

空調節能設備與能源系統碳排放分析

Carbon Emission Analysis of Air-Conditioning Equipments and Energy System

駱文傑¹、林志樺²、曹瑋哲²

Win-Jet Luo¹, Jhih-Hua Lin², and Wei-Je Tsoa²

¹ 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系

¹ Department of Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering,
National Chin-Yi University of Technology

E-mail: wjluo@ncut.edu.tw

² 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系

² Department of Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering,
National Chin-Yi University of Technology

² 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系

² Department of Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering,
National Chin-Yi University of Technology

摘要

自工業革命以來，由於人類大量利用及燃燒化石燃料，導致大氣中溫室氣體濃度大幅提高，十九世紀後則呈直線的增加。為穩定全球氣候，科學界希望抑制大氣中二氧化碳濃度，但已遠超過大自然本身的植物光合作用及海水吸收速率，則在公元 2000 年後全球二氧化碳就必須持續減少；本國受到溫室效應的影響已經大於全球均值，在全球節能與環保意識抬頭，減少地球資源的消耗，自然環境的保護，為達此目標必須減少 CO₂ 排放量；本研究建立全熱交換器 CO₂ 排放量推估回歸公式 $y=0.0755x+1.1785$ ， $R^2=0.9935$ ；汽源式熱泵 CO₂ 排放量推估回歸公式 $y=26.543x+14.395$ ， $R^2=1$ ，並由二氧化碳減量立場評估一新設熱泵系統約 2.43 週即可回收其新設設備產生之二氧化碳。

關鍵字詞：生命週期、二氧化碳排放、空調設備、熱泵

Abstract

In the study, the carbon dioxide emission of air-conditioning equipment, total heat recovery and heat pump with air sources were analyzed. Two linear regressions of the carbon emission $y=0.0755x+1.1785$, $R^2=0.9935$ and $y=26.543x+14.395$, $R^2=1$ of the equipments were developed. For a newly built heat pump system, the carbon dioxide emission of the equipments within the system can be recovered by the energy saving of the new system after 2.43 week operation time.

Keywords: Life Cycle Assessment、carbon dioxide emission、air-conditioning equipment、heat pump

1. 前言

多年以來，我國因偏重經濟發展而忽視環境保護的產業政策，在締造經濟發展奇蹟的同時，也使得國人賴以生存的環境遭受到相當程度的破壞。其中，能源密集產業因其為基礎或民生工業，在政府的支持下，得以快速發展。這個結果，使得我國在無自產能源的情況下，導致我國能源需求密集度高居不下，大量使用化石能源而產生

嚴重空氣污染及溫室氣體效應【1】。

依據國際能源總署（International Energy Agency, 簡稱 IEA）的資料，台灣的 CO₂ 排放量在 1990 年為 115.55 百萬公噸，到 1995 年增為 166.88 百萬公噸，增加 44.4%；在同期間每人平均 CO₂ 排放量由 5.71 公噸增為 7.83 公噸，增加 37.1%，平均年增加率為 7.2%，每人平均排放量達 8 公噸。1997 年每人平均排放量已達 10.28 公

噸，比1990年的水準增加80%【2】。

台灣整體CO₂排放量趨勢得知，1990年至2005年間累積成長134.6%，平均年成長率5.9%，如圖1所示。



圖 1. 1990 年至 2005 年間台灣的 CO₂ 排放趨勢與每人平均排放量【3】。

從 2011 年台灣氣候科學報告中可以看到，以台北、台中、台南、恆春、台東、花蓮此六個具 100 年以上完整觀測紀錄的氣象觀測站資料計算，發現台灣年平均溫度在 1911 年至 2009 年期間上升了 1.4°C，其增溫速率相當於每 10 年上升 0.14°C，較全球平均值高(全球每 10 年上升 0.074°C)，台灣近 30 年(1980~2009)氣溫增加明顯加快，每 10 年的上升幅度為 0.29°C，幾乎是百年趨勢值的兩倍，如下圖 2【4】。

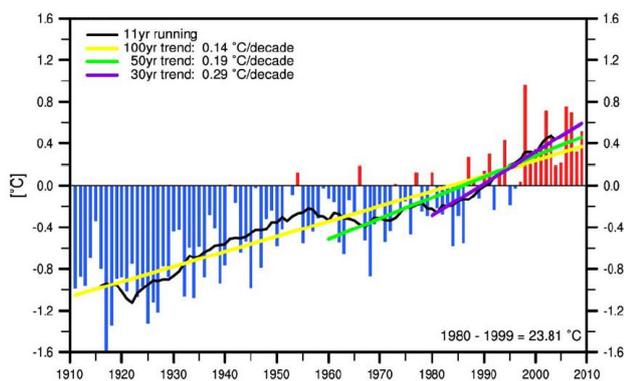


圖 2. 1911 年至 2009 年台灣年均溫，黑線表示 11 年滑動平均的結果，黃線為 100 年回歸線，綠線為 50 年回歸線，紫線為 30 年回歸線【4】。

由此兩項研究報告來看，台灣近年來的CO₂

排放量顯得十分突出，這種增加速度已經對台灣產生嚴重的溫室效應，若持續下，未來必造成台灣經濟發展的大危機；本研究延續發展成功大學建築研究所張又升、王育忠博士論文等之研究，針對空調設備CO₂排放量評估，為台灣建築物生命週期環境負荷解析，藉由補充空調設備CO₂排放量評估資料庫，讓我們在空調系統工程建造設計時即可推估其環境負荷量，對於空調系統工程所造成的環境破壞加以量化評估。

2 文獻回顧

在國內近年來對於生命週期評估之研究已經可以看到許多研究成果，尤其在針對建築物生命週期評估中可看到張又升分別在 1997【5】與 2002【6】研究成果中對於建築物由生產至消滅過程中進行整體性的生命週期評估，其節能設計達 50%的建築物，其 LCE 降低 43%；2002 年針對本土化台灣建築物建立 CO₂排放量評估法，以求得最有效的 CO₂排放減量對策。

曾正雄在公寓住宅設備管線二氧化碳排放量評估【7】研究中指出電氣工程產生 CO₂排放量最多，佔總設備管線的 43.4%；依序為消防工程佔總設備管線的 29.4%；而給排水工程，佔總設備管線的 27.2%。

趙又嬋在百貨公司室內裝修生命週期二氧化碳排放量評估【8】的研究顯示得出百貨公司天花板類室內裝修CO₂排放量為7.84kg-CO₂/fl·area·m²，地坪類CO₂排放量為0.74 kg-CO₂/fl·area·m²，牆面類CO₂排放量為6.92kg-CO₂/fl·area·m²，家具類CO₂排放量為5.86 kg-CO₂/fl·area·m²，室內裝修單位面積總CO₂排放量為21.37kg-CO₂/fl·area·m²。

林建隆在住宅設備生命週期二氧化碳排放量解析研究【9】中建構住宅設備生命週期CO₂估算模式，並建立住宅設備CO₂排放量資料庫。

3.實驗流程

本研究統計部份空調設備的 CO₂ 排放量

並建立各項空調設備 CO₂ 排放量推估公式，並根據王育忠博士研究建築空調設備生命週期二氧化碳排放量評估中相關設備 CO₂ 排放量，推估新設熱泵熱水系統使用設備之 CO₂ 排放量，並配合熱泵節能效益分析，以 CO₂ 排放量立場評估對環境產生的衝擊，研究流程如下圖.3。

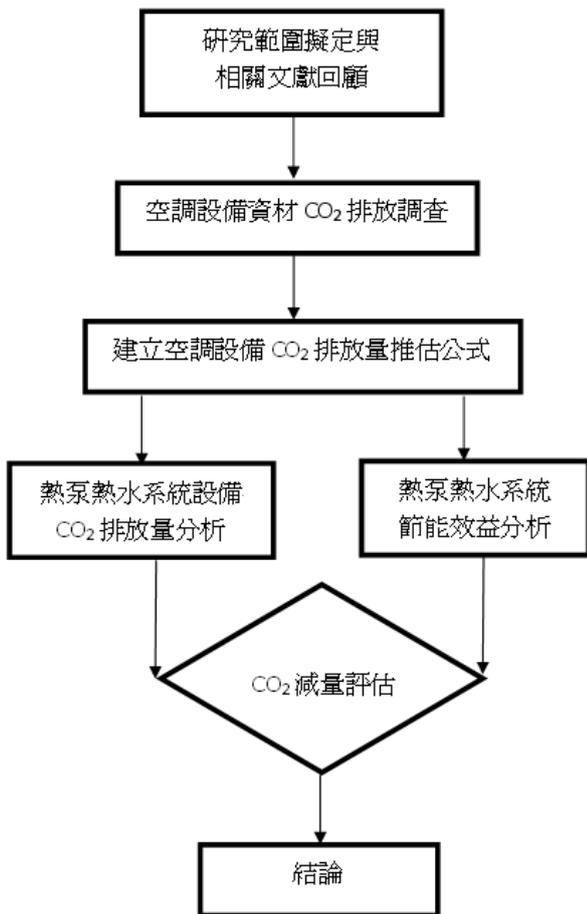


圖 3. 實驗流程圖

4. 生命週期評估 (Life Cycle Assessment)

生命週期評估 (Life Cycle Assessment) 是用來評估一項產品在整個生命過程中對環境產生的衝擊，而產品的生命過程包括從原料的取得、製造、使用、廢棄等階段組成；最早的生命週期評估研究可追溯到1969年，在可口可樂公司中研究人員針對不同飲料容器進行生命週期評估，分析容器的原料與燃料的使用對於環境的負荷影響，將其量化比較，直到近期成為各研究單位受歡迎的系統工具；生命週期評估有時也被稱為生

命週期分析 (life cycle analysis)，生命週期辦法 (life cycle approach)，從搖籃到墳墓的分析 (cradle to grave analysis) 或在歐洲被稱為 Ecobalance 【10】。

4.1 生命週期評估架構

根據國際標準組織ISO訂定，對於完整的生命週期評估由ISO-14040系列等四個標準組成【11】，其四個標準相對關係如下圖4所示：

1. ISO 14040-目標訂定(Goal definition)：

界定研究的目標與範圍，確定生命週期評估使用的對象，使評估結果與預期之應用目標一致。

2. ISO 14041-盤查分析(Inventory analysis)：

盤查分析包括了評估所需相關資料收集及輸入、輸出資料的量化工作。

3. ISO 14042-衝擊評估 (Impact assessment)：

原材料和能源消耗對大氣和海洋排放結果分析，評估對環境產生的衝擊。

4. ISO 14043-結果闡釋 (Interpretation)：

從生命週期評估結果得出結論，並提供提升產品環境保護貢獻訊息。

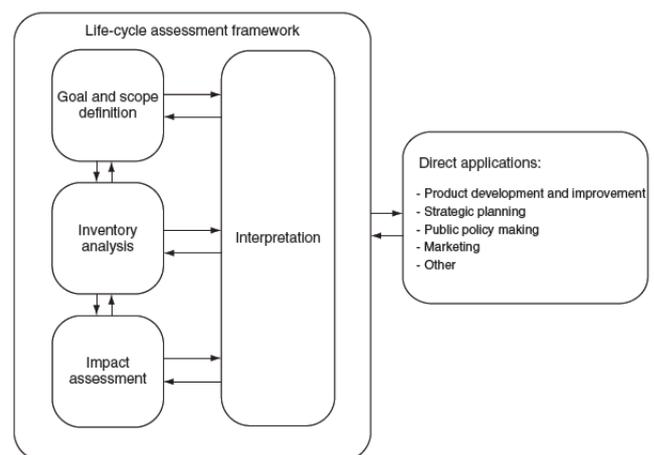


圖 4. 生命週期評估的各階段相對關係【12】

4.2 建築物生命週期的CO₂排放量統計方法

在建築物生命週期的 CO₂排放量統計方法上，國外在此領域已經有先驅的研究成果，日本在此方面已研究多年，並建立以下三種針對建材

生產對於環境負荷的統計方法【13】：

1. 產業關連表統計法
2. 限定間接需要算法
3. 生產線直接耗能統計法

由於上述三種方法使用的理論差異太大，故同一建材使用不同的方法統計環境負荷量時，其間的差異也甚大，因此不同方法之間根本無法比較，也不能混合著運用到同一研究案上。只有在同一理論下的環境負荷量評估，才具有可靠的價值。張又升以最直接可信的生產線直接耗能統計法，作為台灣建築物生命週期二氧化碳排放量的研究，進行相關建材調查分析與基礎資料統計，完成台灣建築材料生命週期二氧化碳排放量的研究數據，為台灣建築物生命週期環境負荷解析，建立完整而重要的基礎資料【5】。此資料庫已成為建築物生命週期的二氧化碳排放量源引的重要資料庫，亦是本研究空調設備基礎環境負荷量的源引數值來源。

4.3 熱泵系統節能效益

本研究熱泵改善效率依據綠基會 ESCO 公佈之『熱水加熱系統汰換為熱泵系統之節能績效量測與驗證方法』，空氣源熱泵採用「熱泵節能-B-03」方法，量測專案改善前後單位熱水熱值的能耗量，驗證節能績效【14】。

(1) 改善前建立計算方式：

基準線單位熱水熱值之耗能 E_{base-u} (Mcal/Mcal)，如下式1，下圖5：

$$E_{base-u} = \frac{\sum_1^D \left(\frac{Q_{f-d} \times HV_{f-u}}{10^3 (kcal/Mcal)} \right)}{\sum_1^D \left\{ \frac{[V_{hw-d-b} \times (T_{hwo-dav-b} - T_{hwi-dav-b})] \times \rho_w \times C_{pw}}{10^3 (kcal/Mcal)} \right\}}$$

式1. 改善前計算方式

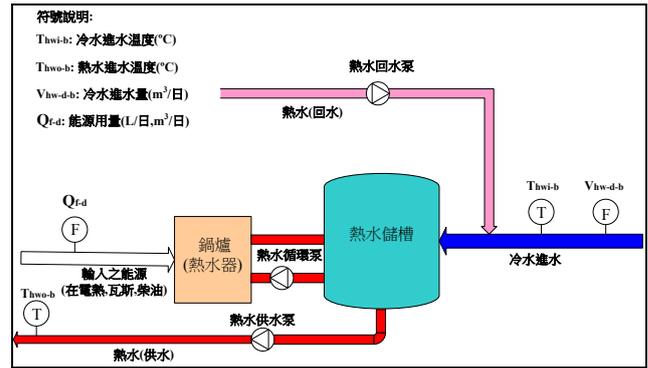


圖 5. 改善前量測示意圖

(2) 改善後建立計算方式：

改善後單位熱水熱值耗能 E_{post-u} (Mcal/Mcal)，如下式2，下圖5：

$$E_{post-u} = \frac{\sum_1^D \left(\frac{(Q_{e-d} - H_{chw-d} \times \eta_{chw}) \times HV_{e-u}}{10^3 (kcal/Mcal)} \right)}{\sum_1^D \left\{ \frac{[V_{hw-d-b} \times (T_{hwo-dav-b} - T_{hwi-dav-b})] \times \rho_w \times C_{pw}}{10^3 (kcal/Mcal)} \right\}}$$

式2. 改善後計算方式

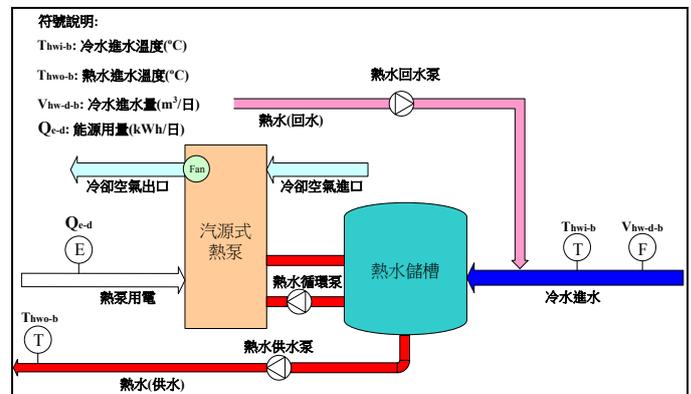


圖 6. 改善後測試示意圖

D：短暫量測期間的天數(日)

Q_{e-d} ：熱泵每日所需之能源用量(電-kWh/日)

V_{hw-d-b} ：每日的冷水進水量(m^3 /日)

$T_{hwi-dav-b}$ ：冷水日平均進水溫度($^{\circ}C$)

$T_{hwo-dav-b}$ ：熱水日平均供水溫度($^{\circ}C$)

HV_{e-u} ：使用能源的單位熱值(電-860 kcal/kWh)

HV_{f-u} ：使用能源的單位熱值(柴油-8816 kcal/L)

ρ_w : 水之密度 = 1000 (kg/m³)

C_{pw} : 水之比熱 = 1.0 (kcal/kg-°C)

Hchw-d : 熱泵循環冰水提供之日平均冷凍能力 (RT-H/日)

η_{chw} : 既有空調每冷凍噸所消耗電力 (KW /RT)

5. 空調設備 CO₂ 排放資料建立

本研究新建立全熱交換器 CO₂ 排放量資料，此設備依機組排風量作為規格劃分由 250CMH 至 2000CMH，本 CO₂ 排放資料建立中其設備使用原物料為重要依據之一，由研究統計可看出熱交換器原物料之組成百分比，並透過計算可得到全熱交換器 CO₂ 排放推估公式 $y = 0.0755x^{1.1785}$ ， $R^2 = 0.9935$ 及其回歸曲線，如下表.1、圖.7、圖.8。

表 1. 全熱交換器 CO₂ 排放量

機組風量 (CMH)	機組 CO ₂ 排放量(KG)
250	51.29
350	75.71
500	103.49
800	209.38
1000	267.87
1500	457.04
2000	532.22

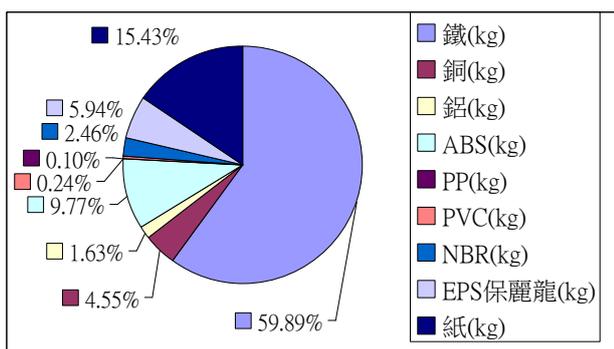


圖 7. 全熱交換器原物料之組成百分比。

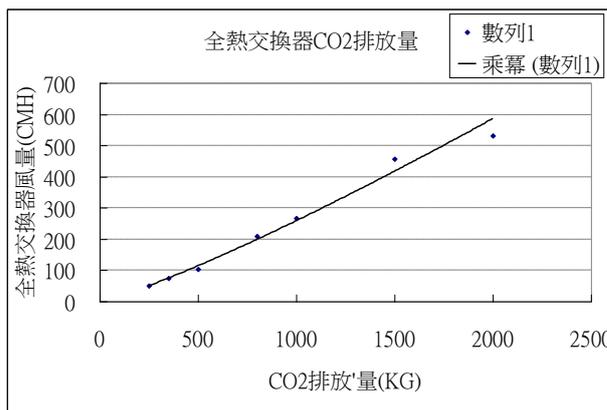


圖 8. 全熱交換器 CO₂ 排放量推估回歸公式 $y = 0.0755x^{1.1785}$ ， $R^2 = 0.9935$ 。

本研究新建立汽源式熱泵 CO₂ 排放量資料，此設備依機組製熱能力作為規格劃分由 1.39RT 至 2.31RT，本 CO₂ 排放資料建立中其設備使用原物料為重要依據之一，由研究統計可看出汽源式熱泵原物料之組成百分比，並透過計算可得到 CO₂ 排放推估公式 $y = 26.543x + 14.395$ ， $R^2 = 1$ 及其回歸曲線，如下表.2、圖.9、圖.10。

表 2. 汽源式熱泵 CO₂ 排放量

機組製熱能力(RT)	機組 CO ₂ 排放量(KG)
1.39	51.29
2.31	75.71

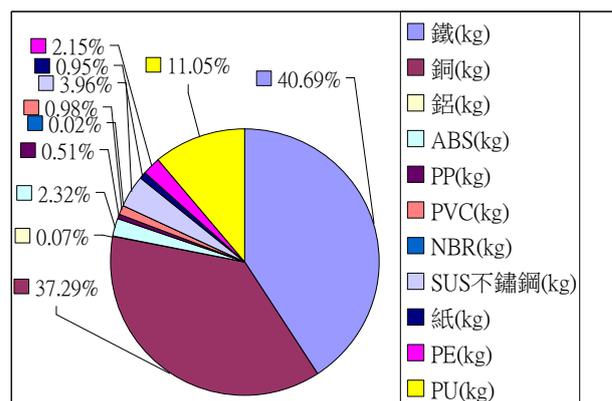


圖 9. 汽源式熱泵原物料之組成百分比。

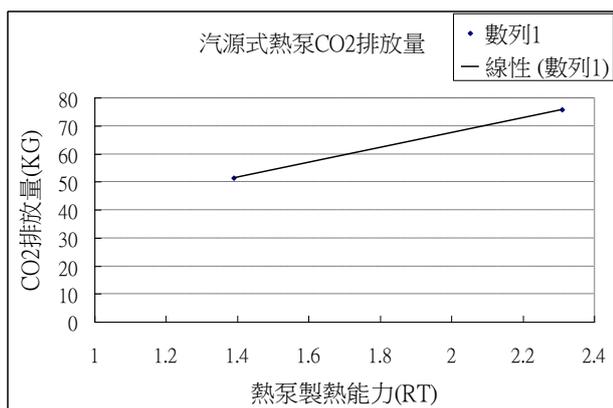


圖 10. 汽源式熱泵 CO₂ 排放量推估回歸公式
 $y = 26.543x + 14.395, R^2 = 1$ 。

5.1 熱泵系統設備 CO₂ 排放資料

本研究熱泵系統設備 CO₂ 排放資料，此新設系統為國內大學學生宿舍熱水系統改善案，其系統使用 17RT 汽源式熱泵配合既有熱水鍋爐產生熱水，減少柴油用量，本研究熱泵系統設備 CO₂ 排放資料，下表 3。

表 3. 熱泵系統設備 CO₂ 排放量

設備	各設備碳排 (kg)	設備總碳排 (kg)
1"閘門閥	3.55	1095.43
1-1/2"閘門閥	13.86	
1"逆止閥	4.138	
1-1/2"逆止閥	4.894	
3"逆止閥	4.24	
3"蝶閥	29.12	
汽源式熱泵主機	245.255	
熱水幫浦	442.375	
熱水儲槽		
3" PVC 管	30.325	
1" SUS 管	20.47	
1-1/2" SUS 管	71.55	

5.2 熱泵系統設備改善前後比較

本研究將使用柴油 (L) 及耗電量 (kWh) 轉換成能量 (kcal)，比較其減少使用能量，再將其減少能量轉換成柴油使用量，透過每公升才由產生 CO₂，便可預測新設設備需多時間便可回收其新設設備產生之 CO₂ 排放

量，如下表 4。

表 4. 熱泵系統改善前後比較表(一周)

項目	改善前	改善後	
設備編號	柴油 鍋爐	柴油 鍋爐	熱泵 主機
耗油量(L/周)	348/	160	
耗電量(kWh/周)			218.24
減少耗能(kcal/周)	1469721		
減少耗油量(L/周)	166.7		
減少 CO ₂ (kg/周)	450.11		

6. 結論

由本研究可得知全熱交換器 CO₂ 排放量推估回歸公式 $y = 0.0755x^{1.1785}$ ， $R^2 = 0.9935$ ；汽源式熱泵 CO₂ 排放量推估回歸公式 $y = 26.543x + 14.395$ ， $R^2 = 1$ 。

若已本實驗案例推估本熱泵系統設備約產生 1095.43kg 二氧化碳，若以二氧化碳減量立場來評估節能效益約 2.43 週便可回收其新設設備產生之二氧化碳。

7. 參考文獻

- 1.王京明, 柏雲昌, 空氣污染防治政策之總體經濟影響評估—調整產業結構以減少溫室氣體排放對經濟成長的影響, 1999。
- 2.王育忠, 建築空調設備生命週期二氧化碳排放量評估, 2007
- 3.許振邦 吳再益等人, 溫室氣體減量政策對能源政策之影響及因應對策, 2006。
- 4.許晃雄, 吳宜昭等人, 台灣氣候變遷科學報告, 2011。
- 5.張又升, RC 建築物生命週期環靜負荷評估-以耗能量與溫室氣體排放量解析, 1997。
- 6.張又升, 建築物生命週期二氧化碳減量評估 2002。
- 7.曾正雄, 公寓住宅設備管線二氧化碳排放量評估, 2006。
- 8.趙又嬋, 百貨公司室內裝修生命週期二氧化碳排放量評估, 2004。

9. 林建隆，住宅設備生命週期二氧化碳排放量解析，2003。
10. Allan Astrup Jensen, Leif Hoffman, Life Cycle Assessment(LCA)-A guide to approaches, experiences and information sources，1997。
11. Reginald B.H. Tan, Hsien H. Khoo, Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios，2005。
12. M A Curran*, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Life-Cycle Assessment，2008。
13. 空氣調和・衛生工學會，「地球環境時代.... 建築設備. 課題」，空氣調和・衛生工學會，1995。
14. 台灣綠色生產力基金會節約能源中心，熱水加熱系統汰換為熱泵系統之節能績效量測與驗證方法，2007