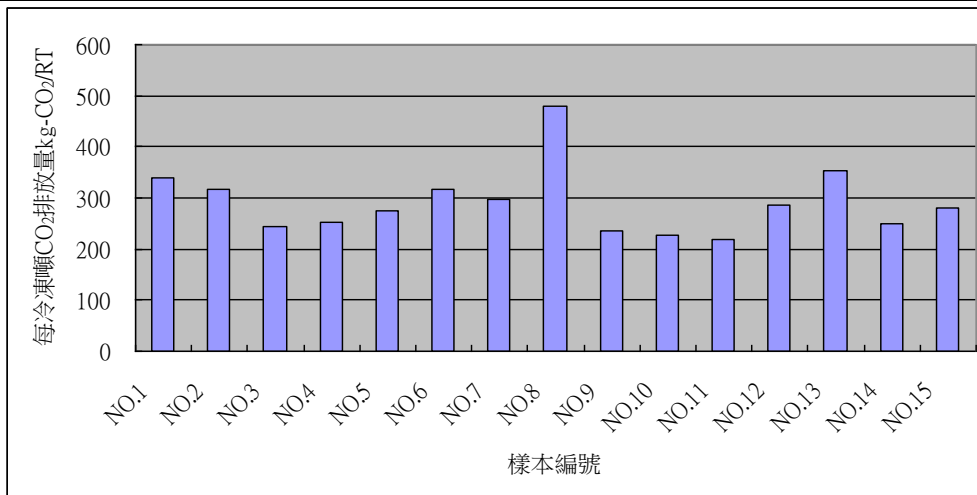


圖 1 室內送風機水管系統案例樣本每冷凍噸 CO₂ 排放量

式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 298.49 \times RT(\text{空調裝置容量 RT}) - 4387.3$, $R^2 = 0.9083$, 如圖 2 所示。如以空調使用面積為推估應用式, 則其推估應用式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 23.725 \times A^{0.9759}$ (空調面積 m^2), $R^2 = 0.9053$ 。

本案例建築空調工程四大類型工程 CO₂ 排放量各佔比例如圖 6 所示。設備工程 CO₂ 排放量佔總量之 41%，配管工程 CO₂ 排放量佔總量之 31.8%，風管工程 CO₂ 排放量佔總量之 19.2%，配電與自控工程 CO₂ 排放量佔總量之 7.7%，由圖 6 可知，空調箱風管系統

由於大量採用空調箱與風管系統，導致因增加空調箱設備，使設備工程 CO₂ 排放量為升高，而又採用風管系統，使配管工程 CO₂ 排放量下降。

3.2 空調箱風管系統 CO₂ 排放量案例樣本解析

建築空調工程內容由設備工程、配管工程、風管工程、配電與自動控制工程四大類型所組成。本研究以國內空調工程 12 個案例樣本，依其工程材料內容，藉由前章節所建立之空調設備材料 CO₂ 排放量資料庫，換算上述四大類型工程 CO₂ 排放量，本研究如表 6 所示。

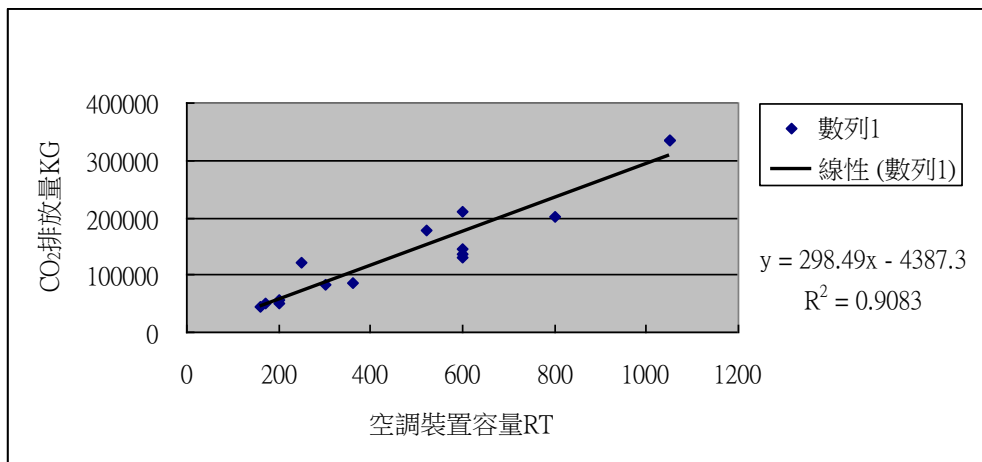


圖 2 室內送風機水管系統 CO₂ 排放量回歸推估應用式

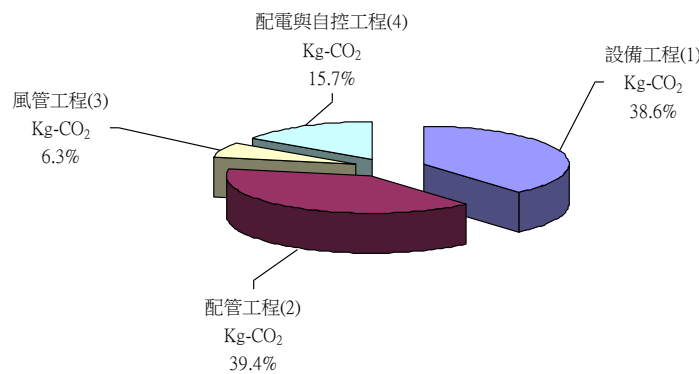


圖 3 室內送風機水管系統各類工程 CO₂ 排放量比例圖

表 6 空調箱風管系統 CO₂ 排放量統計一覽表(本研究整理)

樣本編號	空調面積 (m ²)	空調裝置容量 冷凍噸(RT)	設備工程(1) Kg-CO ₂	配管工程(2) Kg-CO ₂	風管工程(3) Kg-CO ₂	配電與自控工程(4) Kg-CO ₂	(1)~(4)項合計 Kg-CO ₂	每冷凍噸排放量 Kg-CO ₂ /RT
NO.1	2079	140	21795	12824	4422	12349	51390	367
NO.2	2747	185	18427	20664	4915	4104	48110	260
NO.3	1485	100	14293	18044	5297	3933	41567	416
NO.4	3267	220	35925	12069	2491	2290	52775	240
NO.5	6237	420	47981	31507	32100	14048	125636	299
NO.6	14850	1000	133895	81672	56041	36171	307779	308
NO.7	26730	1800	168275	151290	108583	37188	465336	259
NO.8	2673	180	21251	14152	6534	3693	45630	254
NO.9	5940	400	36869	47950	29068	6329	120216	301
NO.10	14850	1000	119328	74500	43943	24799	262570	263
NO.11	4752	320	32320	29503	8431	6660	76914	240
NO.12	31185	2100	231583	183832	107261	13556	536232	255
合計			881942	678007	409086	165120	2134155	
平均值								288
標準差								56

12 個案例樣本之個別樣本每冷凍噸 CO₂ 排放量如圖 4 所示，12 個案例樣本平均每冷凍噸排放量为 288kg-CO₂/RT，標準差為 56kg-CO₂/RT。

而其空調工程案例樣本 CO₂ 排放量回歸推估應用式如以空調裝置容量為推估應用式，則其推估應用式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 256.14 \times RT(\text{空調裝置容量 RT}) + 9968.3$ ， $R^2 = 0.9919$ ，如圖 5 所示。

如以空調使用面積為推估應用式，則其推估應用式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 35.742 \times A^{0.9283}$ (空

調面積 m²)， $R^2 = 0.9733$ 。

本案例建築空調工程四大類型工程 CO₂ 排放量各佔比例如圖 6 所示。設備工程 CO₂ 排放量佔總量之 41%，配管工程 CO₂ 排放量佔總量之 31.8%，風管工程 CO₂ 排放量佔總量之 19.2%，配電與自控工程 CO₂ 排放量佔總量之 7.7%，由圖 6 可知，空調箱風管系統由於大量採用空調箱與風管系統，導致因增加空調箱設備，使設備工程 CO₂ 排放量為升高，而又採用風管系統，使配管工程 CO₂ 排放量下降。

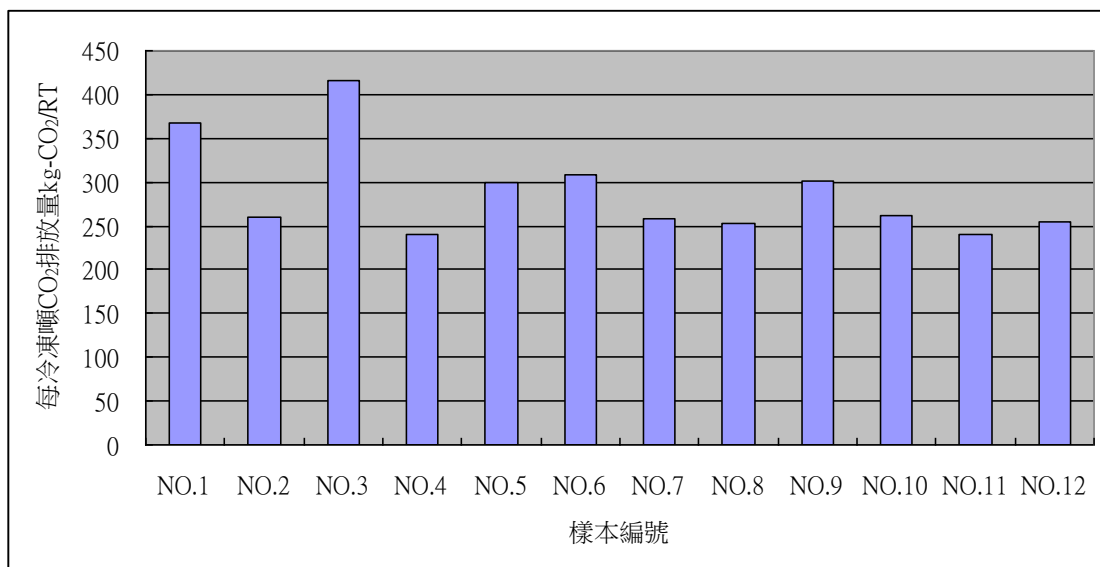


圖 4 空調箱風管系統案例樣本每冷凍噸 CO₂ 排放量

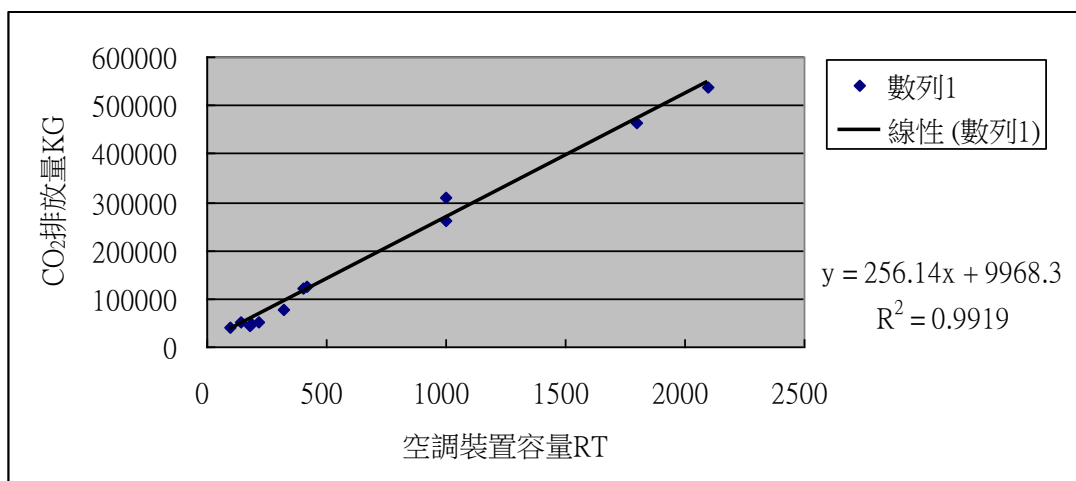


圖 5 空調箱風管系統 CO₂ 排放量回歸推估應用式

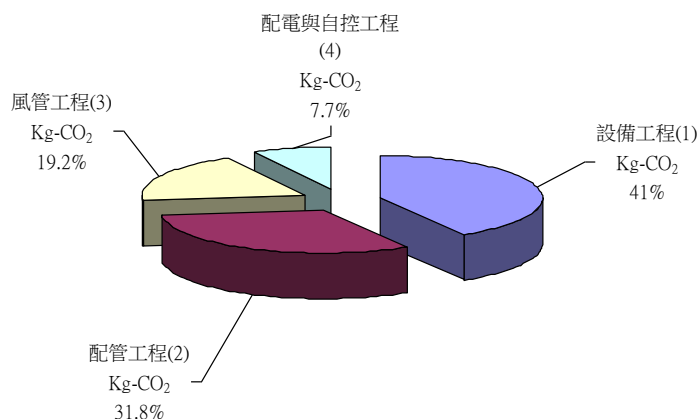


圖 6 空調箱風管系統各類工程 CO₂ 排放量比例圖

3.3 空調箱(AHU System)與室內送風機(FCU System)混合系統 CO₂ 排放量案例樣本解析

建築空調工程內容由設備工程、配管工程、風管工程、配電與自動控制工程四大類型所組成。本研究以國內空調工程 15 個案例樣本，依其工程材料內容，藉由前章節所建立之空調設備材料 CO₂ 排放量資料庫，換算上述四大類型工程 CO₂ 排放量，本研究如表 7 所示。

15 個案例樣本之個別樣本每冷凍噸 CO₂ 排放量如圖 7 所示，15 個案例樣本平均每冷凍噸排放量為 296 kg- CO₂/RT，標準差為 64 kg- CO₂/RT。

而其空調工程案例樣本 CO₂ 排放量回歸推估應用式如以空調裝置容量為推估應用式，則其推估應用式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 272.26 \times RT (\text{空調裝置容量 RT}) + 9698.4$ ， $R^2 = 0.902$ ，如圖 8 所示。如以空調使用面積為推估應用式，則其推估應用式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 9.0584 \times A^{1.0943} (\text{空調面積 m}^2)$ ， $R^2 = 0.9458$ 。

本案例建築空調工程四大類型工程 CO₂ 排放量各佔比例如圖 9 所示。設備工程 CO₂ 排放量佔總量之 38.4%，配管工程 CO₂ 排放量佔總量之 38.3%，風管工程 CO₂ 排放量佔總量之 12%，配電與自控工程 CO₂ 排放量佔總量之 11.3%，由圖 9 可知，AHU 與 FCU 混合使用於空調系統中，其配管工程及風管工程 CO₂ 排放量多寡，須有賴空調箱或室內送風機所使用數量來決定其兩者 CO₂ 排放量之增減。

3.4 全部案例樣本不分類系統 CO₂ 排放量案例樣本解析

本章節以全部 42 個案例樣本不分類，重新計算其 CO₂ 排放量，如表 7 所示。

42 個案例樣本之個別樣本每冷凍噸 CO₂ 排放量如圖 10 所示，42 個案例樣本平均每冷凍噸排放量為 292 kg- CO₂/RT，標準差為 61 kg- CO₂/RT。

而其空調工程案例樣本 CO₂ 排放量回歸推估應用式如以空調裝置容量為推估應用式，則其推估應用式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 263.5 \times RT (\text{空調裝置容量 RT}) + 10890$ ， $R^2 = 0.9346$ ，如圖 11 所示。如以空調使用面積為推估應用式，則其推估應用式為 $Y(\text{空調工程 CO}_2 \text{ 排放量 kg}) = 28.141 \times A^{0.9552} (\text{空調面積 m}^2)$ ， $R^2 = 0.921$ 。

本案例建築空調工程四大類型工程 CO₂ 排放量各佔比例如圖 4-12 所示。設備工程 CO₂ 排放量佔總量之 39.5%，配管工程 CO₂ 排放量佔總量之 36.4%，風管工程 CO₂ 排放量佔總量之 12.5%，配電與自控工程 CO₂ 排放量佔總量之 11.6%，由圖 12 可知，全部 42 個案例樣本所統計出來的各類工程 CO₂ 排放量，與 AHU&FCU 混合系統統計值類似，因此有待下一章節以變異數分析方法來確認當採用空調箱風管系統或室內送風機水管系統或兩者混合系統，其是否會影響建築空調工程整體每一冷凍噸 CO₂ 排放值。

將以上不同類型空調系統工程案例樣本 CO₂ 排放量推估應用式分別整理如表 8。

表 7 AHU 與 FCU 混合系統 CO₂ 排放量統計一覽表(本研究整理)

樣本編號	空調面積 (m ²)	空調裝置容量 冷凍噸(RT)	設備工程(1) Kg-CO ₂	配管工程(2) Kg-CO ₂	風管工程(3) Kg-CO ₂	配電與自控工程(4) Kg-CO ₂	(1)~(4)項合計 Kg-CO ₂	每冷凍噸排放量 Kg-CO ₂ /RT
NO.1	8910	600	66048	62529	11915	20193	160685	268
NO.2	8910	600	64610	45533	20554	18389	149086	248
NO.3	12474	840	54358	54106	24075	22591	155130	185
NO.4	2970	200	32653	22291	6662	2897	64503	323
NO.5	3564	240	29870	19941	6083	11103	66997	279
NO.6	2079	140	17777	14890	1436	3568	37671	269
NO.7	2970	200	29319	29310	6305	11135	76069	380
NO.8	7128	480	53820	53438	13946	18836	140040	292
NO.9	1485	100	9006	8692	3017	1140	21855	219
NO.10	10247	690	103283	130586	26325	27647	287841	417
NO.11	7796	525	57084	75797	52455	21958	207294	395
NO.12	2673	180	30180	16533	1827	3843	52383	291
NO.13	8910	600	65524	56455	24758	12869	159606	266
NO.14	3564	240	26299	25107	5603	11362	68371	285
NO.15	9356	630	71855	92961	17843	20986	203645	323
合計			711686	708169	222804	208517	1851176	
平均值								296
標準差								64

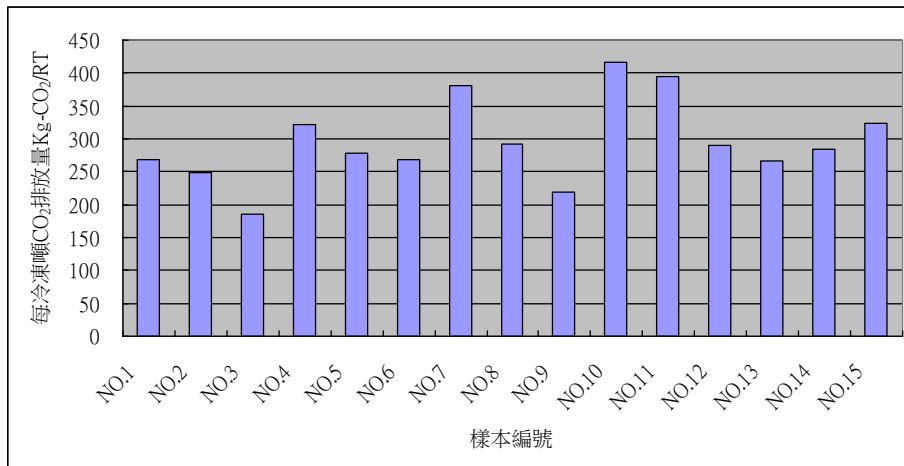


圖 7AHU 與 FCU 混合系統案例樣本每冷凍噸 CO₂ 排放量

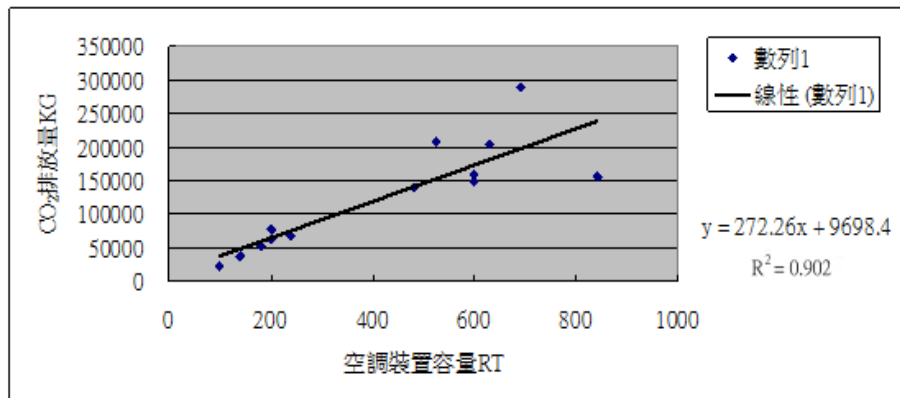


圖 8AHU 與 FCU 混合系統 CO₂ 排放量回歸推估應用式

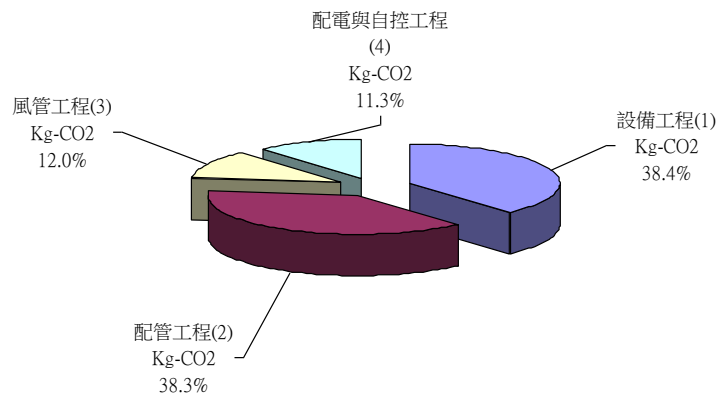


圖 9 AHU 與 FCU 混合系統各類工程 CO₂ 排放量比例圖

表 7 全部案例樣本不分類系統 CO₂ 排放量統計一覽表(本研究整理)

樣本 號	空調面積 (m ²)	空調裝置容量 冷凍噸(RT)	設備工程(1) Kg-CO ₂	配管工程(2) Kg-CO ₂	風管工程(3) Kg-CO ₂	配電與自控工程(4) Kg-CO ₂	(1)-(4)項合計 Kg-CO ₂	每冷凍噸排放量 Kg-CO ₂ /RT
NO.1	7722	520	48588	72212	7701	48007	176508	339
NO.2	15593	1050	110085	114290	22609	86396	333380	318
NO.3	8910	600	52769	58431	18183	17226	146609	244
NO.4	11880	800	102405	75314	7885	16338	201942	252
NO.5	2376	160	14384	21631	800	7160	43975	275
NO.6	15593	1050	110085	114290	22599	86396	333370	317
NO.7	2525	170	23210	16319	3209	7696	50434	297
NO.8	3713	250	51120	49165	14450	5403	120138	481
NO.9	5346	360	31909	41793	3725	7089	84516	235
NO.10	8910	600	55672	51312	15995	13219	136198	227
NO.11	8910	600	66023	53144	5102	6614	130883	218
NO.12	2970	200	17218	30925	2578	6591	57312	287
NO.13	8910	600	89629	100880	3995	17225	211729	353
NO.14	2970	200	22789	16908	3232	7203	50132	251
NO.15	4455	300	37968	35740	3831	6295	83834	279
NO.16	2079	140	21795	12824	4422	12349	51390	367
NO.17	2747	185	18427	20664	4915	4104	48110	260
NO.18	1485	100	14293	18044	5297	3933	41567	416
NO.19	3267	220	35925	12069	2491	2290	52775	240
NO.20	6237	420	47981	31507	32100	14048	125636	299
NO.21	14850	1000	133895	81672	56041	36171	307779	308
NO.22	26730	1800	168275	151290	108583	37188	465336	259
NO.23	2673	180	21251	14152	6534	3693	45630	254
NO.24	5940	400	36869	47950	29068	6329	120216	301
NO.25	14850	1000	119328	74500	43943	24799	262570	263
NO.26	4752	320	32320	29503	8431	6660	76914	240
NO.27	31185	2100	231583	183832	107261	13556	536232	255
NO.28	8910	600	66048	62529	11915	20193	160685	268
NO.29	8910	600	64610	45533	20554	18389	149086	248
NO.30	12474	840	54358	54106	24075	22591	155130	185
NO.31	2970	200	32653	22291	6662	2897	64503	323
NO.32	3564	240	29870	19941	6083	11103	66997	279
NO.33	2079	140	17777	14890	1436	3568	37671	269
NO.34	2970	200	29319	29310	6305	11135	76069	380
NO.35	7128	480	53820	53438	13946	18836	140040	292
NO.36	1485	100	9006	8692	3017	1140	21855	219
NO.37	10247	690	103283	130586	26325	27647	287841	417
NO.38	7796	525	57084	75797	52455	21958	207294	395
NO.39	2673	180	30180	16533	1827	3843	52383	291
NO.40	8910	600	65524	56455	24758	12869	159606	266
NO.41	3564	240	26299	25107	5603	11362	68371	285
NO.42	9356	630	71855	92961	17843	20986	203645	323
合計			2427482	2238530	767784	712495	6146291	
平均值								292

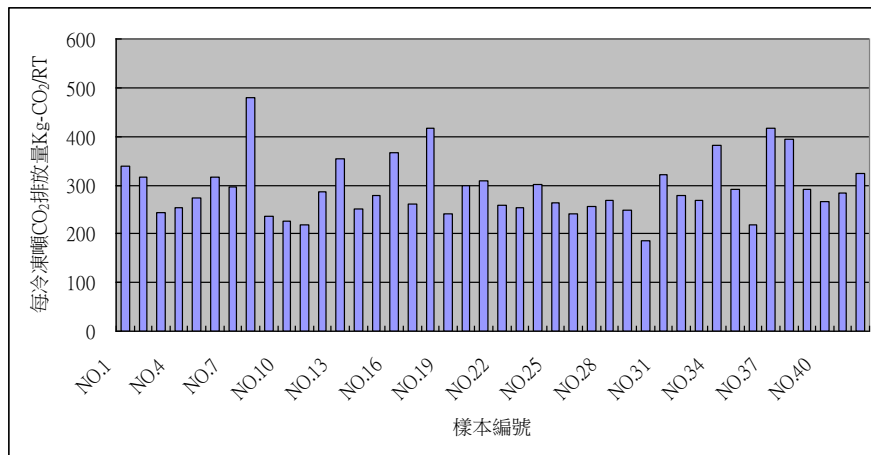


圖 10 全部案例樣本每冷凍噸 CO₂ 排放量

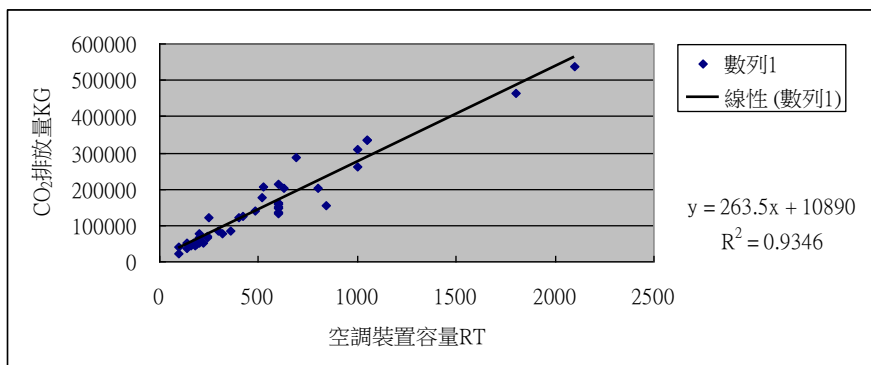


圖 11 全部案例樣本 CO₂ 排放量回歸推估應用式

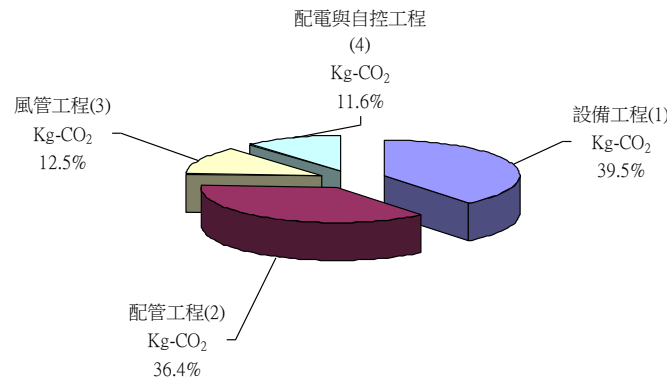


圖 12 全部案例樣本各類工程 CO₂ 排放量比例圖

表 8 不同類型空調系統工程案例樣本 CO₂ 排放量推估應用式(本研究整理)

空調系統工程類型	以空調裝置容量(RT)推估應用式	以空調面積(m ²)推估應用式
室內送風機水管系統	$Y(\text{kg-CO}_2) = 298.49 \times \text{RT} - 4387.3$, $R^2 = 0.9083$	$Y((\text{kg-CO}_2)) = 23.725 \times A^{0.9759}$ (m ²) , $R^2 = 0.9053$
空調箱風管系統	$Y(\text{kg-CO}_2) = 256.14 \times \text{RT} + 9968.3$, $R^2 = 0.9919$	$Y((\text{kg-CO}_2)) = 35.742 \times A^{0.9283}$ (m ²) , $R^2 = 0.9733$
空調箱與室內送風機混合系統	$Y(\text{kg-CO}_2) = 272.26 \times \text{RT} + 9698.4$, $R^2 = 0.902$	$Y((\text{kg-CO}_2)) = 9.0584 \times A^{1.0943}$ (m ²) , $R^2 = 0.9458$
全部案例樣本不分類系統	$Y(\text{kg-CO}_2) = 263.5 \times \text{RT} + 10890$, $R^2 = 0.9346$	$Y((\text{kg-CO}_2)) = 28.141 \times A^{0.9552}$ (m ²) , $R^2 = 0.921$

四、結論

建築設備資材 CO₂ 排放量資料庫是未來建築碳評估足跡最重要的評估工具，本研究以筆者之前所建立 300 餘項國內本土空調設備資材 CO₂ 排放量資料庫為基礎，並加以精簡完成 22 項設備產品的 CO₂ 排放量推估公式，更以 42 個不同空調使用類型樣本，分別解析其單位冷凍噸或樓地板面積所產生之 CO₂ 排放量，並建立簡易回歸推估應用式，對於空調系統的 CO₂ 排放量有精確的預測能力，方便建築物初期設計階段來預估空調工程 CO₂ 排放量。

本研究結果可提供空調工程設計者以簡易應用式來進行對地球環境衝擊評估，對綠建築的永續設計與建築碳足跡評估有具體貢獻，本研究今後將繼續加入特殊空調節能設備之 CO₂ 排放量研究，希望能夠進一步研擬出可預測全面性空調系統的 CO₂ 排放量評估法，進而達到建立建築產業 CO₂ 減量功效。

參考文獻

- 王育忠 (2007)。《建築空調設備生命週期二氧化碳排放量評估》。未出版之碩士論文。國立成功大學建築研究所，台南市。
- 林憲德 (2014)。《建築碳足跡(上)-評估理論篇》。台北市：詹氏書局。
- 張又升 (2002)。《建築物生命週期二氧化碳減量評估》。未出版之博士論文。國立成功大學建築研究所，台南市。
- 曾正雄 (2006)。《公寓住宅設備管線二氧化碳排放量評估》。未出版之碩士論文。國立成功大學建築研究所，台南市。
- 黃國倉 (2006)。《辦公室建築生命週期節能與二氧化碳減量評估之研究》。未出版之博士論文。國立成功大學建築研究所，台南市。

趙又蟬 (2004)。《百貨公司室內裝修生命週期二氧化碳排放量評估》。未出版之碩士論文。國立成功大學建築研究所，台南市。

REFERENCES in English

- Chang, Y. S. (2002). *Life Cycle Assessment on the Reduction of Carbon Dioxide Emission of Buildings*. Department of Architecture, National Cheng Kung University, Tainan.
- Chao, Y. C. (2004). *Life Cycle Assessment on Carbon Dioxide Emission of the Interior of Department Stores*. Unpublished master's thesis. Department of Architecture, National Cheng Kung University, Tainan.
- Hung, K. C. (2006). *Research on Life Cycle Energy Conservation and Carbon Dioxide Emission Assessment of Office Buildings*. Department of Architecture, National Cheng Kung University, Tainan.
- Lin, H. T. (2014). *The Carbon Footprint of Buildings (Part One) Assessment and Theory*. Taipei: CHAN'S Arch-Publishing CO., LTD.
- Tseng, C. H. (2006). *Evaluation of Carbon Dioxide Emission of Apartment Buildings in Taiwan*. Unpublished master's thesis. Department of Architecture, National Cheng Kung University, Tainan.
- Wang, Y. C. (2007). *Life Cycle Assessment on Carbon Dioxide Emission of Air Conditioning Equipments Used in Buildings*. Unpublished master's thesis. Department of Architecture, National Cheng Kung University, Tainan.