

使用有限元素分析法探討水冷式散熱對聚光型太陽能電池模組之影響

楊宗霖¹，楊茹媛^{2*}，潘正堂¹，黃裕培³，吳振良⁴

¹ 國立中山大學機械工程所

E-mail: D013020004@student.nsysu.edu.tw

² 國立屏東科技大學材料工程所

E-mail: ruyuan.yang@gmail.com

³ 國立金門大學電子工程學系

E-mail: tim@nqu.edu.tw

⁴ 美環太陽能股份有限公司

E-mail: John.wu@mhsolar.co

摘要

由於太陽能系統中的聚光效能不斷提升及改良，使得聚光型太陽能電池模組的散熱問題日益重要。其中，主動式散熱將是一種可行之方法，因此本研究藉由 ANSYS 軟體進行規畫與設計主動式散熱結構之熱傳模型，並探討散熱模型中最佳之鰭片配置方式。由模擬分析顯示，當散熱鰭片使用數目為 $n=107$ 片與鰭片寬度 $w=1.02\text{m}$ 時，整體聚光型太陽能電池模組之散熱效果可有明顯的提昇，且在控制流道壁與鰭片間距的設計條件下，適度地增加或縮短鰭片長度以及鰭片高度不可低於 0.5mm 的條件下，對太陽能晶片之散熱效果並不會產生明顯的影響。

關鍵字: 有限元素法(Finite Element Method)、聚光型太陽能發電系統、主動式散熱

Abstract

The development of suitable cooling technology for concentrated solar power system will be the next topic with increasing the magnification of the concentrated solar system. Active cooling is a viable method, and thus using ANSYS software to built a model of which the heat transfer with the active cooling structure, and to investigate the optimal of fin configuration of the model above in this present study. The simulation analysis showed that with the cooling number fin and thickness are $n=107$, $w=1.02\text{m}$, respectively, the problem of heat can be significantly improved. On the other hand, there is no significant impact for cooling as either appropriately increasing or shortening fin length and the fin length is not lower than 0.5mm of the concentrated solar system above while controlling the flow channel wall as well as the sink width.

Keywords: Finite Element Method, Concentrated Solar Power System, Active Cooling

1. 前言

近幾年由於太陽能電池材料與聚光系統的效能不斷提升，使得聚光型太陽能系統技術在太陽能發電廠的建置選擇上越來越有競爭力[1]。儘管大多數太陽能電池可經由聚光提高其發電效能，但聚光所帶來的熱問題會不利於太陽能電池的效率和壽命，特別是有機和非晶矽太陽能電池一般都對熱過於敏感，通常無法搭配聚光器來使用。

因此，高聚光型太陽能電池模組通常需要裝上散熱器，以水冷式直接冷卻或以熱管(Heat Pipes)導熱等散熱方式減輕高溫效果並延長太陽

電池壽命[2,3]。

現今藉由數值分析軟體之熱流分析模組模擬散熱結構之熱傳模型並探討散熱模型的優劣已被廣泛利用。因此，為了找出聚光型太陽能電池模組散熱之散熱方式之最佳化條件，本研究嘗試利用 PRO-E 繪圖軟體初步規畫出所需之聚光型太陽能電池模組散熱模型，再以 ANSYS 12.0 有限元素分析軟體針對模組內散熱鰭片間距、數目、深度及各散熱層間之熱阻狀況進行模組設計，期以能找出最佳配置組合且應用於相關領域

範疇。

2. 實驗步驟

聚光型模組散熱基本結構

本研究所設計之聚光型太陽能電池模組之基本結構如圖 1 所示。其中，熱傳順序依序為：熱源(Solar)→晶片(Solar Cell) →熱介面層(Thermal Interface Material, TIM) →散熱模組(Heat transfer module) →熱交換流道(Fluid channels of heat exchange)[6]。本研究針對模組開發設計部份，係以 PRO-E 繪圖軟體針對模組內散熱鰭片間距、數目、深度及各散熱層間進行模組設計。

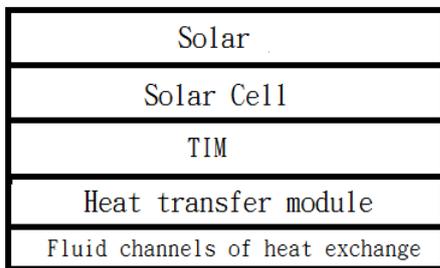
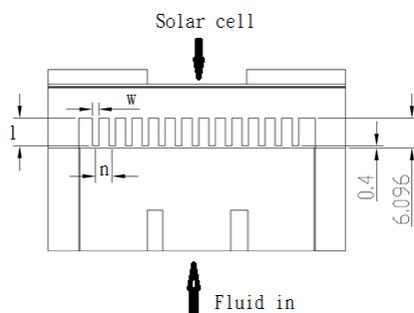
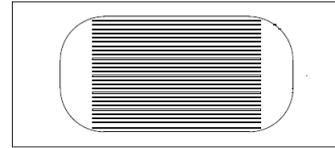


圖 1.聚光型太陽能電池模組之基本結構概圖

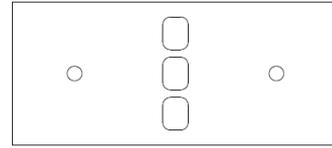
在此次模擬分析中是採用主動式水冷的方方式對聚光型太陽能電池模組進行散熱，模組外形設定如圖 2(a) 電池位置及模組剖視圖所示。其中，太陽能電池晶片係置於水冷散熱模組之上方，藉由熱介面材料本身的黏性與散熱模組貼合一起；另一方面，在散熱模組內設計出一可供流體流過的鰭片空間，而鰭片設計形狀則如圖 2(b) 鰭片型式圖所示，為平板式鰭片；流體出入口設計形式如圖 2(c) 流道出入口型式圖所示，中央三個長方形孔為流體入口，兩側小圓孔則為流體出口，其中流體流速之設定為 0.8 及 4GPM。



(a)電池位置及模組剖視圖



(b)鰭片型式圖



(c)流道出入口型式圖

圖 2. 聚光型太陽能電池模組鰭片型式及流道配置圖

聚光型太陽能電池模組散熱結構之模擬設計

由熱力學定理得知，熱傳導的型態基本上有 3 種方式，分別為熱傳導、熱對流以及熱輻射。其中，由於輻射在接近室溫情況下散熱量非常小，所以通常散熱方式主要討論熱傳導和熱對流兩方面。其各自代表的公式如下[7]：

熱傳導：

$$Q = -KA \frac{\Delta T}{L}$$

其中，K 為熱傳係數(W/m°C)，A 為截面積(m²)， ΔT 為熱傳溫差(°C)，L 為熱傳距離(m)。

熱對流：

$$Q = -hA\Delta T$$

其中，h 為熱對流係數(W/m²°C)，A 為截面積(m²)， ΔT 為熱傳溫差(°C)。

熱輻射：

$$Q = \varepsilon\sigma AT^4$$

其中， ε 為熱輻射率(W/m²°C)， σ 為波茲曼常數 5.68×10⁻⁸(W/m²K²)，A 為截面積(m²)，T 為絕對溫度(K)

從以上的理論公式可以分析出，散熱最主要問題點即為面積。需注意的是，在散熱設計中，設計者常使用熱阻(Thermal Resistance)公式來表達模組或系統的散熱能力，如下所示[7~8]：

$\Delta T=QR$ ，溫差=熱流×熱阻，單位表示 (Km²/W)。

由公式得知，當熱阻愈大時，就表示有愈多

的熱殘留在元件內，亦即熱阻越低，模組的散熱效果越好。例如：熱阻為 $5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，表示每輸入 1W 的能量會使模組上升 5°C [8]。

模型之建立[4, 5]

本研究利用商用 PRO-E 繪圖軟體繪製幾何外型建構，之後匯入前處理軟體處 ANSYS®-Mesh 建構網格處理後，再由 ANSYS® CFX 分析模組進行數值分析。研究設計之求解流程圖如 2 所示。

模擬之邊界條件設定 [9-11]

在此次模擬分析的重點在於：

1. 在固定鰭片寬度(Fin width) ($w=0.38\text{ mm}$) 下，鰭片密度對聚光型太陽能電池模組散熱之影響；
2. 在固定鰭片數目(Fin number) ($n=26$) 下，鰭片寬度對聚光型太陽能電池模組散熱之影響；
3. 不同鰭片長度(Fin length) ($l=0, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$) 在不同水流量(Flow rate, 0.8, 4 GPM)條件下對聚光型太陽能電池模組散熱的影響。

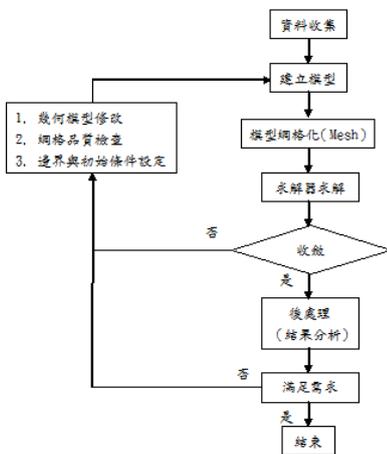


圖 2. 聚光型太陽能電池模組設計及模擬流程圖 [8]

而模擬時所採用之運算法為 $k-\epsilon$ ，環境溫度設定為 25°C ，熱源設定為聚光倍率 300 倍之狀況下所產生之熱流量。

3. 結果與討論

在固定鰭片寬度 ($w=0.38\text{ mm}$) 下，鰭片密度對

聚光型太陽能電池模組散熱之影響

為了找出在有限的散熱空間內最佳散熱效果的鰭片數目，本研究將鰭片寬度固定並將鰭片佈滿流道空間，採用 0.8 及 4 GPM 之流體流速來模擬預測鰭片密度所帶來的散熱效果。模擬分析結果如圖 5 所示，由圖表曲線趨勢可以得知，鰭片數目對散熱效果的改善十分明顯，尤其是在低流速 0.8 GPM 的狀態下，固定鰭片寬度並採用鰭片數目 (n) 為 26 片時，太陽能晶片溫度為 119.1°C ；數目 (n) 為 51 片時晶片溫度降為 94.04°C ；數目 (n) 為 107 片時晶片溫度降為 67.97°C ；當提高入口水流流速至 4GPM 時，採用鰭片數目 (n) 為 26 片時，晶片溫度為 68.91°C ，數目在 51 片時晶片溫度降為 64.38°C ；數目 (n) 為 107 片時晶片溫度降為 58.08°C 。綜上所述，比較曲線趨勢可得知，若空間允許可，鰭片數目越多散太陽能電池模組之散熱效果越彰顯。

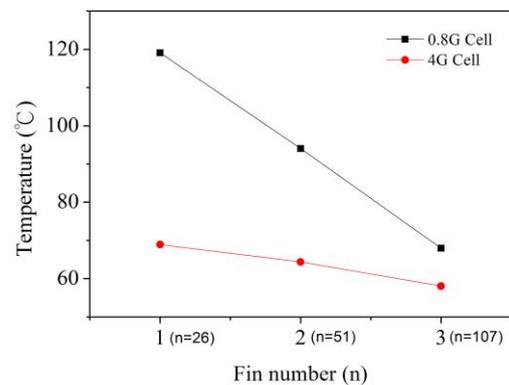


圖 5. 在固定鰭片寬度 ($w=0.38\text{ mm}$) 下，鰭片密度對聚光型太陽能電池模組散熱之影響

在固定鰭片數目 ($n=26$) 下，鰭片寬度對聚光型太陽能電池模組散熱之影響

在實驗參數設定上，鰭片寬度條件選用寬度分別為 (w) $0.38, 0.64$ 及 1.02 mm ，而入口流速條件則選用 0.8 及 4 GPM，藉由此一形式之模擬則可進一步得知鰭片寬度對此水冷式散熱模組是否有改善效果。

如圖 6 之模擬結果顯示：寬度對散熱的效能的改善確有其影響力。當鰭片寬度選用條件分別為 $0.38, 0.64$ 及 1.02 mm 時，在 0.8 GPM 的入口流速狀態下其太陽能晶片溫度分別為 119.1°C 、 109.4°C 、 65.72°C ，可以很明顯地看出當寬度由 0.38 調升至 1.02 mm 時可有明顯地散熱效果改善；當流速改為 4GPM，在同樣的鰭片寬度做變數條件下，其太陽能晶片溫度分別為 68.91°C 、

67.71°C、51.93°C，由此可得知鰭片寬度對散熱效果的改善需在鰭片寬度達一定數額才具有顯著之效果。

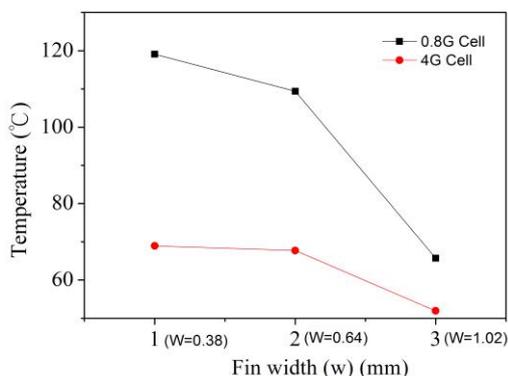


圖6. 在固定鰭片數目 (n=26) 下，鰭片寬度對聚光型太陽能電池模組散熱之影響

不同鰭片長度在不同水流量條件下對聚光型太陽能電池模組散熱的影響

接下來再思考針對不同鰭片長度在不同水流量條件下對其太陽能晶片散熱是否有影響。由模擬結果得知當鰭片長度低於 1mm 的狀況下則因為鰭片所提供之散熱截面積不足以讓水充分熱交換，因此模擬所得晶片溫度有上升的現象，而當流體流速值改選用 4GPM 的條件，則所得到之模擬效果則為上下平移，這表示加快流體進入散熱模組內可快速的將熱自散熱模組帶走。

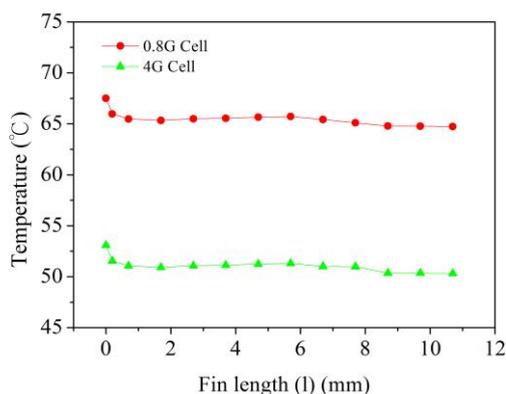


圖7. 不同鰭片長度 (l=0, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) 在不同水流量 (0.8, 4 GPM) 條件下對聚光型太陽能電池模組散熱的影響

4. 結論

本研究成功得以有限元素分析法針對聚光型太陽能電池散熱模組中的鰭片數目、寬度及高度對整體散熱效果所產生的影響作一詳盡的探討，由模擬結果顯示：

- 隨著散熱鰭片使用數目增多，其協助散熱效果可有明顯的提昇，依本研究設計在固定鰭片寬度的條件下所得之模擬顯示使用鰭片數目為 107 片之條件 (w=0.38mm) 下具有最好的散熱效果；
- 隨著散熱模組上的鰭片寬度增加，其協助散熱效果可有明顯的提昇，依本研究設計在固定鰭片數目的條件 (n=26) 下所得之模擬顯示使用鰭片寬度為 1.02 mm 之條件下具有最好的散熱效果；
- 在控制流道壁與鰭片間距的設計條件下，適度地鰭片長度增加或縮短，且鰭片高度不可低於 0.5mm，對晶片散熱效果並不會產生明顯的影響。

5. 致謝

101 年度科學工業園區研發精進產學合作計畫，用於高聚光反射式太陽能發電系統之高效率散熱模組研發

6. 參考文獻

- 黃裕培，翁敏航，聚光型太陽能系統之發展趨勢，電子月刊，2012 年。
- 翁敏航，楊茹媛，管鴻，晁成虎，太陽能電池-原理、元件、材料、製程與檢測技術，東華書局，2000 年。
- 王新榮，陳時錦，有限元素法及其應用，中央圖書，1999 年。
- 李輝煌，ANSYS 工程分析基礎與觀念，高立圖書，2005。
- 宋志傑，水冷式散熱座冷卻效益之研究，大同大學，2010 年。
- 黃喻鴻，運用於電源供應器中之多點熱源散熱片最佳化設計，元智大學，2006 年。
- 王崇岳，桌上型電腦散熱模組之參數分析，中原大學，2005 年。
- 楊宗霖，楊茹媛，黃裕培，潘正堂，吳振良，聚光型太陽能電池模組的散熱技術，電子月刊，2012 年。

9. A. Kribus, D. Kaftori, G. Mittelman, A. Hirshfeld, Y. Flitsanov, and A. Dayan, "A miniature concentrating photovoltaic and thermal system," Energy Conversion and Management, vol. 47, pp. 3582-3590, 2006.
10. 林清安，Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 基礎入門與範例，知城數位科技股份有限公司，2005 年。
11. 謝龍漢，趙新宇，張炯明，“ANSYS CFX 流體分析及仿真”，電子工業出版社，2012 年。