

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

綠建築評估指標中空調系統節能評估法之改進研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2212-E-039-001-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：中國醫藥大學職業安全與衛生系

計畫主持人：黃瑞隆

計畫參與人員：黃教誠, 簡瑞宏

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 17 日

綠建築評估指標中空調系統節能評估法的改進研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2212-E-039-001

執行期間：93年8月1日至 94年7月31日

計畫主持人：黃瑞隆

共同主持人：

計畫參與人員：黃教誠、簡瑞宏

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：

中 華 民 國 94 年 10 月 15 日

綠建築評估指標中空調系統節能評估法的改進研究

黃瑞隆

中國醫藥大學職業安全與衛生學系

摘要

綠建築的空調系統節能評估 EAC 係針對大型中央空調系統而發展的，但仍將大型分離式系統或稱變冷媒 VRV 空調系統列為法定中央空調系統。使用原先之中央空調系統評估方式評定 VRV 系統可能造成不適用，因此有修正 EAC 公式以符合實際情況之需要。

本研究發現超量設計對於 VRV 空調系統的耗電量的影響是有限的。對於 VRV 系統而言，EAC 並非隨 HSC 成比例增加。VRV 的節能效率 $\alpha 4$ 值，應由實際不同空調系統節能效率之優劣決定，不應直接認定其 $\alpha 4$ 值為 0.2。本研究藉由空調系統之總部份負載效率 IPLV 與主機效率 COP 所建立之預測公式可精確計算出不同系統 $\alpha 4$ 值。由於 VRV 系統無冰水泵，延用原公式的加權比重，可能導致 EAC 評估相當程度之誤差。根據本研究分析空調系統室內機與室外機之耗電量，重新修正 VRV 系統項目的加權比重室外機耗電應為 90%，室內機耗電應為 10%。

關鍵字：EAC, 變冷媒空調系統, 綠建築

The study of improvement of air-conditioning system energy consumption evaluating method in green building evaluation index

Ruey-Lung Hwang

Department of Occupational Safety and Health

China Medical University

Abstract

The EAC index for Green building evaluation system was developed for central air-conditioning systems. VRV is not belong to central air-conditioning system but still be compel to carry on EAC. Because some problems were found during compliance, it needs to modify the EAC equation for VRV system.

The influence of oversize ratio of VRV system on EAC is in a small extent rather than in proportional way, indicated in EAC equation. The energy saving coefficient t (α_4) of VRV should be a function of IPLV not a constant value of 0.2. The weighting factors of energy consumption for outdoor units (plant system) and indoor units (fan system) was adjusted to 0.9:0.1 for VRV system.

Keywords: EAC, VRV, Green Building

一、緒論

根據綠建築解說與評估手冊[1]，對於法定中央空調型建築物的 EAC 評估方法係採 HDC 法(熱源容量密度及 COP 法 Heat Source Capacity & COP Method)來規範，即是以 1. 防止主機超量設計 2. 鼓勵高效率主機 3. 獎勵空調節能技術，三項因子之加權評估法來進行，其所建立的合格判斷必須同時滿足：

(一)合理設備容量管制 HSC

$$HSC = \frac{AC_{sc}}{AC_s} \leq 1.5 \quad (1)$$

$$AC_{sc} = Sf \times (a_0 + a_1 \times ENVLOAD + a_2 \times \gamma) \quad (2)$$

$$ENVLOAD = a \times \frac{\sum Ai \times Ki \times \eta_i \times IH_{ki}}{A_{en}} + b \quad (3)$$

其中 AC_s = 冰水主機設計供應面積($m^2/USRT$)

AC_{sc} = 冰水主機最大供應面積($m^2/USRT$)

Sf = 備載容量安全係數，取 0.8

γ = 該空調系統分區之外周區係數

$ENVLOAD$ = 辦公類建築物外殼耗能量 [$Wh/m^2-fl \cdot year$]

A_i : 窗面部位面積 [m^2]

K_i : 部位開窗之外遮陽係數

η_i : 部位玻璃日射透過率

IH_{ki} : i 窗面部位當在地 k 方位外殼之冷房日射時 [$Wh/m^2 \cdot year$]

A_{en} : 建築外殼總面積 [m^2]

a_0 = 常數 (m^2/RT)

a_1 、 a_2 = 迴歸係數

a, b : 迴歸係數常數

(二)空調系統節能效率管制 EAC

$$EAC = [0.6 \times HSC \times \frac{\sum (HC_i \times COP_{ci})}{\sum (HC_i \times COP_i)} \times R_s + 0.2 \times R_f + 0.2 \times R_p] \times R_m \leq 0.8$$

(4)

其中 HC_i = 各冰水主機容量(USRT)

COP_i = 冰水主機設計性能係數

COP_{ci} = 冰水主機設計性能係數標準

R_s = 熱源系統節能效率

R_f = 送風系統節能效率

R_p = 送冰水系統節能效率

R_m = 其他總系統節能效率

VRV 系統雖不屬大型中央空調系統，但由於其多機並聯的特性，功能與中央空調系統類似，故被列為中央空調系統。根據綠建築評估中有關 VRV 的特殊節能係數有：(1)變冷媒 VRV 熱源 $\alpha_4=0.2$ 。(2)變冷媒量 VRV 系統因無送水泵，可同時得到熱源與送水系統之節能優惠 $\alpha_{12}=0.2$ 。因此對於採用 $COP_c=COP_{ci}$ 的 VRV 系統而言，EAC 公式可以進一步簡化為

$$\begin{aligned} EAC &= \{0.6 \times HSC \times 0.8 + 0.2 \times 0.6 + 0.2 \times 0.8\} \times R_m \\ &= \{0.48 \times HSC + 0.28\} \times R_m \end{aligned} \quad (5)$$

然而 EAC 合格標準為同時滿足 $EAC \leq 0.8$ 以及 $HSC \leq 1.5$ ，所以當無任何監控時(總系統節能效率=1.0)下，於 $HSC \geq 1.08$ 時，即會因 EAC 大於 0.8 而不合格；而當有如圖一所示之完整監控系統(總系統節能效率=0.90)下，於 $HSC \geq 1.27$ ，同樣因 EAC 大於 0.8 而不合格。 $HSC \leq 1.5$ 猶如形同虛設一般，這也算是對 VRV 系統的不公平待遇，是故有必要針對 VRV 系統修正 EAC 公式以符合需要。

本研究從三個方面著手：

1. VRV 空調系統是多機組合式。空調需求量若降低，主機開啟的台數則少，所以主機的耗電主要取決於實際運轉的主機台數。超大設計有可能是增加待機時間與待機時之耗電，而不是如 EAC 公式般，隨 HSC(超大設計比)成等比例增加。
2. 節能效率 α_4 值，應由實際不同空調系統節能效率之優劣決定，不應直接認定其值為 0.2。事實上，於不同使用型態及空調負載變動頻繁之際，採用此定值之方式加以認定可能導致相當程度之誤差。

3. 由於 VRV 系統無冰水泵，對於送水系統之節能 $\alpha_{12}=0.2$ 將有失此系統之無冰水泵特性，也可能導致 EAC 評估相當程度之誤差。VRV 系統或者大型分離式系統的耗電量主要是室內機(熱源側)的耗電與室內機(風扇)的耗電。因其屬植彭式系統，室內機直接置於室內，風扇規模大小遠不如中央空調系統。加上系統沒有水泵，因此 EAC 公式中的熱源側、送風側以及送水側的加權配比實有調整的必要。

二、研究方法

(一)VRV 系統設備量的選定

為了真實反應 VRV 系統，本研究的所有方法都參考並遵循 VRV 系統所提供的設計手冊說明的方法。簡要說明如下：室內機的選機是根據各空調分區的尖峰需求量來分別選擇冷氣能力最接近但稍大於尖峰需求量的各區室內機。在室內機的單元及數量選定後，將室內機數量乘以該機型冷氣能力的結果進而選得適當的室外機型及數量，再藉由室內機與室外機的結合效率來決定是否改變室內機單元的大小，因而產生適合建築物的 VRV 空調系統。

(二)模擬辦公類建築之選定

空調系統評估指標 EAC 除了與系統空調特性有關外，也與建築的特性有關，建築物特性的影響在於空調主機最大供應面積受建築外殼耗能量 ENVLOAD 值與空調系統分區之外周區係數 γ 值的影響，故先從模擬建築建築物的設定開始，再進到 VRV 空調系統特性的設定，建築物的特性係藉由改變 ENVLOAD 值和 γ 值的參數來創造不同的辦公類建築模擬型式。

模擬建築物設定為 40m×40m 的正方形辦公建築平面，其建築四向立面完全正對東、南、西、北四向，並將其區分為為外周區與中央核心區，外周區則是從建築物室內緊鄰外殼區 5 公尺範圍，其餘則皆視為建築空調內周區(core)。且四面牆體材質與開窗方式完全相同。樓高設定為 4 米高。室內牆面為一般辦公室的框架輕隔間。四面外牆使用金屬圍幕，樓版及天花板則以一般材質附加假天花板進行設定。空調的使用則設定為每日的 8 時至 18 時，共計 10 小時。

從 ENVLOAD 計算公式[2]中，可以知道影響建築物外殼負荷的因子數有：窗面部位面積、開窗之外遮陽係數、玻璃日射透過率。所以本研究就以此三個參數的變化來設定不同建築，共總成了 36 種建築物。

模擬建築的空調需求量除了受到建築外殼負荷影響之外，也受到不同的室內負荷密度的影響，本研究設定了三種室內負荷發熱密度，分別是正常密度、

減少 50% 密度及增加 50% 密度三種。室內發熱的設定則包含了照明密度、人員密度、設備密度、等因子。

(三) VRV 空調系統的耗電量計算

對於精算式的能源估算方法，由於可以確切知道逐時的建築物空調負荷 (Load) 以及空調系統的性能係數 (COP)，所以全年的空調主機耗電量 (P_{year}) 可以表達為：

$$P_{\text{year}} = \sum \text{Load} \times \text{COP} \quad (6)$$

VRV 系統多採用氣冷式，所以它與一般直膨式氣冷空調機一樣，系統的性能受到外氣乾球溫度，室內機入口空氣的濕球溫度，以及系統負荷率的影響。其性能特性可以下式表示。

$$\text{COP} = \text{TC} / \text{PI} \quad (7)$$

$$\text{TC} = \text{TC}_{\text{rated}} \times f1(\text{IWB}, \text{ODB}) \quad (8)$$

$$\text{PI} = \text{PI}_{\text{rated}} \times f2(\text{IWB}, \text{ODB}) \times f3(\text{PLR}) \quad (9)$$

$$\text{PLR} = \text{Load} / \text{TC} \quad (10)$$

其中 TC：VRV 可提供之全載冷氣能力

PI：VRV 之耗電

TC_{rated} ：額定狀況下全載冷氣能力

PI_{rated} ：額定狀況下 VRV 之耗電

Load：冷氣需求

PLR：VRV 之負載率

f1：VRV 可提供之全載冷氣能力相對於入口濕球溫度與室外乾球溫度修正函數

f2：VRV 之耗電相對於入口濕球溫度與室外乾球溫度之修正函數

f3：VRV 之耗電相對於負載率之修正函數

IWB：室內濕球溫度

ODB：室外乾球溫度

f1、f2及f3修正函數是以多項式迴歸式表示：

$$\begin{aligned} f1 = & A + B \times ODB + C \times ODB^2 + D \times EWB \\ & + E \times EWB^2 + F \times ODB \times EWB \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} f2 = & A + B \times ODB + C \times ODB^2 + D \times EWB \\ & + E \times EWB^2 + F \times ODB \times EWB \end{aligned} \quad (12)$$

$$f3 = A + B \times PLR + C \times PLR^2 \quad (13)$$

因此如果能夠知道各種VRV系統的f1、f2及f3修正函數中的係數，藉由DOE-2.1程式的幫忙，便可輕易地由前述公式(8)~(11)的組合算出VRV系統的全年耗電量。依照冷氣廠商型錄所提供的冷氣能力曲線以及耗電性能曲線經由迴歸計算而得到每台機器的性能特性迴歸式。

藉由DOE2.1-E電腦程式可以求得不同的外殼、室內負荷密度以及不同內、外周區面積所組合而成的各種建築型態的尖峰負荷需求量。再根據選機方式，便可選得適合各種組合建築的VRV系統設備量。VRV系統的全年耗電量計算是藉由將建築物外殼組合、照明、人員、事務機器的使用密度，以及VRV系統的設備大小與特性等等各項參數輸入程式中，透過DOE2.1-E的執行，可得到所有組合的全年空調耗電。

三、結果與討論

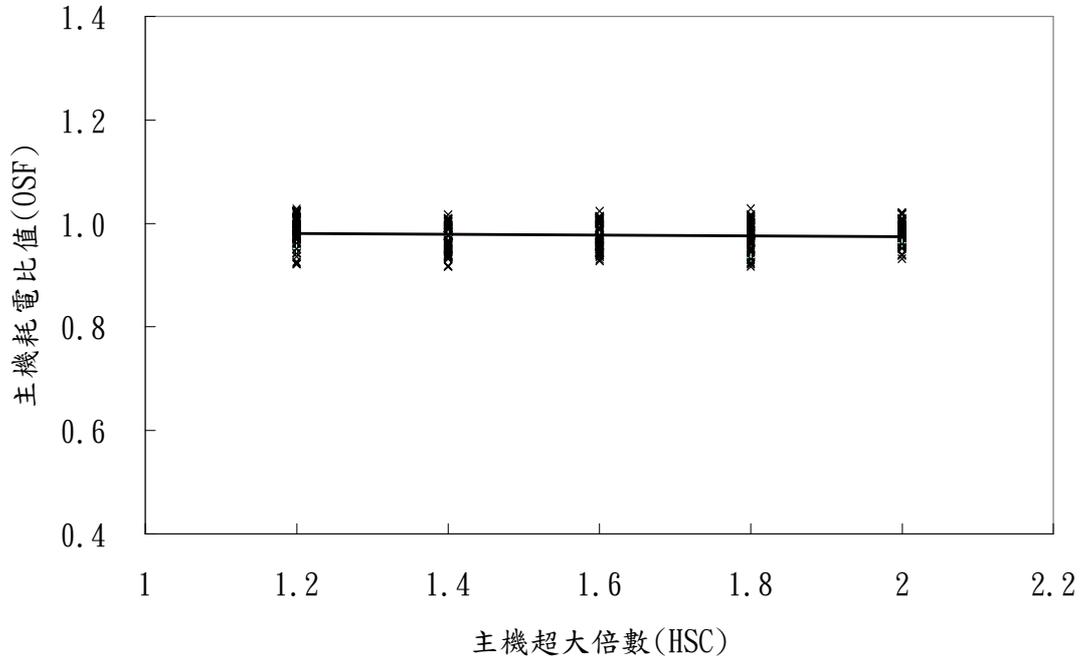
(一)主機超量設計與耗電量分析

根據綠建築評估方式，HSC是針對冰水主機容量供應面積之評估，其用意在於防止超量設計，但亦直接認定其冰水主機容量超量設計倍數會直接反應於空調耗能量的效率。

本研究藉由放大一般VRV系統的主機設備量(即HSC)於1.2倍、1.4倍、1.6倍、1.8倍以及2倍時，配合不同的室內負荷設定密度設定分別模擬。圖一為VRV機型，圖中的縱座標為各系統超大設計與無超大設計時的耗電比值。VRV系統並不會隨著主機的超大設計倍數而呈現出成比例提升的耗電量比值。當設備量2倍時，全年耗電量的變動範圍約為±2.5%，這顯示了VRV機型超量設計與耗電量是沒有關係的。

(二)、特殊節能效果 α_4 參數分析

由於 EAC 評估方式中並未明確定義特殊節能效果 α_4 的比較基準，所以本研究以一般定頻分離式系統的耗電與 VRV 系統耗電比較作為比較基準，比較方式如下式：



圖一 VRV 系統超量設計與其耗電比關係

$$\alpha_4 = 1 - \frac{\text{VRV系統全年耗電量}}{\text{定頻分離式系統全年耗電量}} \quad (14)$$

本研究模擬九種機型的耗電量與定頻分離系統的耗電量，藉由式(14)定義的 α_4 計算方式，計算出各系統在不同外殼組合下的 36 個 α_4 值。結果顯示不同的 VRV 空調系統，呈現不同的 α_4 值，說明了 VRV 系統之特殊節能效果 α_4 會隨不同的系統與建築物負荷條件而有所改變。結果也顯示不同室內負荷、建築外殼組合以及不同外周區係數，節能效果(α_4)並沒有太大的差異。

由於特殊節能效果的良莠與否主要還是取決於其系統本身。本研究藉由選擇美國 ARISstandard550/590-1998[3]所訂定之總部份負載效率(Integral Part Load Value, IPLV)除以主機性能係數(COP)做為系統特性參數。IPLV 的定義如下：

$$\text{IPLV} = 0.01\text{A} + 0.42\text{B} + 0.45\text{C} + 0.12\text{D} \quad (15)$$

A=於 100%製冷能力時之 EER 或 COP

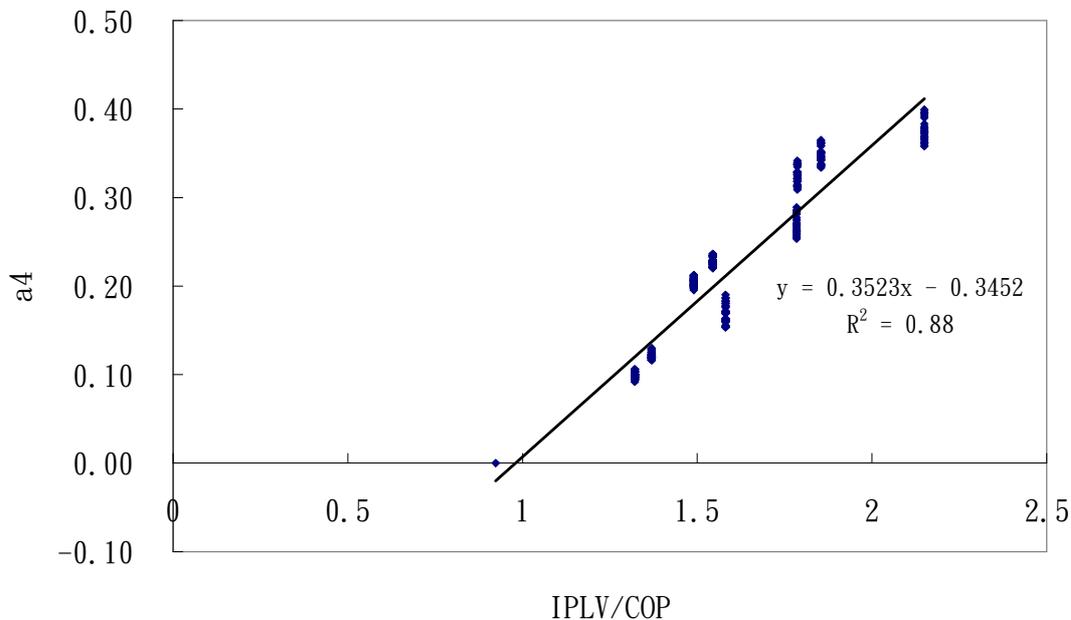
B=於 75%製冷能力時之 EER 或 COP

C=於 50%製冷能力時之 EER 或 COP

D=於 25%製冷能力時之 EER 或 COP

本研究以 VRV 空調系統之 IPLV/COP 值做為參數，以得到接近該系統實際之 α_4 值。各系統的 IPLV/COP 值與各系統的 α_4 值之關係圖如圖三，其所建立之預測迴歸公式為：

$$\alpha_4 = -0.3452 + 0.3523 \times \text{IPLV/COP} \quad (16)$$

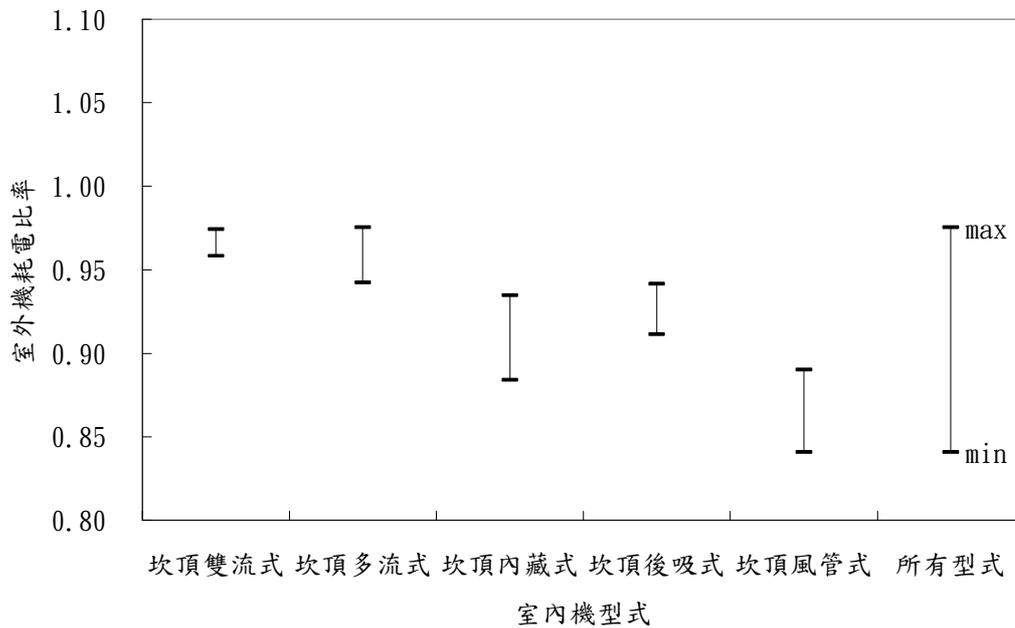


圖三 α_4 與 IPLV/COP 值之關係

(三)、EAC 公式的加權配比分析

本研究以一般定頻系統於不同 3 種室內負荷密度設定與不同的 5 種外周區係數設定下以及不同的 36 種外殼設定下，分別模擬出不同設定下出之室外主機之全年耗電與五種不同室內機的全年耗電，兩者加總之值即為全空調系統的全年耗電量，藉由全空調系統的全年耗電量與室外主機之全年耗電量之比值即可知道室外主機於全系統之權重。其結果如圖四所示，可以發現主機側與全系統空調的耗電比值並不受室內負荷、外周區係數已及外殼耗能的影响。搭配室

外機之主機耗電所佔系統的權重變動範圍為 0.96~0.44，其平均結果為 0.90，故空調主機與送風機於 EAC 公式之權重為：空調主機 90%之權重，送風機配以 10%之權重。



圖四 主機空調耗電比率與主機最大供應面積關係圖

四、結論

變冷媒 VRV 空調系統在空調分類上，雖不屬於中央空調型，但其多聯式系統與智慧型控制系統，功能與傳統的中央空調系統幾乎無差別。若使用原先之中央空調系統評估方式評定 VRV 系統可能造成不適用，是故有修正 EAC 公式以符合實際情況之需要。以下為本研究之發現與建議：

(1)對於分離式系統而言，EAC 並非隨 HSC 成比例增加

VRV 空調系統是組合式，主機的耗電乃取決於實際主機開啟的運轉台數，空調需求量若降低，主機開啟的台數則少；所以主機的超大設計是增加待機時間與待機時之耗電，而不是如 EAC 公式中之 HSC 成等比例增加。本研究發現，於主機超量設計後，一般之定頻系統的耗電量會有隨之上升之趨勢但並非是倍數關係；而於 VRV 系統，主機超量設計前後之耗電量是差不多的。是故對於 VRV 系統而言，HSC 應自 EAC 公式中移除。

(2)VRV 節能效率 α_4 應由系統特性決定而非定值

主機側節能效率 α_4 值，應由實際不同空調系統節能效率之優劣決定，不應直接認定其 α_4 值為 0.2。本研究發現 α_4 值之變動只受使用之不同機型有顯著

影響，而其他因子之變動對於 α_4 值的影響則為很小。本研究藉由空調系統之總部份負載效率 IPLV 與主機效率 COP 所建立之預測公式可精確計算出不同系統 α_4 值。

(3)對於 VRV 而言，主機與風扇的權重應調整為 0.9：0.1

由於 VRV 系統無冰水泵，沿用原 EAC 公式的配比，也可能導致 EAC 評估相當程度之誤差。根據本研究分析空調系統室內機與室外機之耗電量，得知室外機與室內機各佔全系統耗電量之 90%與 10%，故重新修正無冰水的分離式或 VRV 系統項目的加權比重，結果為：主機加權比重應為 90%，送風機加權比重應為 10%。

(5)修正後之 VRV 系統的 EAC 公式

根據以上四點的研究結果所建立的 VRV 空調系統節能效率評估方式必須同時滿足下列公式的規定：

$$\text{HSC} = \frac{\text{ACsc}}{\text{ACs}} \leq 1.5 \quad (17)$$

$$\text{EAC} = \left[0.9 \times \frac{\sum(\text{HCi} \times \text{COPci})}{\sum(\text{HCi} \times \text{COPi})} \times (1 - \alpha_4) + 0.1 \times \text{Rf} \right] \times \text{Rm} \leq 0.8 \quad (18)$$

$$\alpha_4 = -0.3452 + 0.3523 \times \frac{\text{IPLV}}{\text{COPi}} \quad (19)$$

參考文獻

1. 內政部建築研究所，“綠建築解說與評估手冊”，2005 年。
2. 林憲德，“建築節約能源設計技術規範與實例”，2003 年。

計畫成果自評部份

本研究內容與原計畫相符，順利達成預期目標。研究成果除了可在在學術期刊發表，也可以做為國內綠建築評估系統修正的參考。

可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利 可技術移轉

日期：94 年 10 月 15 日

國科會補助計畫	計畫名稱：綠建築評估指標中空調系統節能評估法的改進研究 計畫主持人：黃瑞隆 計畫編號：NSC 93-2212-E-039-001 學門領域：能源科技
技術/創作名稱	
發明人/創作人	
技術說明	中文： (100~500 字)
	英文：
可利用之產業 及 可開發之產品	
技術特點	
推廣及運用的價值	可以做為國內綠建築評估系統中有關 VRV 系統的效能評估修正的參考