

2009 年度 財團法人交流協會 專家長期招聘事業報告書

## 應用自然能源之除濕空調系統開發研究

中国文化大学

蔡耀賢

招聘期間 (2009 年 7 月 9 日～9 月 6 日)

2009 年 11 月

財團法人 交流協會

# 應用自然能源之除濕空調系統開發研究

## 一、研究背景與目的

### 1-1 世界節能減碳潮流與自然能源

2008 年 7 月 8 日於日本北海道洞爺湖召開的世界 8 大工業國（G8）會議，各國對於 2050 年前達成溫室氣體減半的長期目標達成了共識，今後將促進全世界規模的產業與生活型態轉型，往循環型低碳社會加速邁進。台灣因國際地位模糊，雖未受到國際公約的溫室氣體規範限制，但出口貿易仍佔國家相當重要的地位，為了讓製品規格與企業形象能夠與國際接軌，2008 年開始執政的馬總統團隊，積極地將節能減碳做為施政重點之一。

近年，石化燃料的價格在國際市場上有相當大的變動，在 2008 年打破歷史新高後，又在美國次貸風暴後所造成的景氣蕭條中大幅跌價。然而，若世界各國對於石化能源的依賴並未改變，景氣的低迷只是延後石化燃料用盡的時間而已。臨近的日本在 2004 年度對進口能源的依存度是 82.2%，以上述地球環境問題與國家能源確保的角度來看，能源政策可說掌握了國家長期發展與競爭力的鎖鑰。因此，日本政府近年積極地開發自然能源（太陽能、風力、水力等）與未利用能源（發電廠與工廠的廢熱回收利用等），在 2004 年度已佔全國能源消費的 11%。依據經濟部能源局的統計資料（經濟部能源局，2004），台灣在 2004 年對進口能源的依存度是 98.2%，而自然與未利用能源僅佔全國能源消費量的 5.56%。因此，台灣在節能減碳政策中預計要積極開發自然與未利用能源，預計在 2010 年達到 513 萬瓩，佔全國能源消費 10% 的目標。而持續在 2020 年達到 700~800 萬瓩，2025 年達到 800~900 萬瓩。

### 1-2 台灣的濕氣問題

近年在歐美等國家，因室內濕氣所造成的問題漸漸受到世人的重視。過高的室內濕氣，除了會造成建材的腐朽與破壞（Andrade et al., 1999）之外，亦促進室內的黴菌、塵蟎（house dust mite）等生物性污染，間接造居住者呼吸器疾病、氣喘、過敏、疲勞與頭痛等健康上的問題（Bornehag et al., 2004）；反之，過低的濕度除了使室內人員產生乾燥感而感到不舒適之外，亦提供流行性感冒病毒（influenza virus）較佳的生長環境（Harper, 1961）。因此，許多先進國家的室內空氣品質基準中，均將相對濕度列為管制項目，如日本厚生勞動省的建議值為 40~70%，加拿大保健省為夏季 30~80% 及冬季 30~55%，與台灣同為熱濕氣候的新加坡則為 70% 以下（池田，2005）。

台灣位於亞熱帶氣候區，扣除高山地區之後各地年平均相對濕度均在 75% 以上，而各個月份之平均相對濕度亦在 70% 以上（中央氣象局，1971~2000）。文獻指出台灣地區在夏季時，空戶室內真菌濃度高於美國、芬蘭等國家（Wu et al., 2000），顯示台灣氣候較適合真菌的生長。而室內黴菌污染的主要來源則為室內建材及空調機，其中又以室內建材表面為主要來源（紀碧芳，2003）。

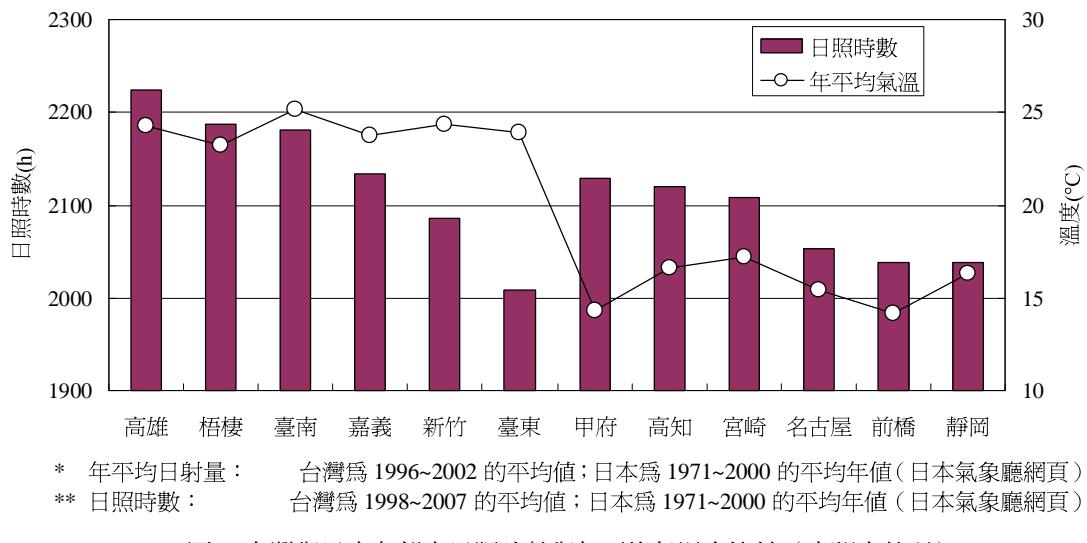


圖 1 台灣與日本各都市日照時數與年平均氣溫之比較（本研究整理）

可見台灣高溫多濕氣候下室內生物性污染問題是相當重要的課題。

### 1-3 台灣高溫多濕氣候下的節能除濕空調系統

台灣雖然位於亞熱帶的高溫多濕氣候，但文獻指出台灣的日照時數較同緯度國家來得少，而日射量平均值亦較日本與德國等國家來的低(歐文生 et al., 2008)。但若以台灣的中南部地區來看，高雄、梧棲、臺南、嘉義等地的年日照時數均超過 2100 小時，較日本日照時數前幾名的甲府、高知、宮崎等地均來得高，可說是台灣發展太陽能相當有潛力的地區（圖 1）。而太陽能的利用主要可分成電能與熱能，目前太陽能光電板的經濟效益造成了普及化的阻力，但太陽能的熱利用（熱水器等）所需成本較低，加上經濟部提供的補助金（太陽能熱水系統推廣獎勵要點），因此目前在中南部則已相當普及。然而，目前太陽能的熱利用仍主要做為熱水的提供，在漫長的夏季中仍有許多地區對於熱水的需求並不高，但對冷房則有相當大的需求，因此若能在夏季將太陽熱能做冷房之利用，對於當地氣候的自然能源利用應有相當的發展空間。而且，台灣中南部年平均氣溫如圖 1 所示，約較日本高 10 度左右，因此空氣式集熱板的入口溫度較高，可得到較高的出口溫度，因此可說本系統於台灣之發展潛力較日本來得高。

高溫多濕氣候下的建築物，在引入外氣時需要耗費大量的能量進行除濕與冷卻，特別是醫院、圖書館類，需要嚴格地控制室內的濕度在適當的範圍內的建築物。

本研究主要針對台灣亞熱帶熱濕氣候下之建築熱與濕氣環境控制，進行空氣品質與設備耗能之探討，主要研究目的如下：

- (1) 以足尺實驗探討除濕轉輪空調系統應用於熱濕氣候時，對外氣之除濕與冷卻效果，以掌握除濕轉輪之吸附濕氣與再生溫度等性能。
- (2) 分析台灣之日射量等氣候資料，並進行空氣式太陽能集熱板之性能試算，以了解應用於

台灣氣候時之集熱量。

- (3) 結合實驗與數值計算資料，提出台灣氣候下使用空氣式太陽能集熱板與除濕轉輪空調之除濕空調系統時，從自然能源可得到之節能效果。

## 二、相關研究文獻回顧

### 2-1 濕度與室內空氣品質

室內的高濕度環境是塵蟎與黴菌等微生物適於生長的環境。塵蟎的代謝物與黴菌孢子除了引起氣喘等過敏性疾病外，Wessén 等研究者（1996）發現細菌與黴菌等微生物由來的揮發性有機化合物，稱為 MVOC (Microbial Volatile Organic Compounds)，雖然仍有許多研究在探討這些毒素對人體健康的危害，但已有許多研究指出 MVOC 是造成過敏、感染性疾病、中毒症狀，甚至導致癌症之原因 (Leino et al., 2003) (Fischera et al., 2000)。黴菌的生長需適當的溫濕度及養分。Clarkea 等研究者 (1999) 以 6 種好乾性與好濕性黴菌的培養實驗探討提出各種黴菌的生長溫濕度下限，發現在室內溫度在 15~30°C 範圍時，相對濕度超過 75% 便適於好乾性黴菌的生育，而超過 85% 時便適於好濕性黴菌的生長；Abe (1996) 以好乾性黴菌 *Eurotium herbariorum* 的菌絲成長環境為基準提出了黴菌指數 (fungal index)，可藉由環境之溫度與相對濕度來評估黴菌生長的可能性。同樣指出在 15~30°C 範圍時，相對濕度超過 75% 時便可能造成黴菌之生長，且相對濕度越高則黴菌指數越高。柳宇 (2007) 以黴菌感測器 (fungal sensor) 進行空調機及風管內的實測，指出相對濕度高於 70% 的時間累積率高於 30% 時 (即某時間段中相對濕度超過 70% 的時間超過該統計時段的 30%)，黴菌的生長速度與時間累積率成正比。可知相對濕度在 70~75% 以上時將造成較高的生物性污染風險，而環境中相對濕度高於 70% 的時間越頻繁，造成居住者健康的危害就越大。

### 2-2 台灣氣候下的空調系統與空氣品質

建築空間的濕氣所造成的微生物污染，主要可分為室內污染源與空調機內污染源的兩種。室內的污染源主要是由於裝修建材表面的黴菌等微生物的滋生，而產生孢子等污染物的飛散 (Haverinen, U. et al.)。另外，根據日本的阿部 (1998) 對於一般辦公大樓與住宅的微生物污染進行的調查結果，一般空調所使用的冷卻除濕方式，將提高空調機內部黴菌等微生物滋生的風險。其主要原因是空調機內長期維持高濕度環境與結露水盤的清掃不足。

為了解決上述微生物污染的問題，許多研究者針對空調機內部的微生物污染部分，提出了結露水盤的間歇加熱 (菅原 et al., 2000)、抗菌盤管的採用 (三浦 et al., 2004) 等對策；而室內的微生物污染部分，則提出了調濕建材的設置 (青山 et al., 1999)、隔熱性能的提升 (野中 et al., 2004)、換氣量的確保 (小峯 et al., 1997) 等對策。然而，這些對策都無法讓空調系統與室內不發生結露。也就是說如果能空調系統與室內均不發生結露，便是最根本解決濕氣問題的對策。再則，冷卻除濕方式不但會造成 IAQ (室內空氣品質：Indoor Air Quality) 的降低，將冷媒的蒸發溫度降低到室內

空氣的露點溫度以下的運轉（約 7°C），是相當不節能的方式。且在過於冷卻時需再加熱，更造成能源的浪費。

在醫院建築中，加護病房、開刀房等許多空間不但需要 24 小時的空調，而且需要相當嚴格的空氣品質控制，因此無法開窗採用自然通風來引進外氣，外氣的引進需要完全依賴機械換氣設備。另外，在目前台灣環保署的室內空氣品質建議值中，更將醫療院所列為第一類建築，明定 CO<sub>2</sub> 濃度應在 600ppm 以下（環保署）。室內空氣品質草案雖仍在審議，標準亦有修訂之可能，但對於目前醫療院所的空調耗能勢必造成更加沉重的負擔。這些建築物若使用一般冷卻除濕的空調系統，則不得不採用過冷卻、再加熱這種相當耗能的濕度控制方式，也就是將冷媒的蒸發溫度降低到室內空氣的露點溫度以下來進行除濕（約 7°C），且在過於冷卻時需再加熱，更造成能源的浪費。

### 2-3 自然能源與除濕空調系統

相較於傳統的冷卻除濕方式，採用吸附除濕方式的除濕轉輪型空調（desiccant air-conditioning system），可以在不產生結露下有效地控制室內濕度，且不需要冷卻後再熱的處理，是相當符合醫院空調系統「健康」需求的空調方式（不結露）。若配合顯熱交換器，亦有全熱交換器的效果，是相當適合做為外氣專門處理機（DOAS，Dedicated Outdoor Air System）的系統（Dieckmann et al. , 2003 ; Jeong et al. , 2003）。

除濕轉輪型空調為利用矽膠、沸石、活性炭等除濕劑來處理潛熱負荷的空調系統。除濕轉輪型空調是 Pennington (1955) 於 1955 年首先提案，Dunkle (1965) 於 1965 年開發利用太陽熱的固體吸附轉輪系統之後，在各種領域廣受研究與採用。然而，一般除濕轉輪型空調的 COP 相當的低（1 以下），若非採用太陽熱能或是 co-generation 方式，一般建築物幾乎不考慮採用。但太陽能容易受到天候的影響而造成熱源的不安定，能採用 co-generation 方式的建築物又相當的有限，因此除濕轉輪型空調雖能實現非結露的環境以提升室內空氣品質，但熱源的安定性與能源效率的提升是系統能否普及的關鍵。

## 三、研究方法

### 3-1 研究對象

本研究提案之自然能源（太陽熱能）除濕空調系統如圖 2~4 所示，並依據上述台灣各地日射量統計資料（圖 1），以高雄氣候作為探討對象。然而，因台灣的除濕轉輪空調系統之商品相當少，可供實驗量測之系統更是稀少。因此本研究著眼於日本夏季氣候與台灣類似，利用日本東京大學所建構之實驗設備進行空調系統性能實驗，以及朝日工業社的空氣式太陽能集熱板性能實驗，之後再將此二者實驗結果套入高雄氣候資料，模擬求取系統在高雄氣候下所能發揮之性能。

### 3-2 空調系統的性能實驗

本研究所需性能包含空調機與太陽能集熱器。空調機部分，於東京大學生產技術研究所之千葉實驗所進行性能實驗（圖 5~6），實驗時間為代表夏季熱濕氣候的 7 月，此時的外氣溫度、絕對濕度條件與高雄夏季氣候類似，因此本實驗具有相當的可信度。另外，太陽能集熱板的實驗於朝日工業社技術研究所（千葉）進行，分別進行了單片與兩片串連（圖 4）的實驗，在千葉的氣候條件下所得到的性能高於產品的出廠值。此部分將於實驗結果說明時進行詳述。

### 3-3 太陽熱驅動系統之集熱計算

本研究在取得空調機與太陽能集熱板的性能之後，需模擬其應用於高雄氣候條件下之效果。首先是取得中央氣象局高雄氣象站於 2007 年的逐時日射量資料，將水平全天日射量進行直漫分離（直散分離），也就是將水平全天日射量依據太陽高度角  $\alpha$ （式 1~2）、方位角  $\beta$ （式 3）與大氣透過率等因素，分成直射日射量與漫射日射量，之後再依據壁面角度重新合成。

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \cos \tau}{\cos \beta} \quad (1)$$

$$\cos \alpha = \frac{\sin \beta \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \beta \cos \varphi} \quad (2)$$

$$\sin \beta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau \quad (3)$$

[符號說明]

$\alpha$ ：太陽方位角(°)

$\beta$ ：太陽高度角(°)

$\delta$ ：日赤緯(°)

$\varphi$ ：緯度(°)

$\tau$ ：時角(s)

以下就本研究之直漫分離方法進行說明：氣象資料中的水平全日射量  $J_h$  可分成到達水平面的直射日光  $J_{dh}$  與水平面的漫射日光  $J_{sh}$ ，如式 4 所示。式中之水平直射日射  $J_h$ ，依據 Bouguer 公式，可以式 5~6 求得。而水平漫射日射量部分，本研究採用修正 Berlage 式後所提出的永田式（永田忠彥 et al., 1978），如式 7 所示。

$$J_h = J_{dh} + J_{sh} \quad (4)$$

$$J_{dh} = J_{dn} \times \sin \beta \quad (5)$$

$$J_{dn} = J_0 \eta^{\frac{1}{\sin \beta}} \quad (6)$$

$$J_{sh} = J_0 (0.66 - 0.32 \sin \beta) \times [0.5 + (0.4 - 0.3\eta) \sin \beta] \sin \beta (1 - \eta^{\frac{1}{\sin \beta}}) \quad (7)$$

[符號說明]

$J_h$ ：水平全天日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$J_{dh}$ ：水平直射日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\eta$ ：大氣透過率

$J_{sh}$ ：水平漫射日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$J_0$ ：太陽常數 ( $=1367\text{W}/\text{m}^2$ )

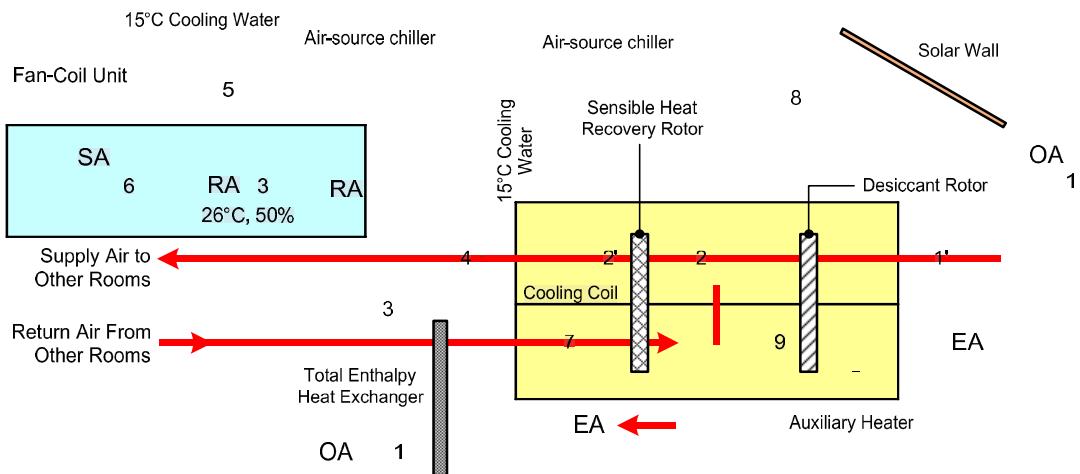


圖 2 本計劃所提案之空調系統圖

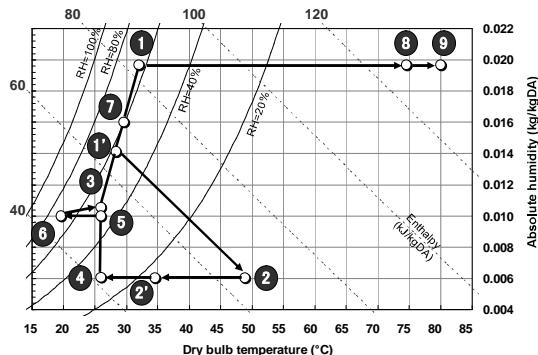


圖 3 系統運作時之空氣線圖一例  
(號碼參照圖 2)

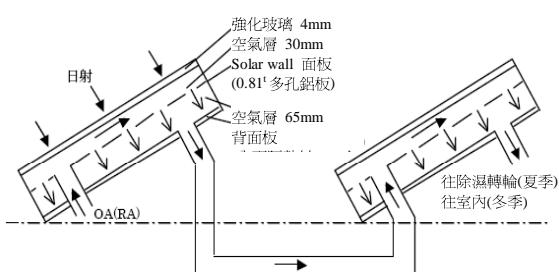


圖 4 空氣式太陽能集熱板(solar wall)示意圖



圖 5 日本東京大學的實驗系統



圖 6 進行性能實驗的景象

在上述  $J_{dh}$  與  $J_{sh}$  的公式中，存在共同的未知數  $\eta$ （大氣透過率），本研究採用改變大氣透過率直到直射與漫射日光的總和與氣象觀測值相同的反覆計算方法（田中俊六，2006），以 EXCEL 軟體中的 VB 編寫程式進行計算。

求得水平面所受到之直射日光與漫射日光後，為了重新合成壁面所接受的日射量，可藉由一般計算太陽能板等所採用之任意傾斜角板面日射量幾何公式。入射對地角度板面之日射量  $J_\theta$  如式8 所示，可分成直射日射量  $J_{d\theta}$ 、漫射日射  $J_{s\theta}$  與反射日射  $J_{r\theta}$ 。而  $J_{d\theta}$ 、 $J_{s\theta}$ 、 $J_{r\theta}$  可由式9~11進行計算（本研究主要求取高雄的最佳日射量，因此式中的對地角  $\theta=24^\circ$ ）。

$$J_\theta = J_{d\theta} + J_{s\theta} + J_{r\theta} \quad (8)$$

$$J_{d\theta} = J_{dn} \times \cos[\cos\theta \sin\beta + \sin\theta \cos\beta \cos(\alpha - A_\theta)] \quad (9)$$

$$J_{s\theta} = J_{sh} \times \left( \frac{1 + \cos\theta}{2} \right) \quad (10)$$

$\left( \frac{1 + \cos\theta}{2} \right)$  為板面對天空的型態係數

$$J_{r\theta} = J_h \times \rho_G \times \left( 1 - \frac{1 + \cos\theta}{2} \right) \quad (11)$$

[符號說明]

$\theta$ ：(對地) 傾斜角  $J_\theta$ ：傾斜面日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$J_{d\theta}$ ：傾斜面直射日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  $J_{s\theta}$ ：傾斜板面漫射日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$J_{r\theta}$ ：傾斜板面反射日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  $\rho_G$ ：地面反射率

$A_\theta$ ：板面方位角（正南為 0，面西為正，面東為負）

式9為直射日射量的計算，依據太陽的方位角與高度角的幾何關係求得；式10為漫射日射量的計算，式10中的型態係數代表板面與天空之間的相對關係，當板面與地面平行時 ( $\theta=0^\circ$ )，型態係數為1，板面的漫射日射  $J_{sh}$  與水平漫射日射  $J_{so}$  相等；當板面與地面垂直時 ( $\theta=90^\circ$ )，型態係數為0.5。

式11為反射日射的公式，中的地面反射率，考地表面材質，設定為0.3，而式中的第3項，則是板面對地型態係數，與之前的板面對天空型態係數加起來剛好是1。

## 四、結果與討論

### 4-1 性能實踐結果

性能實驗的結果如圖 7~8 所示，實驗期間外氣的最高溫度到達  $37^{\circ}\text{C}$ ，最高絕對濕度亦達到  $22\text{g/kg}^*$ ，與台灣（高雄）的氣候相當。實驗包含室內溫濕度一定控制（圖 7），以及系統再生溫度固定輸出（圖 8）兩種控制方式。

室內溫濕度控制的實驗中，設定室內露點溫度  $16^{\circ}\text{C}$ 、吹出溫度  $22^{\circ}\text{C}$ ，系統自動以再生溫度及冷水流量進行控制。結果顯示室內的絕對濕度約穩定控制在  $11\text{g/kg}^*$ ，而室內溫度約在  $22\sim24^{\circ}\text{C}$  範圍變動。

固定輸出的實驗時，量測風道斷面 9 點之平均再生溫度為  $62.8^{\circ}\text{C}$ ，而冷卻水給水溫度為  $17\sim19^{\circ}\text{C}$ 。在室內與戶外的溫濕度變動部分，室內絕對濕度約為  $8\sim14\text{g/kg}^*$ ，溫度變動範圍約為  $25\sim28^{\circ}\text{C}$ ，並隨外氣變動。系統所需熱量（實驗中以電熱器代表日射集熱）約為  $11\text{kW}$ ，冷卻用熱

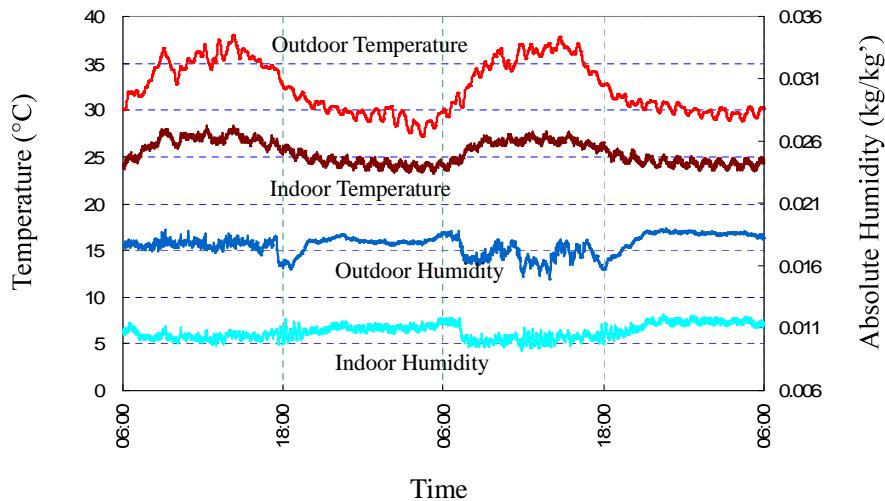


圖 7 太陽能集熱板的性能實驗結果（溫濕度控制）

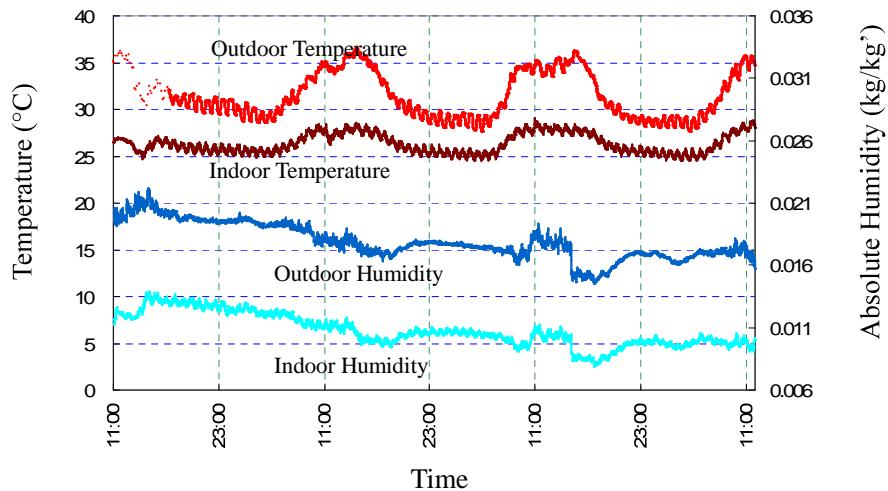


圖 8 太陽能集熱板的性能實驗結果（固定輸出）

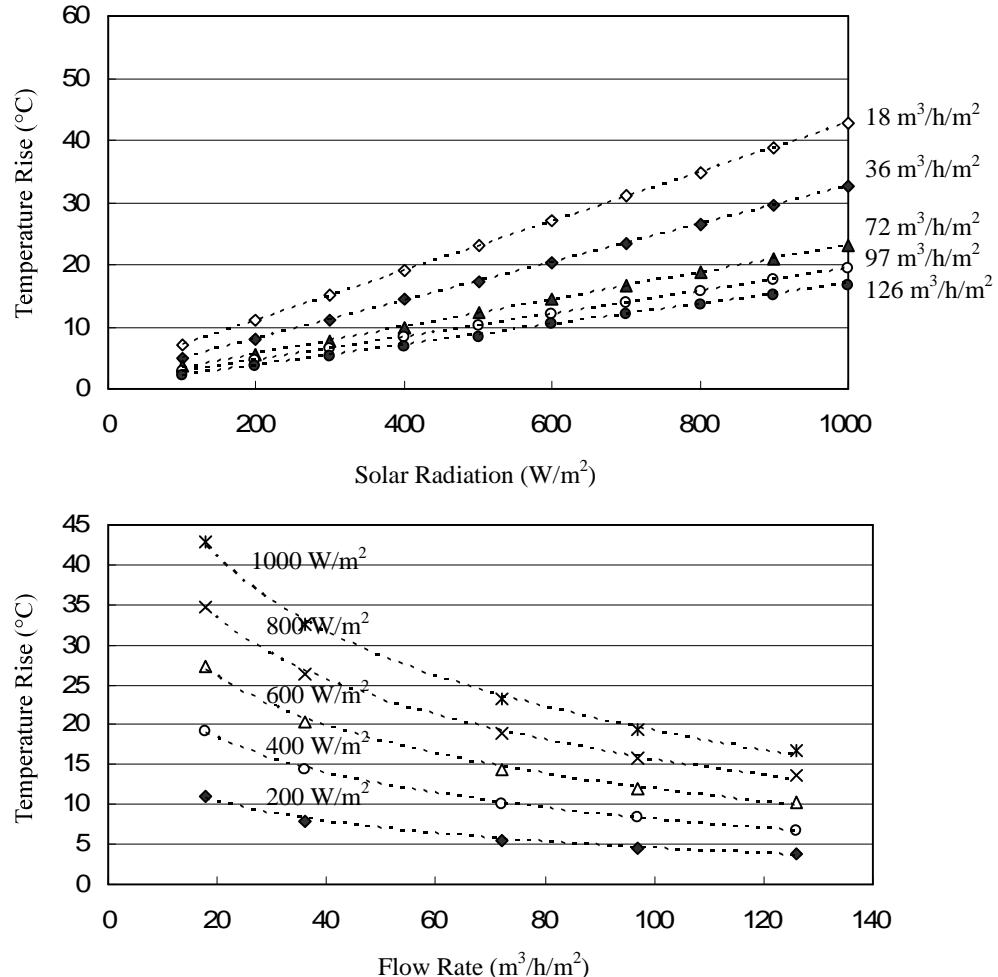


圖 9 太陽能集熱板的性能實驗結果

量約為 7~10kW，隨外氣溫度變動。

#### 4-2 數值模擬結果

太陽能集熱板在各種風量與日射量下之性能實驗結果如圖 9 所示。本研究採用朝日工業社所提案，利用兩塊太陽能集熱板的兩段式集熱手法，圖 9 顯示的溫度上升為外氣經過兩段加熱後所增加之溫度。模擬計算時之風量需與空調系統所需熱風相符，採用 9 組兩段式太陽能集熱板，共計  $29.16\text{m}^2$ 。每組風量均採用  $36\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ，因此一共是  $1049.76\text{m}^3/\text{h}$ ，所需屋頂面積約為  $38.88\text{m}^2$ （約 11.6 坪），是一般住宅均可能實現的面積。

利用前述的直漫分離法，可計算出高雄氣候下太陽能板面接受到的日射量，利用圖 9 即可得到

太陽能集熱板出口空氣溫度。圖 10 與圖 11 分別是高雄氣候下外氣溫度與集熱板出口溫度的關係，可看出當氣候較佳、日射量較強時，單日的最高溫度均可超過 70°C，若以實驗中固定輸出的再生空氣溫度 62.8°C 來看，太陽熱能是相當有效的再生熱源。

若以 8 時至 18 時作為系統運轉時間時，系統所需熱量與自然能源提供的熱能計算如表 1 所示。系統需求熱量是以實驗時之固定輸出為基準，當太陽能集熱板的出口溫度超過 62.8°C 時，超過的部分視為不可利用（實際操作上需引進外氣降溫）。統計可得知從 6 月~9 月所得之太陽熱能，可替代 58.2% 的所需熱能，超過一半的熱能所需均可由自然能源所供應，也證實了本系統在高雄氣候下與自然能源結合的高度適用性。

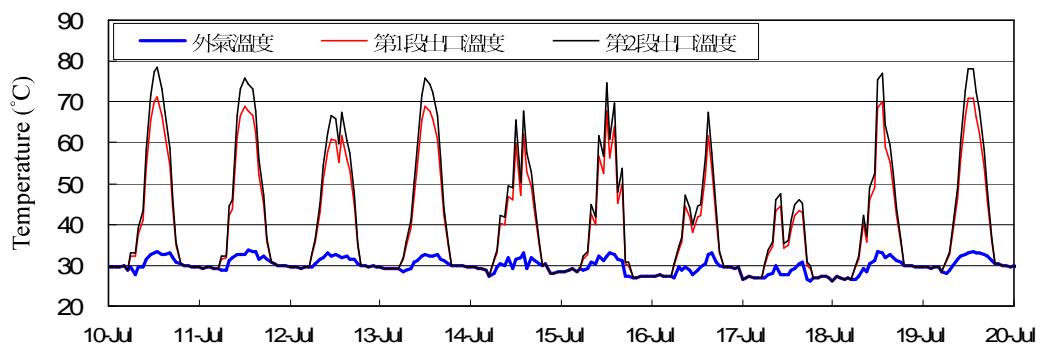


圖 10 高雄氣候下 7 月份太陽能集熱板性能模擬結果

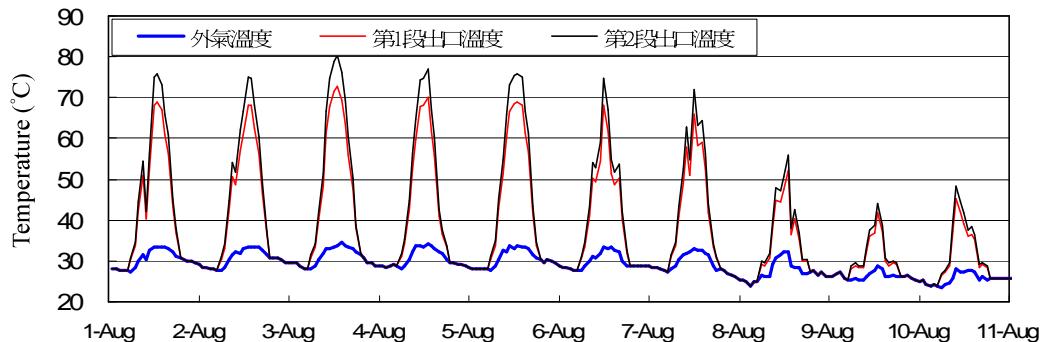


圖 11 高雄氣候下 8 月份太陽能集熱板性能模擬結果

表 1 系統 6~9 月自然能源對系統之影響

	所需熱量(kWh)	自然能源(kWh)	可利用量(kWh)	替代率(%)
6 月	468160	319175	276546	59.1%
7 月	462251	390404	322076	69.7%
8 月	499734	264242	228963	45.8%
9 月	478812	323889	282594	59.0%
總計	1908957	1297710	1110179	58.2%

## 五、結論

本研究進行空調系統之足尺實驗以及數值模擬，探討利用自然能源之除濕空調系統應用於高雄氣候時，對外氣之除濕與冷卻效果，以及採用自然能源對系統性能之效果。利用實驗所得之性能資料，進行數值計算後，可得知高雄在夏季期間（6月~9月）所得之太陽熱能，可替代58.2%的所需熱能，即超過一半的熱能所需均可由自然能源所供應，也證實了本系統在高雄氣候下與自然能源結合的高度適用性。

## 誌謝

本研究感謝日本交流協會提供研究之補助（2009年日本交流協會招聘活動），以及東京大學生產技術研究所加藤信介教授與大岡龍三教授在實驗上的協助，僅此誌謝。

## 參考文獻

- 經濟部能源局（2004）源政策白皮書：<http://www.moeaboe.gov.tw>
- 歐文生、何明錦、陳瑞鈴、陳建富、羅時麒（2008）〈台灣太陽能設計用標準日射量之研究〉《建築學報》，No.64：103~118。
- 中央氣象局統計資料（1971-2000年）：[www.cwb.gov.tw](http://www.cwb.gov.tw)
- 紀碧芳（2003）《受黴菌污染建材上之黴菌種類研究》，國立成功大學環境醫學研究所碩士論文。
- 池田耕一 et al.（2005）〈シックハウスに関する海外の法規制など〉《シックハウスを防ぐ最新知識》：42-51，丸善株式会社，東京。
- 柳宇、池田耕一（2007）〈空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究：第1報 微生物の生育環境と汚染実態〉《日本建築学会環境系論文集》，No.593：49-56。
- 阿部恵子，エアコン冷房時のカビ指標とカビ汚染，室内環境学会誌1, pp. 41-50, 1998
- 菅原 et al.，空調機内のカビ生育抑制方法の検討, 平成12年度室内環境学会講演集, pp.150-153, 2000
- 三浦 et al.，空気清浄 41-6, pp.27-34, 2004
- 青山 et al.，調湿性内装材による室内湿度調節に関する研究(その3) 数値シミュレーションによる調湿効果とカビ発生危険性の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.293-294, 1999
- 野中 et al.，非定常解析プログラムを用いた壁体内温湿度性状の解析—カビの発生しにくい断熱工法に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1119-1122, 2004
- 小峯 et al.，住宅室内のカビ汚染と防止に関する研究(その2)換気による室内カビ汚染防止に関する実証調査, 日本建築学会計画系論文集 495, pp.69-76, 1997
- 永田忠彦、沢田康二（1978）〈晴天空による水平面散乱日射の式の提案〉《日本建築学会大会学術講演梗概集》。

田中俊六、武田仁、土屋喬雄、岩田利枝、寺尾道仁(2006)《最新建築環境工学改訂3版》,井上書院,東京。

Andrade C., J. Sarria, and C. Alonso et al. (1999) Relative humidity in the interior of concrete exposed to natural and artificial weathering, *Cement and concrete research*, Vol.29: 1249-1259.

Abe, K. et al. (1996) Assessment of Indoor Climate in an Apartment by Use of a Fungal Index, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 62: 959-963.

Bornehag, C.G, J. Sundell, S. Bonini, A. Custovic, P. Malmberg, S. Skerfving, T. Sigsgaard, and A. Verhoeff (2004) Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature (1998–2000) on dampness and mite exposure in buildings and health effects, *Indoor Air*, Vol.14:243–257.

Clarkea, J. A., C. M. Johnstonea, N. J. Kellya, R. C. McLeana, J. A. Andersonb, N. J. Rowanb, and J. E. Smithb (1999) A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings, *Building and Environment*, Vol. 34:515-512.

Dieckmann, J., K.W. Roth and J. Brodrick (2003). Dedicated Outdoor Air Systems, *ASHRAE Journal* 45(3): 58-59.

Dunkle, R.V. (1965) A method of solar air condition, *Mech. Chem. Eng. Trans. I.E. Aug.* 1: 73-78.

Fischera, G, T. Müllera, R. Schwalbea, R. Ostrowskia, and W. Dott (2000) Exposure to airborne fungi, MVOC and mycotoxins in biowaste-handling facilities, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol.203, Issue 2: 97-104.

Harper, G. J. (1961) Airborne micro-organisms: Survival tests with four viruses, *the Journal of Hygiene*, Vol. 59, No. 4: 479-486.

Haverinen, U. et al., Modeling moisture damage and its association with occupant health symptoms, *Indoor Air Quality 2001 Moisture, Microbes, and Heath Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings Conference*, 2001.

Jeong, J.W., S.A. Mumma and W.P. Bahnfleth (2003) Energy conservation benefits of a dedicated outdoor air system with parallel sensible cooling by ceiling radiant panels, *ASHRAE Transactions* 109(2): 627-636.

Leino, M., M. Makelaw, K. Reijulaz, T. Haahtelaw, H. Mussalo-Rauhamaaw, T. Tuomiz, E.-L. Hintikkaz and H. Alenius (2003) Intranasal exposure to a damp building mould, *Stachybotrys chartarum*, induces lung inflammation in mice by satratoxin-independent mechanisms, *Clin Exp Allergy*, Vol.33:1603–1610.

Pennington, N.A. (1955) Humidity changer for air condition, U.S. Patent No. 2700537.

Wessén, B., and K.-O. Schoeps (1996) Microbial volatile organic compounds—what substances can be found in sick buildings? *Analyst* 121: 1203-1205.

Wu, P.-C., H.-J. Su, and C.-Y. Lin (2000) Characteristics of indoor and outdoor airborne fungi at suburban and urban homes in two seasons, *The Science of The Total Environment*, Vol. 253, Issues 1-3: 111-118.