

高效率屋頂節溫裝置之研製

杜鳳棋／大華技術學院 機電工程系 副教授 · 徐聖哲／大華技術學院 機電工程系 副教授

本專題為研製一套使用於貨櫃屋或鐵皮屋屋頂的除熱裝置，目的在解決太陽照射時室內悶熱的狀況。本裝置利用太陽能轉換成電能，當室內溫度達到設定值時，控制器會供電驅動風扇及噴霧器運作，透過對流及蒸發吸熱原理降低屋內溫度。根據雛型的實驗數據顯示，自然對流效應的最大降溫為 18.2°C ，降溫幅度23.9%；自然合併強制對流效應的最大降溫為 24.6°C ，降溫幅度44.2%。強制對流合併蒸發吸熱的最大降溫為 15.7°C ，降溫幅度31.4%。經實驗證明，本裝置在太陽能自主供電的情況下，對於悶熱環境的改善效果極為可觀。

關鍵字：太陽能、自然對流、強制對流、蒸發吸熱

1. 前言

在台灣頂樓加蓋的問題相當氾濫，或是將陽台外推加蓋也是司空見慣，這些加大的違建空間大都採用鐵皮屋。即使許多農舍、老民宅、店舖...等合法建物，鐵皮屋林立的亂象也比比皆是、隨處可見。面對密密麻麻的鐵皮屋，除了難以拆除且有礙都會景觀，成為各地政府棘手的問題；相同的現象也出現在林立於街頭的貨櫃屋，這種流動性建築具有結構堅固及施工快速的特性，對於空間的需求可迅速獲得解決，無論是作為居家、公司、營業用途、倉庫、流動廁所及貨櫃藝術均廣受青睞。

鐵皮屋及貨櫃屋如不是工寮就是臨時避難屋或屋頂違建，除了搭建方式因陋就簡，最為人詬病是鐵皮浪板的材質，是導致屋內冬冷夏熱的「元兇」。貨櫃也是使用鋼構骨架加上屋體的隔熱效果相當不良，當曝曬在陽光下，輻射熱很快的經由鐵皮浪板熱傳導傳遞至內部，導致屋內部的溫度逐漸上升；由於屋內的濕氣不易散發，因此就會導致悶熱的狀態。由於現代的建築物甚為仰賴空調設備，藉以維持室內的環境品質，建築物的能源消耗不僅僅影響國家能源供應，而且能源使用效率的高低還攸關環境品質，過度依賴空調設備將造成都市能源及中的惡性循環，根據資料分析顯示[1,2]，外界空氣溫度每上升 1°C ，空調用量就會上升約6%，建築周遭熱環境也被嚴重惡化；此正意味建築節能和居住環境是兩個相互關聯、相互影響的問題。

目前許多鐵皮屋廠房都在屋頂加裝自然通

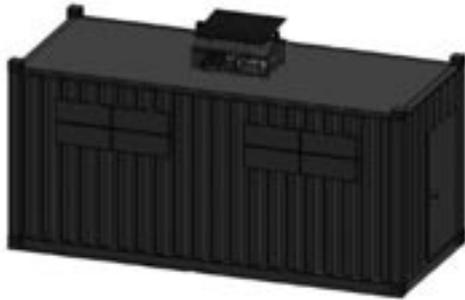
風器改善悶熱狀態，此種設備利用熱空氣較冷空氣輕而上升的浮力效應，及氣流會從高溫區流至低溫區的熱傳遞原理，透過渦輪設計之排氣式抽風機，具有自然排氣和自然通風的特性；當室內外的空氣溫度不同時，空氣會從高溫側通過渦輪葉片的間隙流向低溫側，形成自然通風現象。此外，當渦輪旋轉時將室內高溫空氣排出，室內空氣量減少，戶外較冷的空氣，於是流入室內以達到對流目的，如此持續不斷地作用，因而達到通風散熱的效果。自然通風器帶來的室內的對流效應，可將熱量藉由空氣流動而排放至屋外，達到散熱之功效。但其缺點為散熱量極為有限，且室內若有隔間或擺設異物，或是需避免灰塵、需運轉冷氣之場所則不適用；當外界在無風的狀態下，這種裝置的效率將會降低。

鐵皮屋及貨櫃屋大都採用金屬板製作而成，嚴重違反綠建材的選取要點，但在氾濫成災的既有違建叢林中，如何協助提升熱傳遞改善惡劣的空調品質才是當務之急。除了採用隔熱塗料可有效的降低鐵皮屋及貨櫃屋之屋內溫度[3]，有學者提議使用一種利用風能與光電能混成為動力源的渦輪通風器[4,5]，然而利用強制對流應該是比較有用得降溫方式[6,7]。

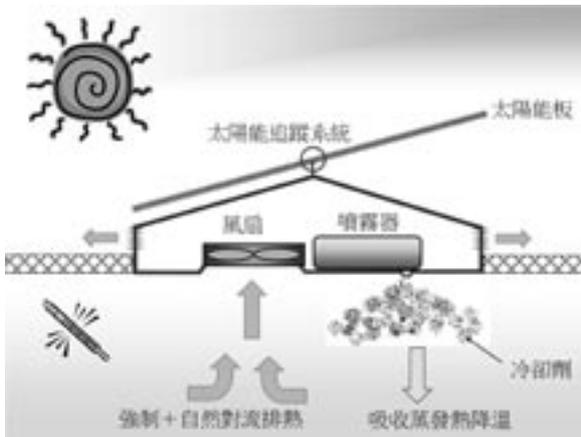
2. 研究方法

為消除在烈日曝曬下，室內熱空氣咄咄逼人的現象，本專題提出一種「高效率屋頂節溫裝置」，可輕易的裝配在鐵皮屋或貨櫃屋的屋頂（如圖1所示），利用外型設計形成自然對流的

熱傳遞原理，達到排除室內熱空氣的功效。其次是利用太陽能提供風扇與噴霧器做為能源，當室內溫度達到設定值時，控制器便會驅動風扇運作，透過強制對流原理將室內的熱空氣強制排除；此外亦可透過噴霧器噴灑冷卻劑，經由霧狀液體蒸發吸收熱量，用以做為降低屋內溫度的有效方法。



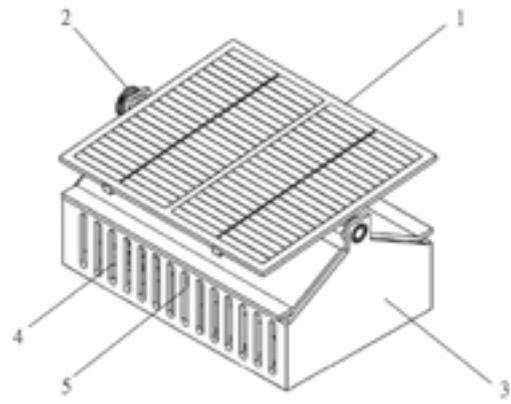
(圖1) 高效率屋頂節溫裝置裝配示意圖



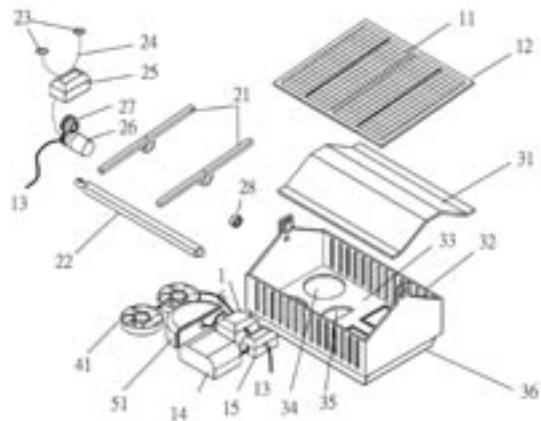
(圖2) 高效率屋頂節溫裝置熱傳遞原理

本專題作品「高效率屋頂節溫裝置」所包含各單元的系統立體組合圖，如圖3所示；各單元的零件立體分解圖，如圖4所示。本作品主要是安裝在鐵皮屋、貨櫃屋之屋頂，由於底罩直接置入天窗並利用螺絲固定在屋頂，不論是裝置或拆卸均極為便捷。

在圖3與圖4中，太陽能發電系統(#1)的太陽能電池組列(#11)採用非晶矽薄膜材料製成，完全鋪設在鐵皮屋及貨櫃屋排熱裝置的太陽能板(#12)上方，藉以吸收太陽光；太陽能發電系統具備「有陽光，就有能量」的特性，可適時、直接的吸收太陽能並轉換成電能；透過電線(#13)可從太陽能電池組列接配至充電控制器(#14)，其中充電控制器具有一個負載極微小的防逆二極體，以防止蓄電池(#15)內的電流逆流回到太陽能電池組列，也具有過充放保護功能。溫度控制器(#16)是為了防止屋內的溫度過高，所以當屋內溫度達到某設定值時，溫度控制器便會啟動負載開始運作以便散熱。



(圖3) 高效率屋頂節溫裝置立體組合圖



(圖4) 高效率屋頂節溫裝置立體分解圖

太陽追蹤系統包括二個太陽能板托架(#21)、太陽能板轉動軸(#22)、光敏電阻(#23)、連接線(#24)、電路模組(#25)、馬達(#26)、齒輪(#27)及軸承(#28)。太陽能板托架裝置在太陽能板下方，用以支撐太陽能板。太陽能板托架的孔正好配合太陽能板轉動軸(#22)，使得太陽能板隨著轉動軸旋轉。太陽追蹤系統是利用追蹤感測器來判斷太陽光源的方位所在，故追蹤感測器的選用十分重要。本專題之作品選用光敏電阻(#23)作為追蹤感測器，不但成本便宜且具有下列良好的特性：光敏電阻是一種感光式、歐姆結構的電阻器，較為容易使用。

太陽追蹤系統的核心為一個電路模組(#25)，此模組主要的功能為感測。以光敏電阻當作感測器，感測信號經過電壓隨耦器後，再經過OP比較器做輸出處理，再利用OP放大器產生馬達驅動信號。主電路所輸出訊號再給馬達(#26)正反轉模組，控制馬達轉動太陽能板的旋轉機構。為能讓太陽能板做旋轉的動作，故設計類似像蹺蹺板的形狀，將感測器(光敏電阻)裝設在太陽能板的兩端，以便能夠順利感測太陽光的強度。太陽能板中心的軸承(#28)上將有馬達帶動齒輪(#27)，做出正反轉動作。

本專題作品安裝在鐵皮屋或貨櫃屋天窗上，斜背式的頂罩蓋可增加太陽光的吸引面積，而且

可使太陽能板的仰角擴大。此外頂罩蓋的橫向尺寸向外延伸出兩側壁形成頂罩蓋簷，可防止雨水濺入節溫器而滴落到屋內。機殼系統(#3)具有斜背式的頂罩(#31)，對稱式形的12度傾斜角設計，可使架設在其上方的太陽能板仰角擴大。在機殼的側壁(#32)均具備細長型換氣孔，用以做為氣體循環的通道。兩側壁及後壁的細長型換氣孔，可讓貨櫃屋內所熱氣排除。底座承板(#33)開設有三個孔，包括二個風扇安裝孔(#34)及一個噴霧器安裝孔(#35)，分別用以安裝風扇及噴霧器。底座的底罩(#36)狀似倒蓋之漏斗，此種設計在於運用自由對流原理，藉以匯聚空氣密度較小、上升之高溫熱空氣。

對流熱散逸系統係用以抽取屋內蓄積的熱量，系統的核心為二個風扇(#41)，當運轉時形成空氣的強制對流效應，藉以將鐵皮屋或貨櫃屋內的高溫空氣排除到貨櫃屋外部。另一個熱散逸系統是運用噴霧器(#51)進行使液體蒸發而吸收大量熱量的系統，當貨櫃屋內的溫度達到控溫器設定溫度值時，噴霧器就會適時的將容器內的冷卻劑適量的噴灑；噴霧器容器內的冷卻劑主要是水與酒精的混合液，可隨時補充。



(圖5) 實驗系統照片

為驗證「高效率屋頂節溫裝置」的預期性能，本專題之作品模型採用的實驗方法係以封閉的實驗箱控制環境狀態以獲得實驗數據的可靠性，如圖5所示；溫度之數據擷取係透過電腦記錄。箱體為一個密封之隔離室，完全模擬在太陽照射下的鐵皮屋或貨櫃屋，藉以預估加裝散熱器的預期效果。箱體所建構的隔離室均使用瓦楞紙板做為絕熱材料，利用5mm厚的紙板貼在隔離室各面。藉由電源供應器提供鹵素燈電力，用以模擬陽光照射；鹵素燈之電壓110V、功率150W，每一隔離室各安裝1支。實驗利用熱電偶及數位式溫濕度計，用以擷取環境與實驗模型的溫度。

3. 結果與討論

3-1 自然與強制對流的散熱效應

本專題實驗分成二部分，第一部分探討自然對流與強制對流的散熱效應，第二部分則是探究自然對流、強制對流及蒸發吸熱的散熱效應。由於強制對流熱散逸的主要驅動機構為二個風扇，先考慮風扇裝置形式(抽氣與吹氣)進行測試分析。

在第一部分實驗數據中(實驗編號#1~#5)，第一組實驗均為完全封閉狀態的箱內溫度變化(#1)；第二組實驗則為單純自然對流效應狀態下，箱內的溫度變化情形(#2)；接著三組實驗分別為二個風扇均為抽氣(#3)、一個風扇抽氣一個風扇吹氣(#4)及二個風扇均為吹氣(#5)。第一部分的實驗，加熱最高溫度為75°C、實驗時間 $t_f=9000\text{sec}$ ，詳細的實驗設定如表1所列。

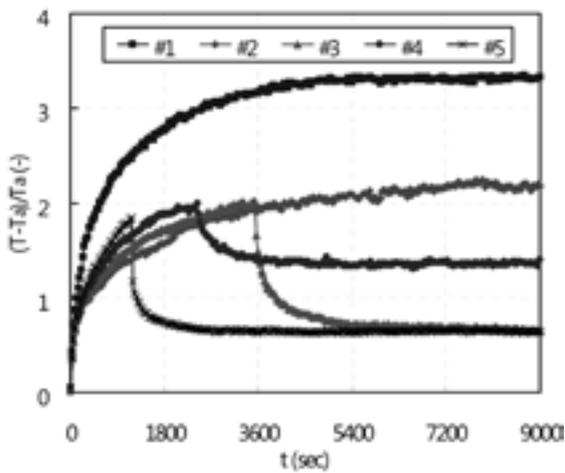
(表1) 第一部分實驗條件設定

No. (#)	Ta,ave (°C)	風扇安裝形式	條件說明
#1	17.1		完全封閉
#2	17.8		自然對流散熱
#3	18.6	2抽氣	自然+強制對流散熱
#4	17.4	1抽1吹	自然+強制對流散熱
#5	18.0	2吹氣	自然+強制對流散熱

自然對流的典型的對流係數(h)較小，約5~25W/m²K，此意味外界溫度對於自然對流效應較為敏感。藉由牛頓冷卻定律(Newton's law of cooling)的估算，只要外界溫度(Ta)增減1°C，造成的對流熱散逸差異約為2.5%，因此我們仰賴實驗室空調調節外界溫度；從表1可看出在第一部分的實驗測試中，平均外界溫度(Ta,ave)最高為18.6°C、最低為17.1°C。

在第一部分的實驗中(編號#1~#5)，完全封閉狀態的箱內溫度變化(#1)在剛開始通電加熱後即迅速上升，時間約在420sec後箱內溫度提升幅度逐漸和緩，因 $(T_t + \Delta t - T_t)/T_t < 1\%$ ，一直到加熱終止($t_f=9000\text{sec}$)，箱內溫度仍在持續上升中。當採用「主高效率屋頂節溫裝置」將熱量排出，藉以探討自然對流效應時(#2)，很明顯二條曲線隨著時間的進行而逐漸擴大，這意味自然對流散熱量隨著箱內溫度增加而逐漸提高，如圖6所示。

為讓外界溫度(Ta)的顯性影響性降低，我們採用相對溫度 $(T - T_a)/T_a$ 的無因次參數表達。從圖6的曲線分佈得知，當 $t_f=9000\text{sec}$ 時，編號#1與#2的量化差異值最大，最大溫差達到18.2°C。



(圖6) 自然+強制對流實驗之溫度變化圖

接著檢視強制對流的散熱效應，風扇分別採用二個抽氣(#3)、一抽一吹(#4)及二個吹氣(#5)等三種組合方式運作。再從圖6的曲線分佈得知，編號#3、#4及#5等三個實驗的風扇分別在3480sec、2430sec及1170sec達到設定溫度(T_0)而開始啟動運轉，箱內溫度也立即獲得顯著的降低。隨風扇運轉時間持續地進行，箱內溫度也會持續、穩定地下降，當 $t_f=9000\text{sec}$ 時，編號#3、#4及#5等三組實驗的溫度降低分別達到 24.6°C 、 10.1°C 及 21.4°C 。

對於風扇的裝置形式，無論採用抽氣或是使用吹氣方式，兩者均能獲得相當不錯的散熱降溫效果。從圖6獲知抽氣方式比抽氣方式散熱降溫幅度稍佳。據此得知，在第一部分的實驗中的自然對流效應最大降低的溫度達到 18.2°C ，強制對流效應最大降低的溫度可達到 24.6°C ；風扇採用抽氣形式的散熱較吹氣形式稍佳。

3-2 自然、強制對流及蒸發吸熱的散熱效應

第二部分的實驗測試中，我們除了考慮考慮自然對流與強制對流的合併散熱效果之外，同時也要進一步進行噴霧器運作的測量與分析，實驗條件設定如表2所列。

表2的第二欄為平均外界溫度($T_{a,ave}$)，溫度值介於 $22.2\sim 23.7^\circ\text{C}$ 之間，所有實驗的環境溫度差異最大為 6.84% ；平均外界溫度的變動範圍為 $T_{a,ave}\pm 3.9\%$ 。第三欄為相對濕度(ϕ)，相對濕度值最小為 55% (#7)，最大則高達 76% (#6)；第四欄為酒精含量，實驗採用的酒精含量(C)以容積比計算，計有酒精含量 10% (#6)、 5% (#7~#9)、純水(#10)等三種。表中強制對流採用2只風扇均為吹氣方式將霧化冷卻劑導入實驗箱。

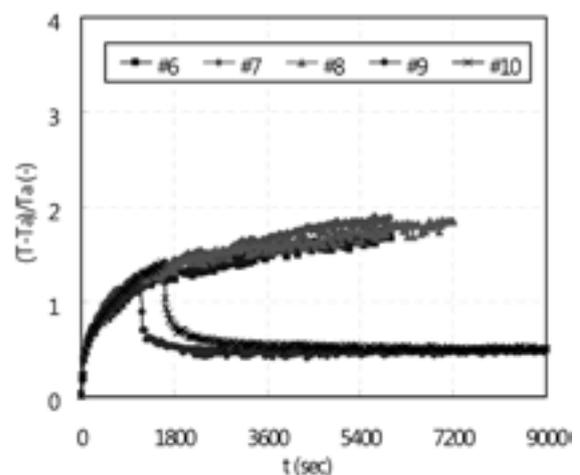
(表2) 第二部分實驗條件設定

No. (#)	$T_{a,ave}$ ($^\circ\text{C}$)	ϕ (%)	C (%)	條件說明
#6	23.2	73~76	10	自然對流+蒸發散熱
#7	22.2	55~58	5	自然對流+蒸發散熱
#8	22.7	63~67	5	自然對流+蒸發散熱
#9	23.7	72~74	5	自然+強制對流+蒸發
#10	22.3	65~69	0	自然+強制對流+蒸發

當設定溫度(T_0)為 50°C 時，實驗箱開始模擬太陽照射使鐵皮屋內溫度驟升的情形，在自然對流、強制對流及液體蒸發等效應存在下，在各種不同條件設定之溫度變化如圖7所示。從圖中的曲線分佈可看出，前三組實驗(#6~#10)幾乎沒有任何的降溫反應，即使噴霧器分別在 1260sec 、 1140sec 及 1100sec 已開始啟動，但由於實驗箱內溫度已高達 50°C ，自然對流迫使箱內熱空氣產生上升氣流，致使霧化之冷卻劑在噴出後立即蒸發，吸收的熱量僅在實驗箱頂部鄰近噴霧器噴嘴的區域，因而對於整個實驗箱並沒有降溫反應。

為了克服霧化之冷卻劑無法發揮散熱作用，我們在接續實驗採用噴霧器合併風扇運作，當噴霧器噴出冷卻劑後，同時啟動風扇而將霧化的冷卻劑吹入實驗箱內，從圖7顯而易見降溫現象立即呈現，其中酒精含量 5% 的實驗例(#9)降溫達到 14.9°C ，降溫幅度達到 29.8% ；酒精含量 0% 的實驗例(#10)降溫達到 15.7°C ，降溫幅度達到 31.4% 。據此可知，冷卻液中含有酒精成份並不會增進散熱效果。

接著再從相對濕度(ϕ)來探討對於實驗結果的影響性，相對濕度表示大氣中水蒸氣含量與大氣中濕度飽和時水蒸氣含量的比值；通常相對濕度越低(越乾燥)則蒸發的速率越快，反之相對濕度越高(越潮溼)則蒸發的速率就越慢。此外，空氣的溫度越高，它所能容納水蒸氣的能力就會越高。從表2可知，在編號#9的實驗例相對濕度(ϕ)為 $72\sim 74\%$ 、平均外界溫度($T_{a,ave}$)為 23.7°C ；編號#10實驗例的相對濕度則為 $65\sim 69\%$ 、平均外界溫度為 22.3°C 。從數據顯示編號#9實驗例的相對濕度與平均外界溫度均較高，蒸發速率依據原理一定比編號#10實驗例慢，因此外在環境因素致使編號#9實驗例的散熱效果會較差。



(圖7) 自然+強制對流+蒸發吸熱實驗之溫度變化

4. 結論

鐵皮屋及貨櫃屋在台灣可說是比比皆是、隨處可見，這些違建奇景不但有礙都會景觀，讓地方政府感到束手無策。鐵皮屋及貨櫃屋的結構體隔熱效果差，當曝曬在太陽光下，輻射熱很快的經由結構體熱傳導傳遞至內部，導致屋內部的溫度逐漸上升；由於屋內的濕氣不易散發，就會形成異常悶熱的狀態。因此鐵皮屋及貨櫃屋潛在能源消耗的問題，其實也是應該受到正視。

本專題所研製的「高效率屋頂節溫裝置」係設計裝置在鐵皮屋或貨櫃屋的屋頂，彈性的機構設計可適用於各種鐵皮屋或貨櫃屋。經由實驗分析結果彙整如下所列：

- (1) 自然對流的最大散熱效率可達到27.5%；最大降溫幅度為17.1°C。
- (2) 整體而言，自然對流效應的最大降溫18.2°C；強制對流效應的最大降溫24.6°C，強制對流效應的散熱較自然對流效應為佳。

- (3) 對於強制對流的散熱效應，風扇採用抽氣形式的散熱較吹氣形式稍佳。
- (4) 酒精含量5%實驗例的降溫達到14.9°C，降溫幅度達到29.8%；酒精含量0%實驗例的降溫達到15.7°C，降溫幅度達到31.4%。
- (5) 冷卻液中含有酒精成份並不會增進散熱效果。

為了引用太陽「取之不盡，用之不竭」的能源，本專題之作品擷取太陽能做為驅動風扇與噴霧器的電能，具備自我供應電力的優勢，符合節能的創新思維。本專題之作品充分的運用熱傳遞基本原理，且有效的使用太陽自動追蹤系統，可讓取之不盡、用之不竭的太陽能發揮得淋漓盡致，將太陽輻射所造成的鐵皮屋及貨櫃屋內積熱有效的散逸，滿足環保的創意構想。

致謝

本專題由國科會產學合作研究計畫(NSC99-2622-E-233-003-CC3)、國科會計畫(NSC99-2632-E-233-001-MY3)及聿新生物科技股份有限公司之經費補助，特此申謝。

參考文獻

1. 林憲德，城鄉生態，詹氏書局，台北，1999
2. 林憲德、李魁鵬、林立人、郭曉青、陳子謙、陳冠廷，台灣四大都會區都市熱島效應實測解析(一)：國內外都市熱島強度之比較，中華民國建築學會建築學報，Vol. 31，pp. 51-73，1999
3. C.M. Lai, Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilator used for building and factory ventilation, Energy and Buildings, Vol.35, No.2, pp. 927-932, 2003
4. C.M. Lai, Prototype development of the rooftop turbine ventilator powered by hybrid wind and photovoltaic energy, Energy and Buildings, Vol.38, pp. 174-180, 2006
5. 杜鳳棋、王柏中、徐佩君，主動式屋頂節溫器的研發，2011智慧型數位生活研討會，pp.515-522，April 29，2011
6. 杜鳳棋、徐佩君、杜文智，太陽能貨櫃屋排熱裝置之研發，2010兩岸機電暨RFID產學合作學術研討會，pp. E-23~E-28，November 15，2010