

國內面蓋式平板型太陽能集熱器性能標準測試之漫射率修正研究

陳佳群¹ 張克勤^{2*} 鍾光民³

摘要

太陽能熱水系統為迄今太陽熱能最普及之應用，臺灣目前是以面蓋式平板型集熱器為國內市售太陽能熱水器最為常見之產品(佔2000年至2017年全國安裝使用面積約93%)。現行臺灣太陽熱能集熱器檢測標準是於2008年由經濟部標檢檢驗局公布之CNS 15165-1，此標準係依據國際標準組織ISO於1994年發行之ISO 9806：1994對於太陽熱能集熱器測試部分，在未變更技術內容譯為中文而成為我國之國家標準。標準中提及在漫射率大於20%時需對集熱板測試件之瞬時集熱效率數據進行修正，但並未提及如何進行修正。考量臺灣屬於亞熱帶海洋型氣候國家，太陽漫射率較高，可推知目前國內對於太陽熱能集熱器檢測標準中所規定對所測得瞬時集熱效率數據之漫射率修正乙項，明顯有尚待釐清之處，有必要探究國內太陽熱能集熱器檢測標準中漫射率對瞬時集熱效率之影響。本研究利用35套國內產製之面蓋式平板型集熱器在不同太陽漫射率($\leq 50\%$)之天候下進行室外測試，證實漫射率對瞬時集熱效率確有影響；並進一步以統計迴歸分析求得在四個不同進口水溫條件下各自的經驗公式，可提供國內CNS 15165-1太陽熱能集熱器檢測標準所要求之漫射率對瞬時集熱效率修正時參考使用。

關鍵詞：太陽能集熱器性能標準，太陽能熱利用，太陽漫射率，平板型太陽集熱器

1. 緒論

1.1 前言

隨著全球暖化的日益嚴重及化石能源存量日益枯竭，世界各國皆積極研究、尋找替代綠色能源，而其中最具環境親和力綠色能源包含：太陽能、風力、水力、潮汐能、生質能、地熱能與洋流等，這其中在臺灣最有發展性的是太陽能與風力。臺灣位於亞熱帶，太陽日射量相對較豐沛，故太陽能應用是國內有較好發

展性的再生能源之一。

太陽能的應用主要分為光電與光熱兩個面向。在臺灣這兩種產業之成果與技術已有相當成長，其中太陽熱能是太陽光照射在集熱器上，藉由集熱器使工作流體溫度提升，進而使用溫升的工作流體來達到應用目的，例如：太陽能熱水系統。而太陽能光電是太陽光照射在太陽光電模組上，藉由半導體材料轉化太陽能量成為電流。因半導體吸收太陽光是有波長的限制(量子能階)，非適用波長的太陽光照射在半導體上是無法產生電流，而以熱(升溫)的形

¹國立成功大學航空太空碩士專班 研究生

²成大航空太空工程系 教授

³成大航空太空科技中心 研究員

*通訊作者電話: 06-2757575#63679, E-mail: kcchang@mail.ncku.edu.tw

收到日期: 2018年08月22日

修正日期: 2018年10月04日

接受日期: 2018年10月26日

式呈現，正因此物理現象之限制，故太陽能光熱一般而言比太陽能光電應用的效率較高。

太陽能熱水系統為迄今太陽熱能最普及之應用，臺灣目前是以平板型集熱器為國內太陽能熱水器產業最為常見的能量轉換裝置(佔2000年–2017年全國安裝太陽能熱水系統面積的約93%比例)。現行臺灣太陽熱能集熱器檢測標準是於2008年由經濟部標準檢驗局公布之CNS 15165-1 (2008)，此標準係依據國際標準組織ISO於1994年發行之ISO 9806：1994對於太陽熱能集熱器主要組成結構：集熱板測試部分(1994)，在未變更技術內容譯為中文而成為我國之國家標準。標準中提及在漫射率(d)大於20%時需對集熱板測試件之瞬時集熱效率(η)數據進行修正，但並未提及如何進行修正。國內對太陽能熱水器之性能檢驗於1989年訂有一個國家標準CNS 12558B7277，此標準係針對太陽能熱水器全套系統(含集熱板、熱水儲桶等)之熱效率進行檢驗。太陽能熱水器全套系統之熱效率除了受集熱板效率影響之外，也受另一參數：熱水儲桶體積對集熱板面積比(V/A比)之相當程度影響；也就是說不同V/A比，測試之系統效率就不一樣。因此國際上一般對太陽能熱水器之性能檢驗多採用僅限集熱板部分之方式進行(Halawa, *et al.*, 2015). Chang *et al.* (2002)曾對CNS 12558B7277標準進行修正研究，建議該標準之測試條件另須加入在 $0.5 \leq R_i \leq 1.6$ 條件下來執行，其中 R_i 值是指測試當天早上對下午各自收集之全天空輻射熱之比值；但Chang *et al.*的研究中亦無討論漫射率對集熱效率之影響。可知目前國內對於太陽熱能集熱器檢測標準中瞬時集熱效率之漫射率修正方法是有所欠缺，而且臺灣屬於亞熱帶海洋型氣候國家，太陽漫射率較高，以臺南地區而言，年平均漫射率大約為53% (Kuo and Chang, 2015)，有必要探究國內太陽熱能集熱器檢測標準中漫射率對瞬時集熱效率之影響。

1.2 漫射率定義

地表上接受的太陽輻射總量通稱為全天空輻射量(global solar radiation)，其中包括直射太陽輻射量(beam solar radiation)、漫射太陽輻射量(diffuse solar radiation)及由周遭環境反射之太陽輻射量(reflected solar radiation)。漫射輻射量主要在太陽輻射通過地球大氣層時，會受到以下因素的衰減作用：大氣中(1)水氣、二氧化碳、氧及臭氧等成份的吸收及再放射，(2)灰塵及水滴(雲層)等散射，將部分直射太陽輻射轉變成漫射輻射。一般而言，由周遭環境(如樹木、水泥建築)/地面反射之太陽輻射量也可視為漫射太陽輻射量的一部分，因此以每小時為平均基準之全天空輻射量(I_{global})可以下式表示：

$$I_{global} = I_{beam} + I_{diffuse} \quad (1)$$

其漫射率(diffuse fraction, d)定義為以下公式：

$$d = \frac{I_{diffuse}}{I_{global}} \quad (2)$$

1.3 檢測標準與可執行檢測時間

CNS 15165-1規定實驗過程之漫射率必須要低於20%；若是高於20%時，則必須針對漫射率對於瞬時集熱效率的影響進行修正。於臺南市成功大學歸仁校區所架設漫射儀量測裝置所得數據，依據CNS 15165-1對實驗之需求：漫射率低於20%，同時搭配全天空太陽輻射量 $\geq 800 \text{ W/m}^2$ ，變化量 $\pm 50 \text{ W/m}^2$ 之天候條件下且能續持15分鐘，以氣候條件較佳的2015年全年之可進行測試的時間一年約137小時(Chung, *et al.*, 2017)；以氣候條件較差的2016年可進行測試的時間一年約115小時(見表1)。若依照CNS 15165-1標準，符合日射量條件 $\geq 800 \text{ W/m}^2$ ，變化量 $\pm 50 \text{ W/m}^2$ 並能持續15分鐘等實驗條件，且將漫射率放寬至50%以下，但對漫射率高於20%的數據進行漫射率修正，由表1統計結果可知如此可使用執行測試時間與原本漫射率須低於20%的可使用執行測試時間增長約3.5倍之多。

表1 依照CNS 15165-1規範之可測試時間估計(本研究整理)

測試條件 測試時間	瞬時集熱效率不需修正的 測試條件(漫射率 $\leq 20\%$)	瞬時集熱效率在漫射率 $\leq 20\%$ 時 不需修正，但在 $20\% < \text{漫射率} \leq 50\%$ 時需修正的測試條件
2015年可測試時間(小時) (Chung, <i>et al.</i> , 2017)	137	484
2016年可測試時間(小時)	115	400

1.4 研究目的

前述可知道目前國內欠缺對於太陽熱能集熱器檢測標準中瞬時集熱效率之漫射率修正方法，對太陽能集熱器吸收效率無法精確測定系統的效率，且全年可使用執行時間甚為有限，故本研究以目前市場上常見之平板型集熱器為研究主體，在符合CNS 15165-1標準但不同的漫射率條件下($< 50\%$)，以戶外實驗的方式探究國內太陽熱能集熱器檢測標準中漫射率對瞬時集熱效率之影響。此外利用所測試數據進行統

計迴歸分析以求得經驗公式，期望可提供國內CNS 15165-1太陽熱能集熱器檢測標準所要求之漫射率對瞬時集熱效率修正時之參考使用，期能對於面蓋式平版型太陽能集熱器性能測試有所幫助。

2. 實驗方法

2.1 實驗設備與測試方法

實驗設備(如圖1所示)設置地點為臺南市成

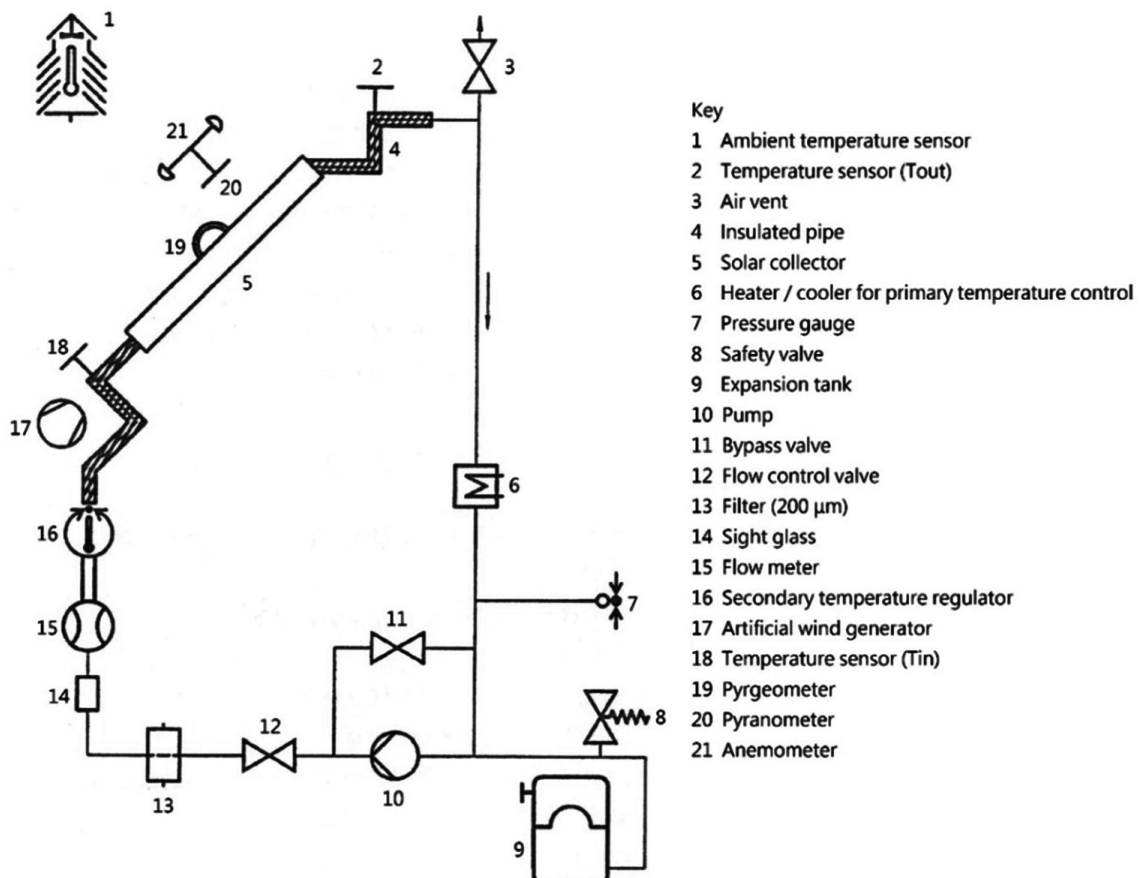


圖1 實驗測試系統(本研究繪製)

功大學歸仁校區(120°16'24"E, 22°56'15"N)，量測儀器(包括出入口溫度計、日射計、漫射計、流量計、風速計等)架設於集熱器系統上，僅大氣溫度計安裝於距離集熱器10 m範圍內的百葉箱，目的為減少溫度計受太陽輻射與周遭環境直接反射之影響，以得到與實際環境較符合之實驗數值。所架設集熱器進行測試時，依照CNS 15165-1內規範實驗所需之天氣條件及系統操縱條件(見表2)，採集每一筆完整15分鐘內數據進行分析，並以手動調整追日方式進行實驗。依表2之實驗規範，全天空輻射量需 $\geq 800 \text{ W/m}^2$ ，因此漫射率之範圍設定在 $\leq 50\%$ ；這是因為若漫射率 $> 50\%$ 時，全天空輻射量很難滿足 $\geq 800 \text{ W/m}^2$ 之條件要求。

表2 CNS 15165-1*太陽能集熱器測試標準(本研究整理)

參數	標準
全天空輻射量	$\geq 800 \text{ W/m}^2$
全天空輻射量變化範圍	$\pm 50 \text{ W/m}^2$
風速	$2 \sim 4 \text{ m/s}$
流量	0.02 kg/s
流量變化範圍	$\pm 1\%$
入口溫度變化範圍	$\pm 0.1 \text{ K}$
漫射率限制	$< 20\%$, 進行測試 $> 20\%$, 可進行測試但須修正
入口溫度點	4個入口溫度 每個溫度4個點
測量時間	每個數據點15分鐘

*等同ISO 9806：1994

2.2 測試集熱器模組

本研究利用35塊國內產製不同面蓋式平板型集熱器在不同天候條件下進行測試。面蓋式平板型集熱器之結構主要分為吸收面材質(Absorber Substrate)、表面處理(Absorber Surface)、管材(Riser Material)、及管路數(Number of Risers)等，而測試系統所使用工作流體為水，藉由與歧管內表面接觸，將所吸收之太陽熱能帶走。集熱器外部為一金屬外框，

其上搭配一層厚度介於2.7 mm至3.0 mm玻璃面蓋，將集熱板包含於內，其吸收面積(Aperture Area)通常介於 1.43 m^2 至 2.01 m^2 ，目的在於使短波長(大部分落於可見光光譜)的太陽光能穿透進集熱器內，使集熱板升溫；內部保溫材大多為玻璃纖維棉(Glass wool cotton)、保麗龍+鋁箔(Polystyrene + Aluminum foil)以利隔熱，避免吸熱升溫之集熱板向外散熱。

就本研究所測試的35塊國內產製面蓋式平板型集熱器而言，吸收面材質以鋁佔多數(28/35)，其餘為銅(4/35)或不鏽鋼(3/35)；集熱板表面吸收膜處理以烤、噴漆方式為主(27/35)，濺鍍(5/35)和電鍍(3/35)為輔；管材以不鏽鋼(30/35)佔多數，其餘為銅(5/35)；管路數多在10至14根間，但亦有使用高達24(2/35)和30(1/35)根者；玻璃面蓋全為強化玻璃，厚度分布在2.7至3.2 mm間；集熱器開口面積除一件(1.43平方公尺)之外，其餘散布在1.91至1.97平方公尺中間。

3. 實驗數據分析方法

在一個有效測試時間(15分鐘)內，到達玻璃面蓋的全天空太陽輻射量為 G ，其中穿越玻璃面蓋而到達集熱板吸收面所能收集的太陽能量， $G_a(\tau\alpha)$ ，和所使用玻璃之透光射率(τ)和吸收面之吸收率(α)有關；而整塊集熱器所能收集之熱量為(Duffice and Beckman, 2013)

$$\dot{Q} = A_a [G_a(\tau\alpha) - U_L(T_{in} - T_a)] \quad (3)$$

等號右邊第二項為集熱器之整體熱散量。所測試集熱器在這段測試時間內之實際吸收熱能亦可由所量測得工作流體的出入口溫差來決定：

$$\dot{Q} = \dot{m} C_f \Delta T = \dot{m} \cdot C_f \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

集熱器在此段測試時間之瞬時集熱效率(η)定義為

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \quad (5)$$

將式(5)之定義代入式(3)即可得Hottel-Whillier-Bliss方程式 (Smith and Weiss, 1977)：

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - U_L\left(\frac{T_{in} - T_a}{G}\right) \quad (6)$$

等號右邊第一項， $F_R(\tau\alpha)$ 代表該測試集熱器所能獲得之最大可用能量比例，亦即是在工作流體的入口溫度等於環境溫度(沒有熱散發生)條件下所能達到的最佳狀況。

依據CNS15165-1第8.4節所述，式(6)之集熱器集熱性能曲線(Efficiency Normalization Curve, ENC)須由四個溫度點實驗中各自測得四個瞬時集熱效率與 $\left(\frac{T_{in} - T_a}{G}\right)$ 值之總共16個數據分布，以之進行線性迴歸(Linear regression)後產生。在本研究中所用的四個測試溫度點包括一個CNS15165-1所要求的當時環境空氣溫度 ± 3 K內，另三個溫度點依臺灣的氣候條件設定為45、60、和70°C。

4. 結果與討論

4.1 漫射率對ENC曲線迴歸分析

Case 1：入口溫度(T_{in})為環境溫度 ± 3 K內，本組共收集有278個在漫射率(d) $\leq 50\%$ 條件下測得之 η 數據(見圖2)，經線性迴歸分析得到下式：

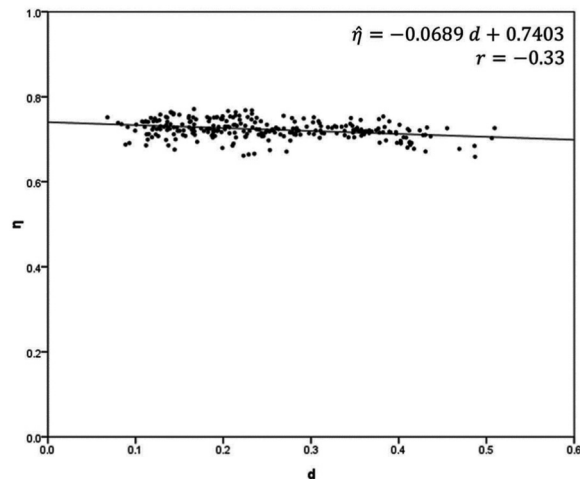


圖2 Case 1(環境空氣 ± 3 K內)之 η 隨 d 變化圖(本研究繪製)

$$\hat{\eta} = -0.0689d + 0.7403 \quad (7)$$

首先嚐試以決定係數(coefficient of determinate, R^2)方法來檢視式(7)與圖2內這些數據有多大的符合性：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \hat{\eta}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\eta}_i - \bar{\eta})^2}{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})^2} \quad (8)$$

其中 $\bar{\eta}$ 為所有 η_i 之平均值：

$$\bar{\eta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i \quad (9)$$

由圖2中之 η 數據與式(7)預測值所計算出之 $R^2 = 0.1 \ll 1$ ，似乎代表式(7)與 η 數據間的相關性極低，但這可由圖2內ENC之曲線看出，因式(7)之斜率極小，導致在 d 之測試範圍內 η 曲線幾近似一條水平線，造成式(8)中最右邊式之分子項極小而導致 R^2 值極小($= 0.1$)，故這類型之線性分布不適合使用決定係數法來檢視其相關性。在此另以皮爾森相關係數(Pearson correlation coefficient, r) (Rodgers and Nicewander, 1988)來檢視。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})(\eta_i - \bar{\eta})}{[\sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2 \sum_{i=1}^N (\eta_i - \bar{\eta})^2]^{1/2}} \quad (10)$$

r 值大小與相關性之關係見表3。

表3 r 值與相關性之關係(本研究整理)

相關性	$ r $
無	0.0~0.1
弱	0.1~0.3
中	0.3~0.5
強	0.5~1.0

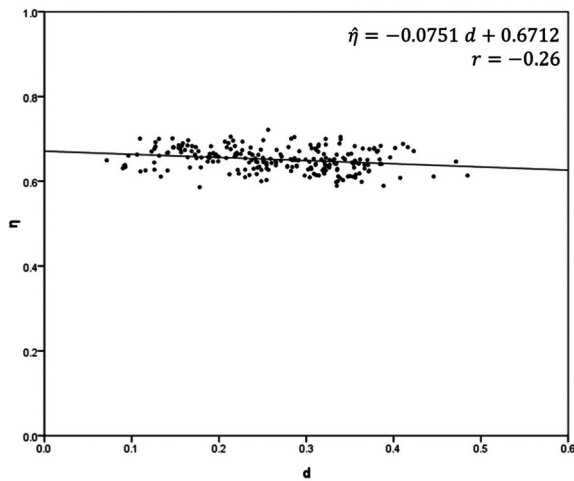
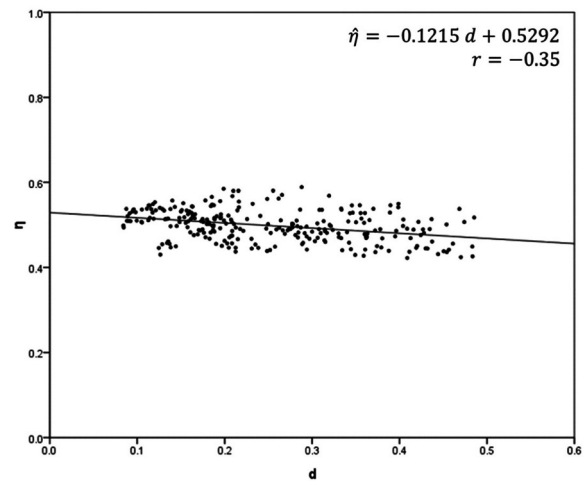
由圖2中之 η 數據與式(7)預測值所計算出之 $r = -0.33$ ，相關性為中等，因此式(7)為可接受之迴歸關係。

Case 2： $T_{in} = 45^\circ\text{C}$

本組共收集有235組數據，收錄於圖3。經線性迴歸分析得下式：

$$\hat{\eta} = -0.0751d + 0.6712 \quad (11)$$

由圖3中之 η 數據與式(11)預測值所計算出 $r = -0.26$ ，依表3所示可歸類成弱但近中強度之相

圖3 Case 2 (45°C)之 η 隨 d 變化圖(本研究繪製)圖5 Case 4 (70°C)之 η 隨 d 變化圖(本研究繪製)

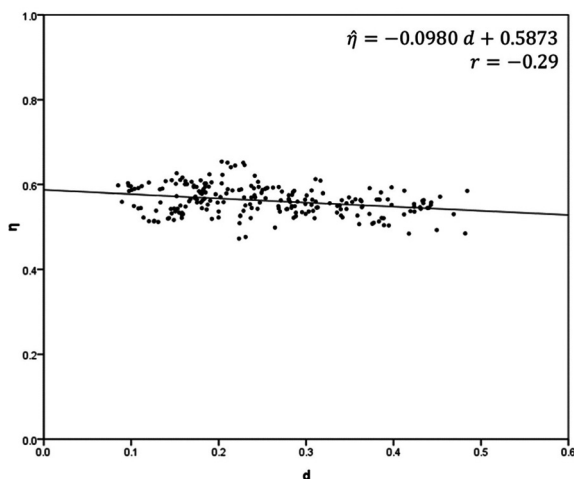
關性。

Case 3 : $T_{in} = 60^\circ\text{C}$

本組共收集有224組數據，收錄於圖4。經線性迴歸分析得下式：

$$\hat{\eta} = -0.0980d + 0.5873 \quad (12)$$

由圖4中之 η 數據與式(12)預測值所計算出 $r = -0.29$ ，依表3所示可歸類成弱但近中強度之相關性。

圖4 Case 3 (60°C)之 η 隨 d 變化圖(本研究繪製)

Case 4 : $T_{in} = 70^\circ\text{C}$

本組共收集有265組數據，收錄於圖5。經線性迴歸分析得下式：

$$\hat{\eta} = -0.1215d + 0.5292 \quad (13)$$

由圖5中之 η 數據與式(13)預測值所計算出 $r = -0.35$ ，依表3所示可歸類成中強度之相關性。

上述4個不同入口水溫條件所得之線性迴歸式子所得之 r 值都介於弱但近於中強度或是中近於弱強度之相關性，此因所測試之35塊面蓋式平板型集熱模組涵蓋絕大部分國內產製之產品，其結構及材質差異相當分歧而導致，但就圖2至圖5中的結果來看，還是存在一定可信度的 η 與 d 間的線性關係。

綜合上述4個進口測試水溫並採 $d = 20\%$ (CNS 15165-1規定， d 超過20%時須進行修正)為基準點，整理成表4：

由表4可知，進口水溫愈高， $\hat{\eta}(d = 20\%)$ 值，亦即 $\hat{\eta}_{0.2}$ ，愈低；同時 $\hat{\eta}(d)/\hat{\eta}_{0.2}$ 分布曲線之斜率也變的愈陡峭(越小的負值)，也就是說當進口水溫愈高時， η 受到 d 值的影響越大。

4.2 漫射率修正因子

從表4可定義出當 $d > 20\%$ 時之修正因子 ε 為

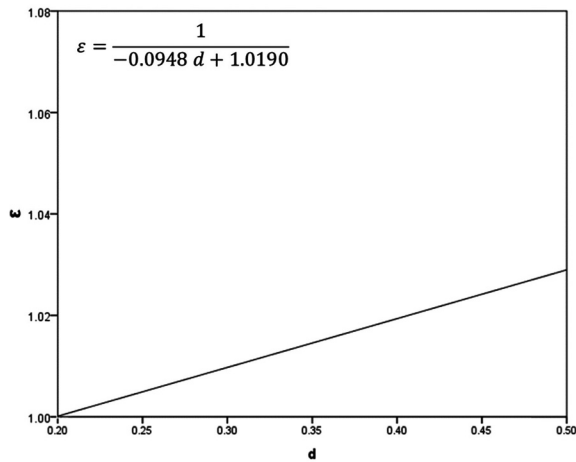
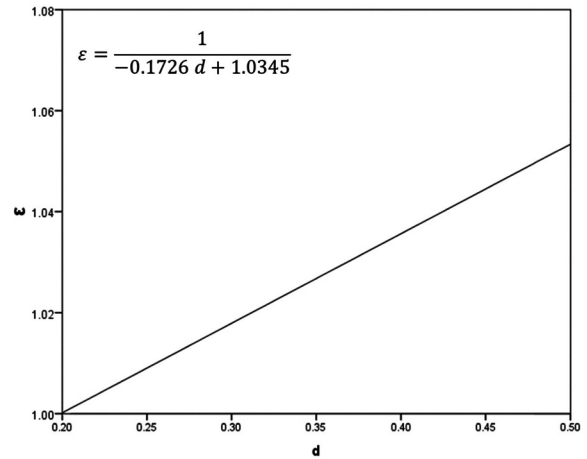
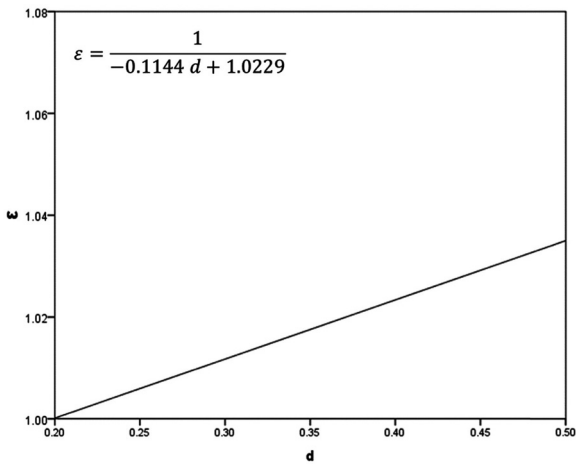
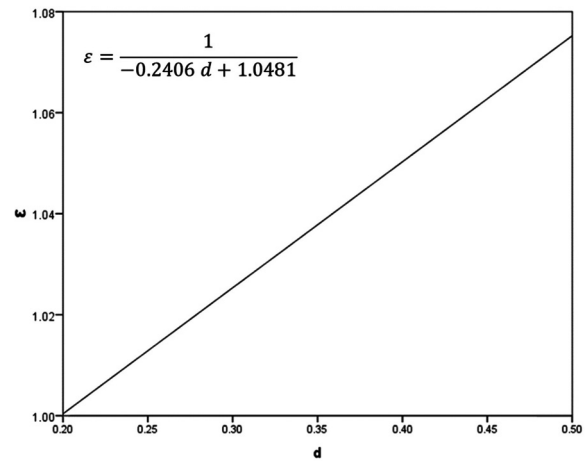
$$\varepsilon(d) = \left(\frac{\hat{\eta}(d)}{\hat{\eta}_{0.2}} \right)^{-1} \quad (14)$$

圖6~圖9分別為4個不同進口水溫條件下之 $\varepsilon - d$ 變化圖，也意謂在各個給定的測試進口水溫條件下，當 d 值大於20%後， η 所需修正之量。

4.3 比較對 $d > 20\%$ 情況有修正及無修正之兩種ENC曲線結果

表4 在4個不同進口水溫中 $\hat{\eta}(d)/\hat{\eta}_{0.2}$ 對 d 之關係(本研究整理)

進口水溫	$\hat{\eta}_{0.2}$	$\hat{\eta}(d)/\hat{\eta}_{0.2}$
Case 1 (環境溫度 ± 3 K)	0.7265	$-0.0948d + 1.0190$
Case 2 (45°C)	0.6562	$-0.1144d + 1.0229$
Case 3 (60°C)	0.5677	$-0.1726d + 1.0345$
Case 4 (70°C)	0.5049	$-0.2406d + 1.0481$

圖6 Case 1 (環境空氣 ± 3 K內)之 ε 隨 d 變化圖(本研究繪製)圖8 Case 3 (60°C)之 ε 隨 d 變化圖(本研究繪製)圖7 Case 2 (45°C)之 ε 隨 d 變化圖(本研究繪製)圖9 Case 4 (70°C)之 ε 隨 d 變化圖(本研究繪製)

選用本研究所測試35套國內產製模組其中一套國內銷售量較大之面蓋式平板型太陽能集熱器來進行在 $d > 20\%$ 情況下有或無利用圖6~圖9在不同進口水溫條件下進行修正所得ENC曲線之比較情形。所選用之集熱器之材質和結構資料為集熱面積(A_a): 1.43 m², 外框材質: 不鏽鋼, 吸收面材質: 不鏽鋼, 集熱板表面處理: 烤、噴漆, 集熱管數目: 24, 管材: 不鏽鋼。

若需進行對 $d > 20\%$ 修正之ENC曲線實驗決定步驟略述於後:

1. 依照CNS 15165-1規範, 選定4個進口水溫(同4.1節之Cases 1至4), 分別在每一個進口水溫測試當時的漫射率($d \leq 50\%$)條件下擷取4個瞬時集熱效率(η)數據, 共16點數據。
2. 依據各進口溫度所對應之修正因子 ε (圖6~圖9)進行對 $d > 20\%$ 時之 η 值修正。例如進口水溫為45°C, 漫射率為0.32, 原始瞬時集熱效

率(η)為0.7450，則對照圖7得 $\varepsilon = (-0.1144 d + 1.0229)^{-1} = 1.0139$ ，所以修正後之 η^* 值為 $\eta^* = \varepsilon \eta = 1.0139 \times 0.7450 = 0.7554$ 。

3. 重覆步驟2，分別得到16個 η^* 數據，再以線性迴歸方法求取 η^* 與 $(T_{in} - T_a)/G$ 之ENC曲線。

所選用的這件測試案例中，每個進口水溫共擷取有7個 η 數據，依CNS 15165-1規範，每個進口水溫僅需4個 η 數據來組成ENC曲線，因此每組進口水溫共有 $C_4^7 = 35$ 種組合；但因一個ENC曲線需由4個不同進口水溫下共16點數據來組成，因此本案例所擷取 $7 \times 4 = 28$ 個 η 數據共可形成 $35^4 = 1,500,625$ 條ENC曲線，表5為由本測試案1,500,625條ENC曲線所整理之統計結果。

將未經修正以及經修正所得 $(F_R(\tau\alpha) - \bar{F}_R(\tau\alpha))$ 和 $(U_L - \bar{U}_L)$ 之機率分布(PDF)整理後分別畫於圖10至13中，同時將二者之機率函數假設為常態(高斯)分布之曲線亦表達於圖10至圖13中相比較，可看出經對 $d > 20\%$ 修正後之PDF其標準差縮小(亦即分布較集中)。按國內經濟部能源局現行對太陽能熱水系統之補助標準，合格之太陽能熱水器產品需滿足以下條件： $F_R(\tau\alpha) \geq 0.75$ ， $U_L \geq -7.0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 。從表4結果來看，將 $d > 20\%$ 對 η 之修正考慮在內，可提高所測得 $F_R(\tau\alpha)$ 和 U_L 之值，對所檢測之太陽能熱水器較為公允。以 $\pm 2\sigma$ 散布區間(95.45%信賴區間)來看， $(F_R(\tau\alpha), U_L)$ 之值在未經修正及修正兩種不同處置上分別為 $(0.7577 \pm 0.0130, -6.7897 \pm 0.4280)$ 和 $(0.7591 \pm 0.0116, -6.6941 \pm 0.3596)$ ，也就是說未經修正之 $F_R(\tau\alpha)$ 及 U_L 最小值會落至0.7447(採兩位有效數字， ~ 0.74)和7.2177(採兩位有效數字， ~ -7.2)，依現行能源局所規定之合格產品條件來看，為不合格。但經修正之 $F_R(\tau\alpha)$ 及 U_L 最小值可落至0.7473(≈ 0.75)及 -7.0537 (≈ -7.0)，

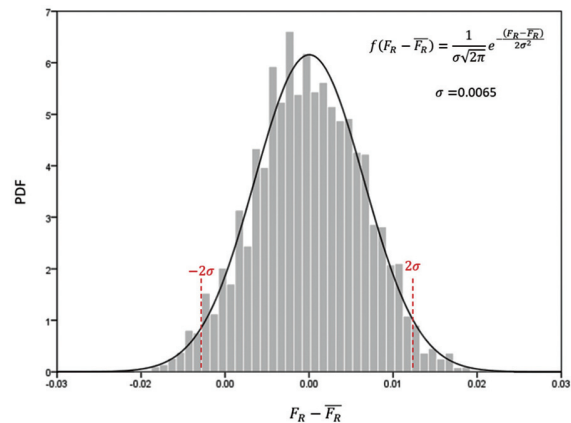


圖10 未修正之 $(F_R - \bar{F}_R)$ 機率函數分布圖(本研究繪製)

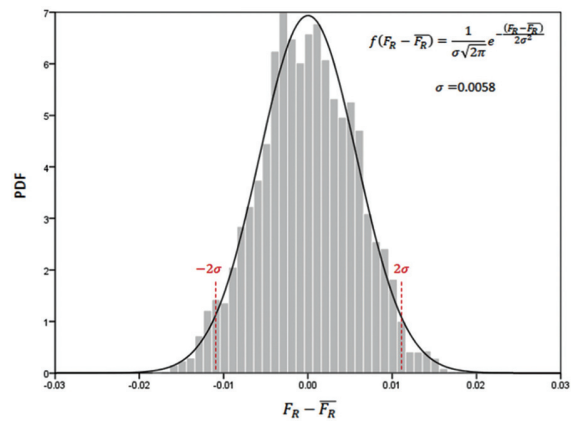


圖11 已修正 d 值大於20%之 $(F_R - \bar{F}_R)$ 機率函數分布圖(本研究繪製)

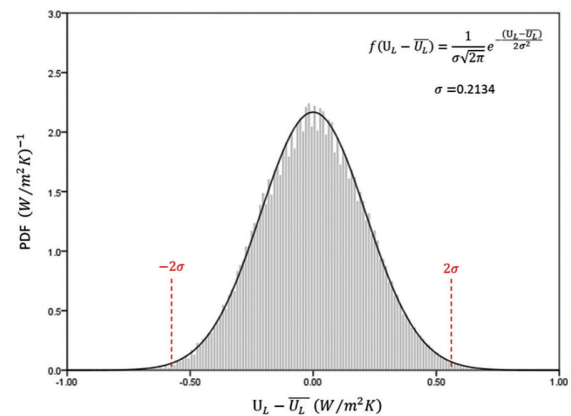


圖12 未修正之 $(U_L - \bar{U}_L)$ 機率函數分布圖(本研究繪製)

表5 測試案例之統計結果(本研究整理)

修正與否	\bar{F}_R	$\max F_R$	$\min F_R$	σ_{F_R}	\bar{U}_L (W/m ² K)	$\max U_L$ (W/m ² K)	$\min U_L$ (W/m ² K)	σ_{U_L} (W/m ² K)
否	0.7577	0.7780	0.7342	0.0065	-6.7897	-6.0030	-7.3661	0.2141
是	0.7591	0.7772	0.7394	0.0058	-6.6941	-5.9344	-7.1844	0.1798

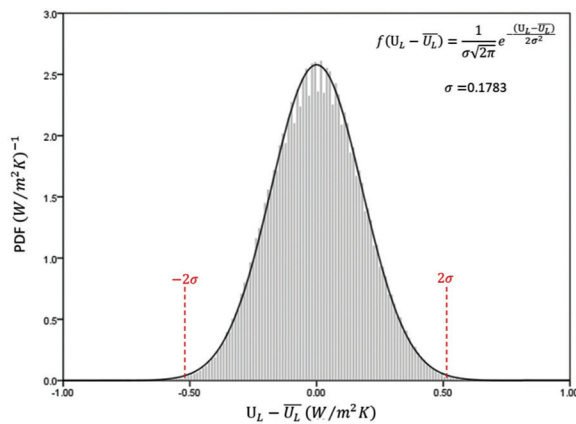


圖13 已修正 d 值大於20%之 $(U_L - \bar{U}_L)$ 機率函數分布圖(本研究繪製)

尚可符合合格產品之規定。由此比較分析來看，將 $d > 20\%$ 之 η 修正納入標準測試計算，能產生較準確且散布差較窄之 ENC 曲線。

5. 結 論

本研究以35套國內產製之面蓋式平板型太陽能集熱器在符合CNS 15165-1規範但漫射率分布在50%以內之天候條件下進行室外測試，證實漫射率(d)對瞬時集熱效率(η)確有影響，有修正必要。本研究選定4個集熱器進口水溫(環境溫度 ± 3 K, 45°C, 60°C及70°C)條件下，以統計迴歸方式分別求出 η 對 d 之變化函數，進而求得各進口水溫條件下之 η 修正因子(ϵ)，可提供國內CNS 15165-1標準所要求之 $d > 20\%$ 對 η 之修正時之參考使用。本研究亦以一塊國內銷售量較大之集熱器進行修正/未修正 $d > 0.2$ 對 η 影響之分析比較，證實將 $d > 20\%$ 對 η 之修正後之數據確可產生分布區間較窄且相較準確之Hottel-Whillier-Bliss方程式(式6)中 $F_R(\tau\alpha)$ 與 U_L 係數。

誌 謝

本文承蒙經濟部標準檢驗局委辦計畫(計畫編號：107-01-04)之經費支持，在此致謝。

參考文獻

- CNS12558，中華民國國家標準。自然循環式太陽能熱水系統試驗法，1989。
- CNS15165-1，中華民國國家標準。太陽能集熱器試驗法－第1部：面蓋式液體加熱集熱器熱性能及其壓降，2008。
- Chang, J. M., M. C. Shen and B. J. Huang, 2002. A criterion study of solar irradiation patterns for the performance testing of thermosyphon solar water heaters, *Solar Energy*, 73(4): 287-292.
- Chung, K. M., C. C. Chen and K. C. Chang, 2017. Solar irradiation on thermal performance of solar collectors, ISES Solar World Congress 2017. Paper ID : MON-56, Abu Dhabi, United Arab Emirates.
- Duffie, J. A. and W. A. Beckman, 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition, Chap. 6, p290, John Wiley.
- Halawa, E., K. C. Chang and M. Yoshinaga, 2015. Thermal performance evaluation of solar water heating systems in Australia, Taiwan and Japan – a comprehensive review, *Renewable Energy*, 83, 1279-1286.
- ISO 9806-1:1994. International Standard. Test methods for solar collectors -- part 1: thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop, 1994.
- Kuo, C. W. and K. C. Chang, 2015. In-situ measurements of solar diffuse fraction in southern Taiwan, *Journal of Chinese Institute of Engineers*, 38, 723-730.
- Rodgers, J. L. and W. A. Nicewander, 1988. Thirteen ways to look at the correlation coefficient, *The American Statistician*, 42(1): 59-66.
- Smith, C. C. and T. A. Weiss, 1977. Design application of the Hottel-Whillier-Bliss equation, *Solar Energy*, 19(2): 109-113.

符號說明

符號	定義	單位
A_a	集熱器開口面積	m^2
c_f	流體比熱	kJ/kg.K
d	漫射率	
\bar{d}	漫射率平均值	
F_R	集熱板移熱因子(無熱損失條件下)	
G	全天空太陽輻射量	W/m^2
G_α	集熱器吸收到之太陽輻射量	W/m^2
I_{beam}	每小時太陽直射輻射量	W/m^2
$I_{diffuse}$	每小時太陽漫射輻射量	W/m^2
I_{global}	每小時全天空太陽輻射量	W/m^2
\dot{m}	體積流率	kg/s
\dot{Q}	集熱器實際吸收到之熱量	W/m^2
r	皮爾森相關係數	
R^2	決定係數	
T_a	環境溫度	$^{\circ}\text{C}$
T_{in}	流體入口溫度	$^{\circ}\text{C}$
T_{out}	流體出口溫度	$^{\circ}\text{C}$
U_L	集熱器總熱損係數	$\text{W/m}^2 \text{ K}$
α	吸收率	
ε	集熱器瞬時效率修正因子	
η	集熱器瞬時效率	
$\bar{\eta}$	集熱器瞬時效率平均值	
$\hat{\eta}$	集熱器瞬時效率預測值	
η^*	修正後集熱器瞬時效率	
σ	標準差	
τ	透射率	

A Study on Correction Factor of Diffuse Fraction to Thermal Performance Test of Glazed Flat-Plate Solar Thermal Collections in Taiwan

Chia-Chun Chen¹ Keh-Chin Chnag^{2*} Kung-Ming Chun³

ABSTRACT

Solar water heater is one of the most popular applications of solar energy so far. Among various types of solar water heaters installed in Taiwan, the glazed flat-plate type is the dominant one (occupying about 93% in area installed between 2000 and 2017). The current thermal-performance testing standard of solar thermal collector in Taiwan, CNS 15165-1, is in compliance with ISO 9806:1994. According to the standard, it mentions that the correction to the instant thermal collecting efficiency (η) is necessary as the solar diffuse fraction (d) is greater than 20%. However, it does not mention how to correct. In view of the subtropical, oceanic climate in Taiwan, solar diffuse fraction is relatively high. The necessity of correction factor of d to η has to study. In this study, 35 sets of solar thermal collectors manufactured in Taiwan were tested under the conditions specified in CNS 15165-1 but with the different d values ($\leq 50\%$). The results show that there exist relatively remarkable effects of d on η at four various inlet water temperatures. The statistical regression formulae of correction of d to η , which were obtained from the data of these thermal performance tests, can be applied to the future testing of CNS 15165-1.

Keywords: performance testing standard of solar thermal collector, solar thermal application, solar diffuse fraction, glazed flat-plate solar water collector.

¹ Graduate student, On-job Master Program of Aeronautics and Astronautics, National Cheng Kung University.

² Professor, Department of Aeronautics and Astronautics, NCKU.

³ Researcher, Aeronautic and Astronautic Science and Technology Research Center, NCKU.

*Corresponding Author, Phone: +886-06-2757575#63679, E-mail: kcchang@mail.ncku.edu.tw

Received Date: August 22, 2018

Revised Date: October 4, 2018

Accepted Date: October 26, 2018