

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 以田口法與場協同理論探討電子元件散熱鰭片之熱傳增強 設計與研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 99-2622-E-269-006-CC3  
執行期間：99年06月01日至100年05月31日  
執行單位：遠東科技大學電腦應用工程系(所)

計畫主持人：周德明  
共同主持人：湯秉輝  
計畫參與人員：講師級-兼任助理人員：林松義

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，研究成果報告(精簡版)2年後可公開查詢

中華民國 100 年 08 月 31 日

# 行政院國家科學委員會補助產學合作研究計畫成果精簡報告

## 以田口法與場協同理論探討電子元件散熱鰭片 之熱傳增強設計與研究

計畫類別： 先導型       開發型       技術及知識應用型

計畫編號：NSC 99-2622-E-269 -006 -CC3

執行期間： 99 年 06 月 01 日至 100 年 05 月 31 日

執行單位：遠東科技大學

計畫主持人：周德明

共同主持人：湯秉輝

計畫參與人員：林松義(兼任助理)、鄭文駒、林柏勳

處理方式：依規定，原則上不予公開。

中 華 民 國 100 年 08 月 20 日

## 中文摘要

在解決低發熱量的電子元件散熱問題上，大多僅會使用加裝散熱鰭片(被動元件)來達到散熱效果，但是僅靠散熱鰭片的自然對流熱傳效應是不足以降低電子元件的溫度，必須靠系統中的流動氣流來產生強制對流熱傳效應，但是由於熱傳效應會隨著散熱鰭片的擺置、型式與排列方向的不同而有所改變，所以有必要針對散熱鰭片熱傳效應與壓降阻抗的影響進行研究，以做為設計或安裝散熱鰭片時之設計參考。

本研究是利用數值模擬與實驗測試的方法，探討散熱鰭片在控制系統中的熱傳性能與壓降阻抗的影響，將建議出一個設計與安裝散熱鰭片之設計參考，以做為未來在設計控制系統或電子元件散熱系統時的重要參考依據。研究將以數值方法並利用場協同理論分析流場的協同度差異，以找出散熱鰭片熱傳增強的主要影響因素，並藉由田口法則進行實驗驗證規畫，找出設計參數間的關係與最佳化，以期做為散熱鰭片最佳化設計時的重要參考依據。

利用田口法則設計散熱鰭片將可以有效率找出最佳優化設計方向，在本研究中以三種不同設計規劃的鰭片做為原始設計，均可以快速找出優化的設計方向與結果，再經實驗驗證亦符合預期結果，因此本研究的方法將可以提供合作廠商在散熱設計方法上的依循，將有助於提升合作企業的設計能力與產品競爭力。

**關鍵詞：**田口法、散熱鰭片、熱傳增強

### 一、前言

一般而言，「溫度」及「濕度」是讓電子零件產生當機的主要原因之一，而電子零件的散熱設計，是針對可行的熱散方式(如圖一所示)，使各部份的溫度控制在容許值以下的散熱設計。根據實驗數據顯示，電子零件的溫度每上升 $10^{\circ}\text{C}$ ，壽命(可靠性)就變成原來的一半( $10^{\circ}\text{C}$ 法則或 Arrhenius 法則)，因此散熱性能的好壞，除將可以將系統溫度降低之外，也可以增長電子元件的使用壽命，確保系統的穩定性與可靠性。

本研究計畫合作廠商(金岳機械工程有限公司)的主要營業項目為廠房控制系統與管路規劃設計，在所執行的業務工作中長需使用到各項控制元件，在工作進行中有時會遇到電子元件或是控制系統因工作環境不良而造成失效，因此該公司希望藉由本次與本校的技術合作，提昇該公司的電子元件與自動化控制系統熱傳性能上的技術，以解決電子元件散熱問題，尤其是主宰所有控制的自動化控制系統的散熱問題。

在分析與設計散熱鰭片時，會影響對流熱傳的變數有許多，而且這些變數間亦會相互作用與影響，因此在研究過程中，將藉由場協同理論分析流場速度與溫度梯度間的協同度，並以提昇流場整體的協同度做為設計散熱鰭片的依據，將可以找出較佳的散熱鰭片形狀，大幅提升散熱模組的熱傳性能。由於要依被動式散熱系統的散熱型態設計出適合的散熱鰭片形狀，所要探討與分析的變數眾多且繁瑣，因此在本研究中，將以田口法分析並找出主要影響熱傳性能的變數，這將可以使得設計與分析的時間大幅縮短，但是又能確保設計所得結果的精確度。

因此本研究將以田口法以及場協同理論，分析並設計出適用於電子元件或自動化控制系統的散熱鰭片，並將以數值模擬及可視化流場觀測實驗相互驗證，發展出散熱鰭片的設計與驗證技術，以做為散熱鰭片最佳化設計時的重要參考依據，更可以提升合作企業的設計能力與產品競爭力，並期待所得之結果能做為未來在散熱模

組設計時的重要參考依據，也能將研究成果應用在產業界之產學合作計畫或技術分享上。

## 二、研究目的

由於控制系統中，具發熱量的電子元件均需給予適當的散熱機制，所以大部分會加裝散熱鰭片(被動散熱元件)來達成降溫的目的，但是由於電子元件的熱量不高且必須長期穩定散熱，因此都不會在鰭片外再加裝風扇(主動散熱元件)，以避免風扇失效時因散熱不足所造成的系統故障，所以散熱鰭片必須藉由自然對流或是系統中流動空氣(通常來自系統機殼上之散熱風扇)達成散熱需求，因此此時的散熱鰭片選用會依系統內部的流場狀態、元件擺設位置與空間限制而有極大差異，如果沒依上述狀態作適當規劃設計，常會造成散熱不良、鰭片佔據過多系統內部空間、鰭片不易擺放、內部流場受鰭片阻礙流動(流阻過大)等影響，因此足見在系統散熱規劃設計中，散熱鰭片的選用是很重要的考量因素，因此有必要協助合作廠商發展散熱鰭片的熱傳增強技術，以利選用散熱性能最佳的散熱鰭片，亦可自行製作與開發高熱傳性能的控制系統專用散熱鰭片。

以場協同度理論之所以可以增強熱傳效能，主要是它可以增加流體流速與提高溫度梯度，但是此二因素又會彼此相互影響與作用，因此在研究過程中，將藉由場協同理論分析流場速度與溫度梯度間的協同度，並以提昇流場整體的協同度做為設計散熱鰭片的依據，因為協同度越高的散熱系統，熱傳效能相對也會最高，電子元件的溫度亦將大幅下降，所以有效地利用場協同理論的分析，將可以有效找出影響熱傳性能之主要因素，以便設計出最佳的散熱鰭片形狀。

由於從以往的至今的熱傳增強設計概念可歸納為：(1)破壞流體邊界層或減少邊界層厚度；(2)增加壁面區域與流場中心區域流體之混合；(3)增加流場紊流強度；(4)產生二次流動等，因此在熱傳機制上增加了使用粗糙表面、肋、突起物、渦流產生器、衝擊流、變截面積、壓紋、螺旋與扭帶等方式，但是這些方式雖然帶來了熱傳增強效果，也同時產生了更多的流動阻力，也就是加大了能量的損耗，這對工程的應用上將有所限制，如果我們重新檢討真正影響對流熱傳的物理機制為何，也就是利用場協同理論分析熱傳增強的機制，並從這個方向改善熱傳性能，將可以滿足在達成同樣或更佳熱傳性能前提下，降低能量的耗損，達到綠色節能設計的目的。

有關被動式散熱系統散熱性能之研究為數眾多，而且迄今已有相當不錯的研究成果，且多為利用設計不同散熱鰭片型式來提升的散熱效能，所得成果豐碩，但是已將近散熱效能的設計極限，且多數號稱高效能散熱鰭片的型式在實際加工製造上有其困難度，將不符合成本低廉與量產的需求，因此以場協同理論設計開發散熱鰭片做為有效提升散熱效能的設計方式，將有其必要性與重要性。在設計散熱鰭片時我們將考慮以下因素的影響，做為設計時的重要參考變數：

- (a) 散熱鰭片形狀
- (b) 電子元件發熱瓦數
- (c) 控制系統內電子元件排列方式
- (d) 環境溫度
- (e) 鰭片擺放位置
- (f) 入流與水平面之夾角
- (g) 壁面效應的影響
- (h) 不同散熱鰭片在系統中的壓降阻抗影響

因此本研究將以場協同理論以及田口法，分析並設計出適用於散熱鰭片，並考

考慮散熱鰭片形狀、電子元件發熱瓦數、電子元件排列方式與環境溫度等變數在散熱鰭片設計時對熱傳性能的影響，並將以數值模擬及可視化流場觀測實驗相互驗證，發展出散熱鰭片的設計與驗證技術，以做為被動式散熱模組最佳化設計時的重要參考依據，提升合作企業的設計能力與產品競爭力。

### 三、研究方法

本研究是以田口法以及場協同理論，分析並設計出適於自動化控制系統中之散熱鰭片，並考慮散熱鰭片形狀、電子元件發熱瓦數、控制系統內電子元件排列方式與環境溫度等變數在散熱鰭片設計時對熱傳性能的影響，並將以數值模擬及可視化流場觀測實驗相互驗證，發展出散熱鰭片的設計與驗證技術，因此本研究計畫的研究方法包含以下此各部份：

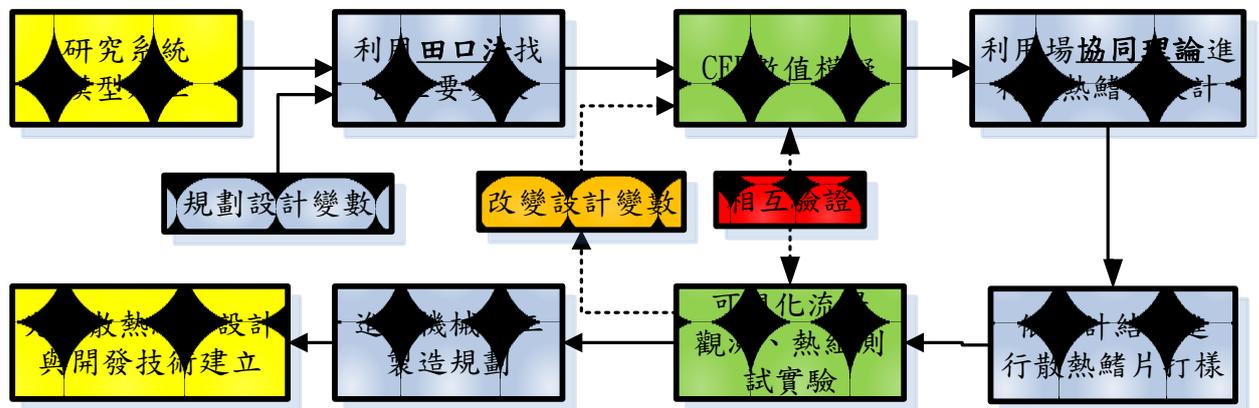


圖 4-1 研究規劃流程圖

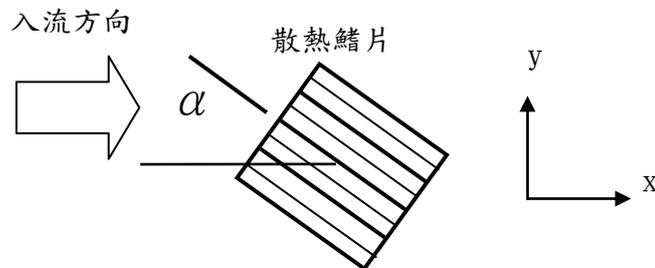


圖 4-2 入流與散熱鰭片放置方向夾角( $\alpha$ )示意圖

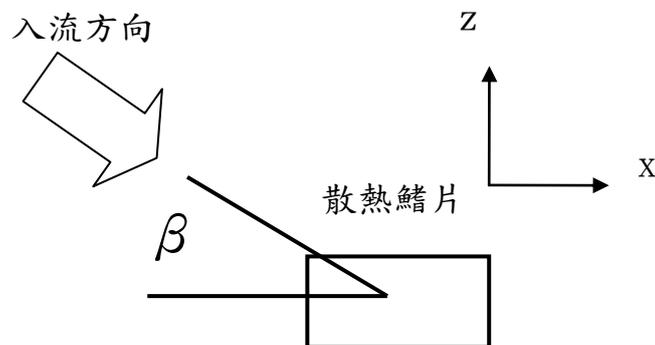


圖 4-3 入流與散熱鰭片放置方向夾角( $\beta$ )示意圖

## CFD 數值模擬分析技術的建立

CFD 軟體在系統設計上提供了快速且便宜的優點，但是相對的要利用 CFD 軟體進行設計，必須具有相當的理論基礎與 CFD 執行技巧，如此才可以獲得足以信賴的數值結果，並且也必須由分析結果找出解決問題的方向。

### 基本假設

為了便於求解，本研究將做以下幾點假設：

- (a) 工作流體為空氣，且因溫度變化範圍不大，所以工作流體密度的變化也不大，因此假設流體為不可壓縮流。
- (b) 流場的速度與溫度不隨時間變化，因此假設流場為穩態流動。
- (c) 因被動式散熱流場多為自然對流熱傳，因此流場需考慮重力效應。
- (d) 由於流場中溫度差異不大，因此忽略熱輻射。

### 邊界條件

- (1) 工作流體入口空氣溫為  $25^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 環境壓力為一大氣壓。
- (3) 鰭片及散熱座的材質為銅或鋁。
- (4) 晶片熱量為  $1\sim 5\text{W}$ 。

### 實驗測試之研究

實驗驗證是研究進行中很重要的一環，主要是驗證數值模擬所得的結果是否一致，因此本研究計畫亦將進行實驗驗證，以確認數值結果的正確性，並建立散熱鰭片熱阻量測的標準模式，以利未來對任一形式的散熱鰭片均能迅速瞭解其散熱性能的好壞。

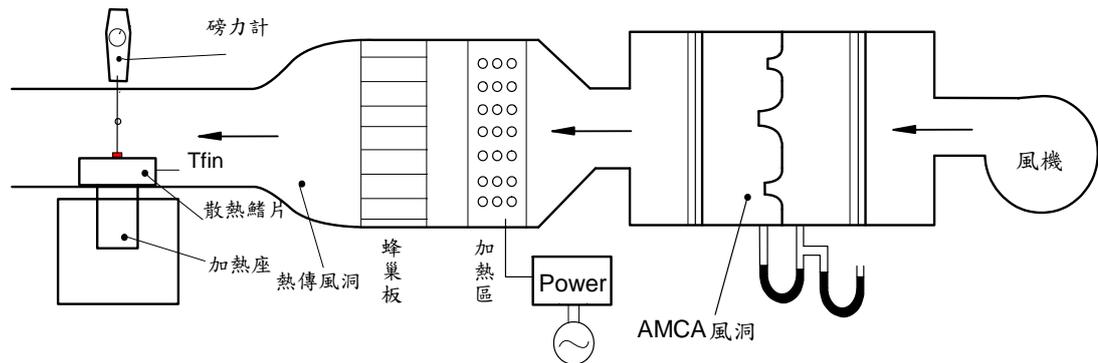


圖 4-4 散熱鰭片熱傳性能實驗系統規劃圖

## 四、結果與討論

### (A) 數值模擬結果

本研究數值部分主要是以田口法則進行分析規劃，並進行三種不同型式鰭片之田口優化設計，找出影響鰭片最高溫度的主要變數，以做為日後鰭片設計時的參考依據，三種鰭片之設計編更方向分別為：(1)方型鰭片：改變鰭片數量、鰭片間距、鰭片高度、入流偏向角度、入流俯仰角度；(2)長方形：改變底面積長寬比、鰭片數量、鰭片高度、入流偏向角度、入流俯仰角度；(2)挖槽型：改變挖槽數量、挖槽間距、挖槽寬度、入流偏向角度、入流俯仰角度。數值分析結果分述如下：

#### (i) 方形鰭片

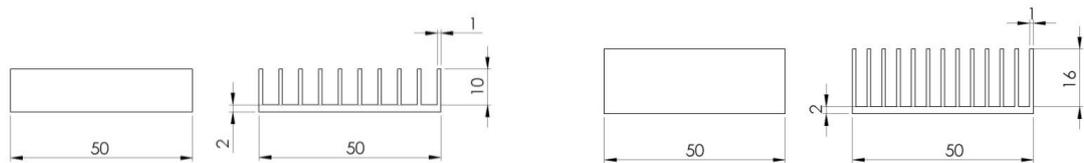


圖 5-1 方形鰭片-(左)原始設計、(右)田口優化設計

	鰭片數量	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$
	A	B	C	D	E
1	10	1	10	0	0
2	11	1.5	12	30	25
3	12	2	14	60	50
4	13	2.5	16	90	75

表 5-1 鰭片幾何參數之控制因子與水準

Exp No.	鰭片數量	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$	結果 TC(°C)	S/N 比
1	1	1	1	1	1	63.67247845	-24.0378
2	1	2	2	2	2	43.57388942	-20.7433
3	1	3	3	3	3	46.2916405	-21.2689
4	1	4	4	4	4	53.76641456	-22.569
5	2	1	2	3	4	48.99344246	-21.7616
6	2	2	1	4	3	67.81487457	-24.5853
7	2	3	4	1	2	44.05233449	-20.8382
8	2	4	3	2	1	55.98150703	-22.9197
9	3	1	3	4	2	53.48554359	-22.5235
10	3	2	4	3	1	42.99754826	-20.6277
11	3	3	1	2	4	44.21480437	-20.8702
12	3	4	2	1	3	42.79548512	-20.5868
13	4	1	4	2	3	36.35072482	-19.1691
14	4	2	3	1	4	44.31839126	-20.8905
15	4	3	2	4	1	62.03833236	-23.812
16	4	4	1	3	2	54.86642748	-22.7449
17(優化)	3	3	4	2	3	37.75216929	-19.4976

表 5-2 L16(45)直交表之輸出與回應

	鰭片數量	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$
Factor	A	B	C	D	E
1(average S/N)	-22.155	-21.873	-23.060	-21.588	-22.849
2(average S/N)	-22.526	-21.712	-21.726	<b>-20.926</b>	-21.712
3(average S/N)	<b>-21.152</b>	<b>-21.697</b>	-21.901	-21.601	<b>-21.402</b>
4(average S/N)	-21.654	-22.205	<b>-20.801</b>	-23.372	-21.523
Delta(S/Nmax.-S/Nmin.)	1.374	0.508	2.259	2.447	1.447
Ranking	4	5	2	1	3

圖 5-2 方形鰭片-田口優化設計

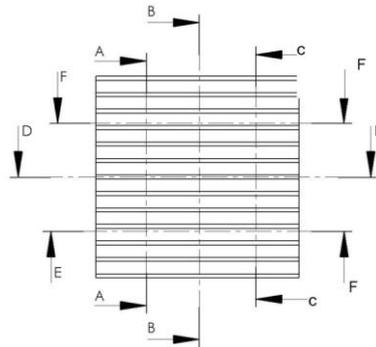


圖 5-18 截面位置說明

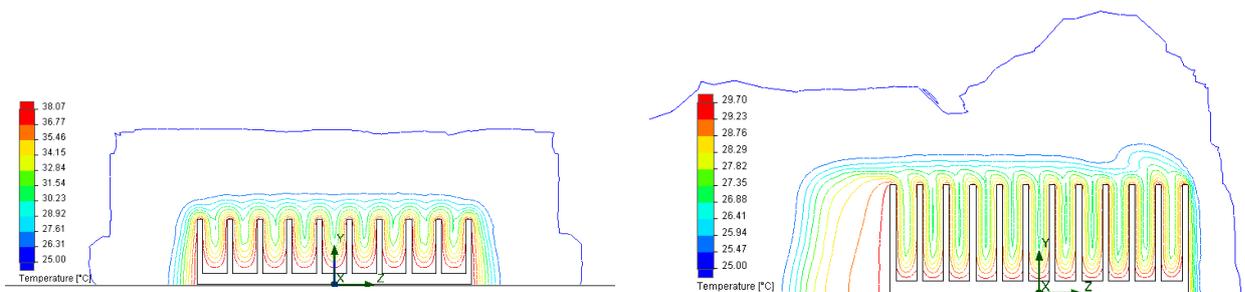


圖 5-4 截面 A 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

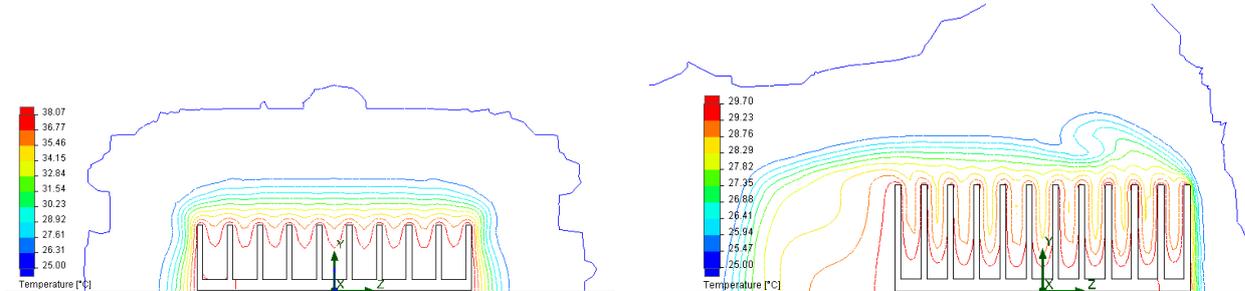


圖 5-5 截面 B 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

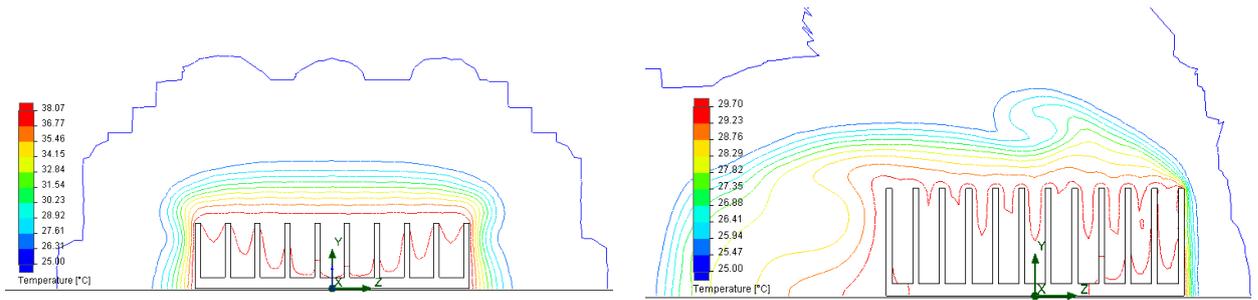


圖 5-6 截面 C 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

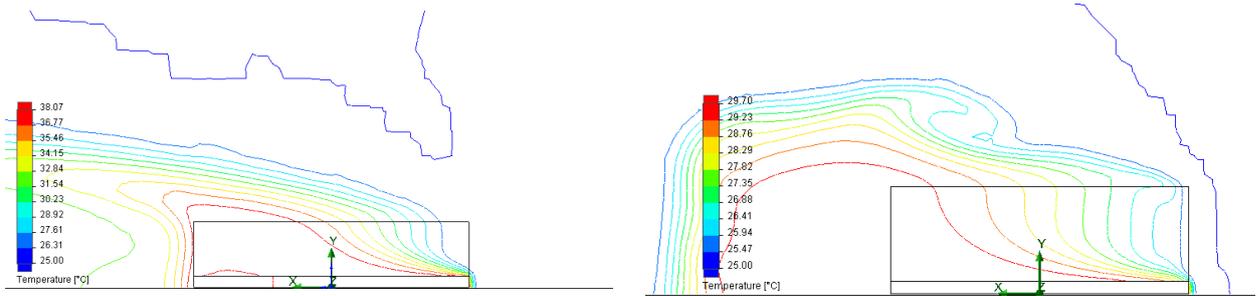


圖 5-7 截面 D 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

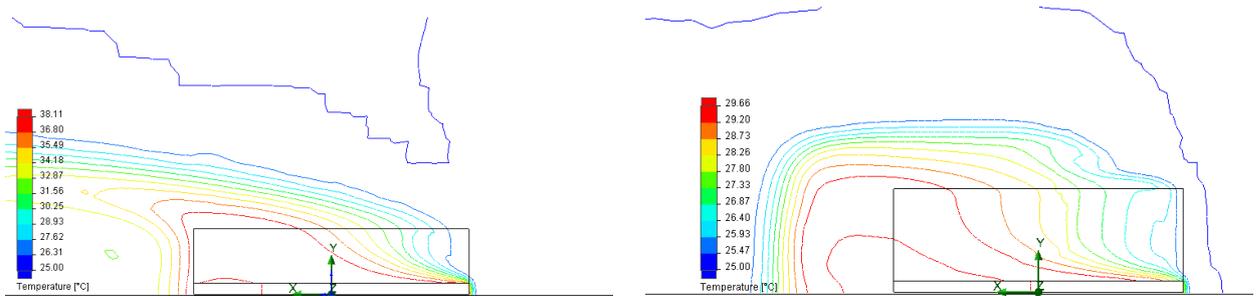


圖 5-8 截面 E 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

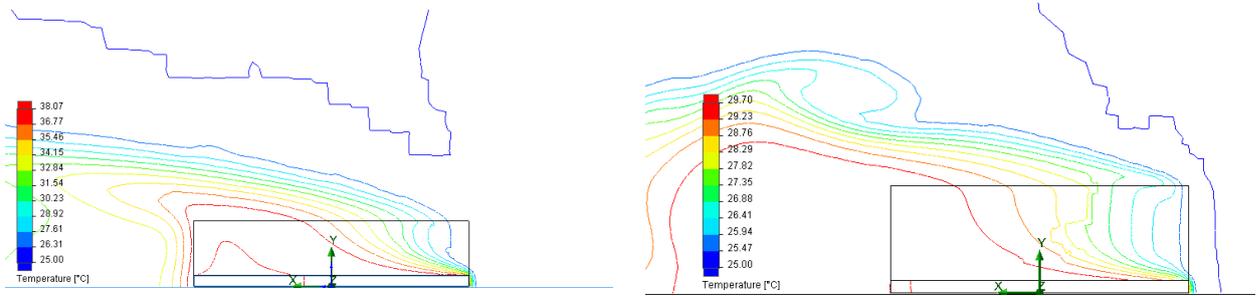


圖 5-9 截面 F 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

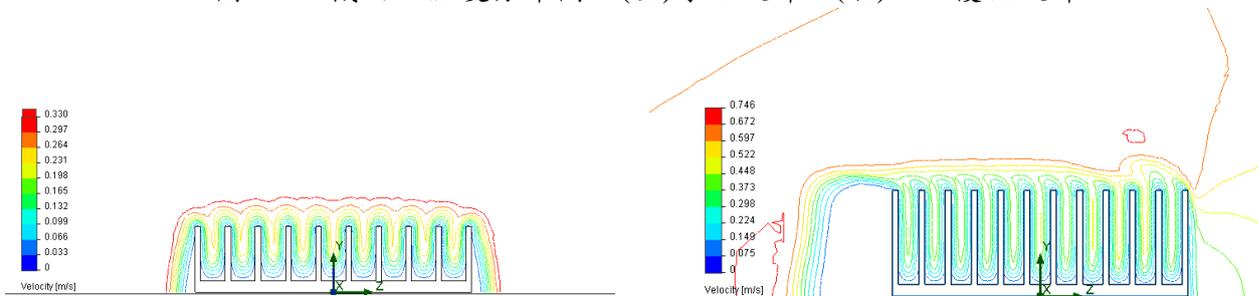


圖 5-10 截面 A 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

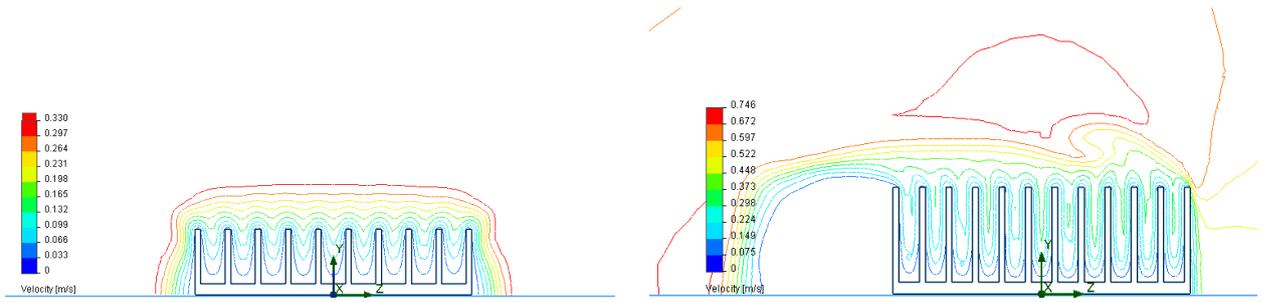


圖 5-11 截面 B 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

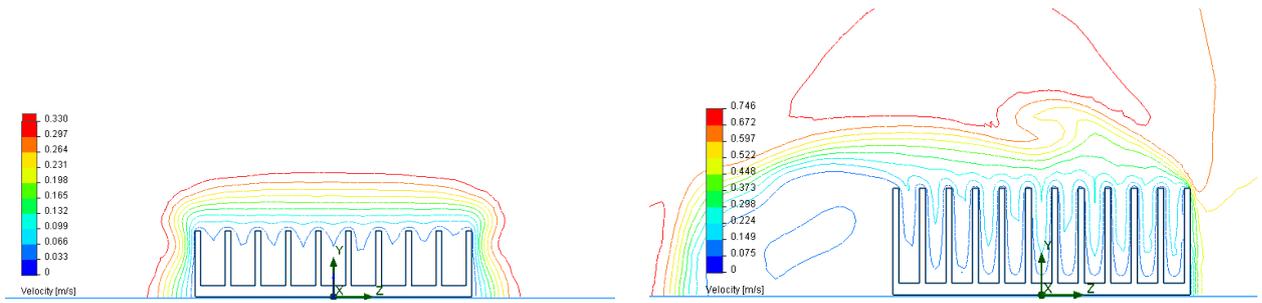


圖 5-12 截面 C 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

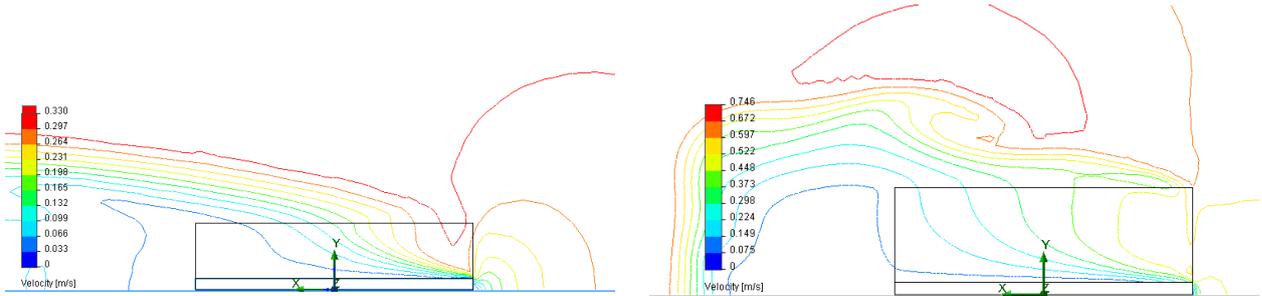


圖 5-13 截面 D 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

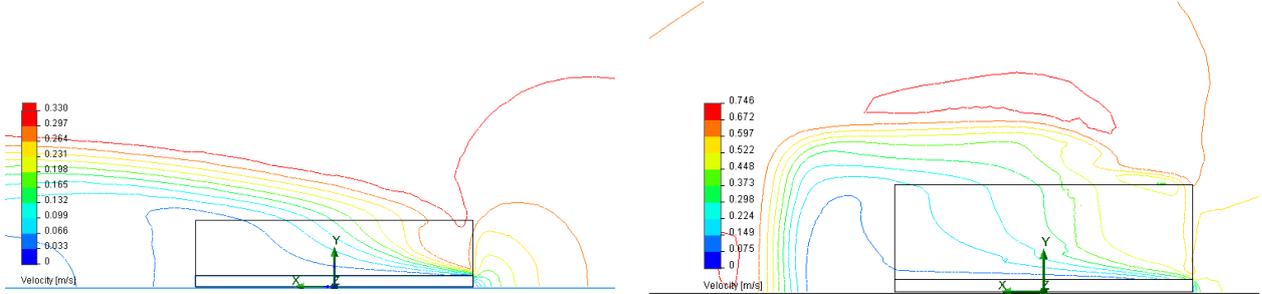


圖 5-14 截面 E 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

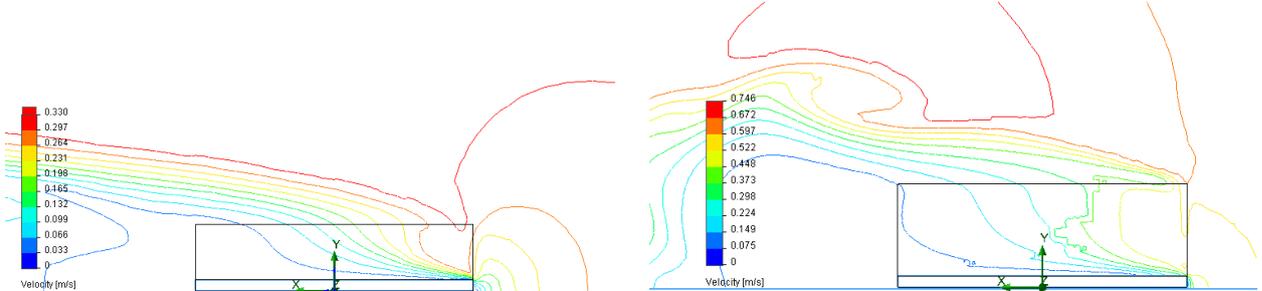


圖 5-15 截面 F 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

(ii)長方形鰭片

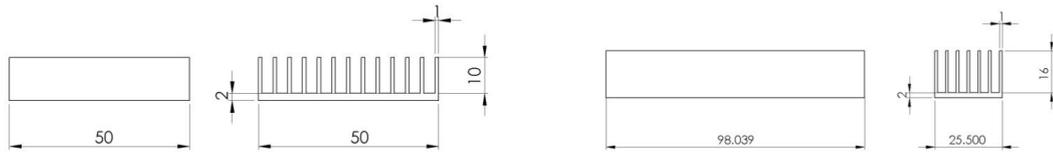


圖 5-16 長型鰭片-(左)初始設計、(右) 田口優化設計

	長寬比	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$
	A	B	C	D	E
1	1	1	10	0	0
2	1.428548753	1.5	12	30	25
3	2.205666111	2	14	60	50
4	3.844675125	2.5	16	90	75

表 5-8 鰭片幾何參數之控制因子與水準

Exp No.	鰭片數量	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$	結果 TC(°C)	S/N 比
	A	B	C	D	E		
1	1	1	1	1	1	52.99767579	-22.44393666
2	1	2	2	2	2	44.71570901	-20.9680026
3	1	3	3	3	3	47.62547815	-21.51558715
4	1	4	4	4	4	53.15356707	-22.46944847
5	2	1	2	3	4	42.74498666	-20.57650389
6	2	2	1	4	3	60.98415616	-23.66314055
7	2	3	4	1	2	58.23076458	-23.26185002
8	2	4	3	2	1	51.0051052	-22.11107313
9	3	1	3	4	2	62.73956419	-23.90963013
10	3	2	4	3	1	43.9886495	-20.82561275
11	3	3	1	2	4	48.62590751	-21.69615457
12	3	4	2	1	3	53.77992233	-22.57120359
13(優化)	4	1	4	2	3	35.77531439	-19.03046935
14	4	2	3	1	4	53.47684068	-22.52211501
15	4	3	2	4	1	59.26965905	-23.41544875
16	4	4	1	3	2	46.52360922	-21.31226816

表 5-9 L16(45)直交表之輸出與回應

	鰭片數量	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$
Factor \ Level	A	B	C	D	E
1(average S/N)	-21.849	-21.490	-22.279	-22.700	-22.199
2(average S/N)	-22.403	-21.995	-21.883	-20.951	-22.363
3(average S/N)	-22.251	-22.472	-22.515	-21.057	-21.695
4(average S/N)	-21.570	-22.116	-21.397	-23.364	-21.816
Delta(S/Nmax.-S/Nmin.)	0.833	0.982	1.118	2.413	0.668
Ranking	4	3	2	1	5

表 5-10 最小溫度之望小特性輸出回應表

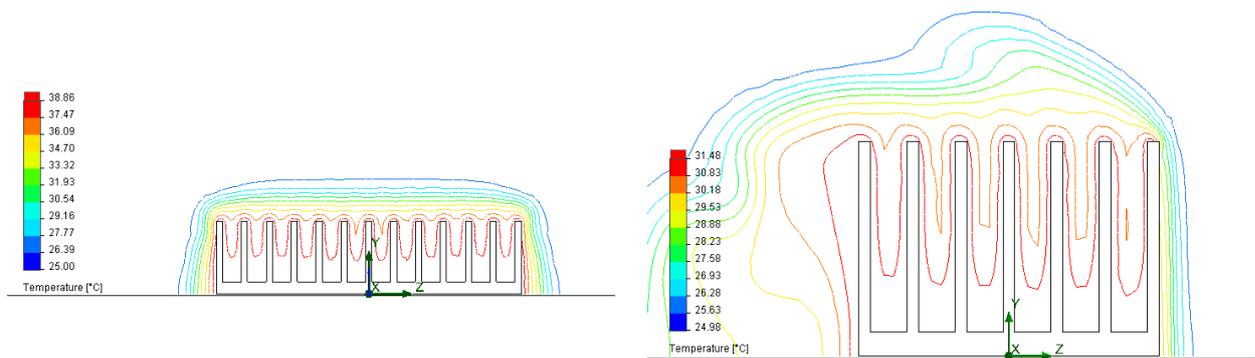


圖 5-19 截面 A 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

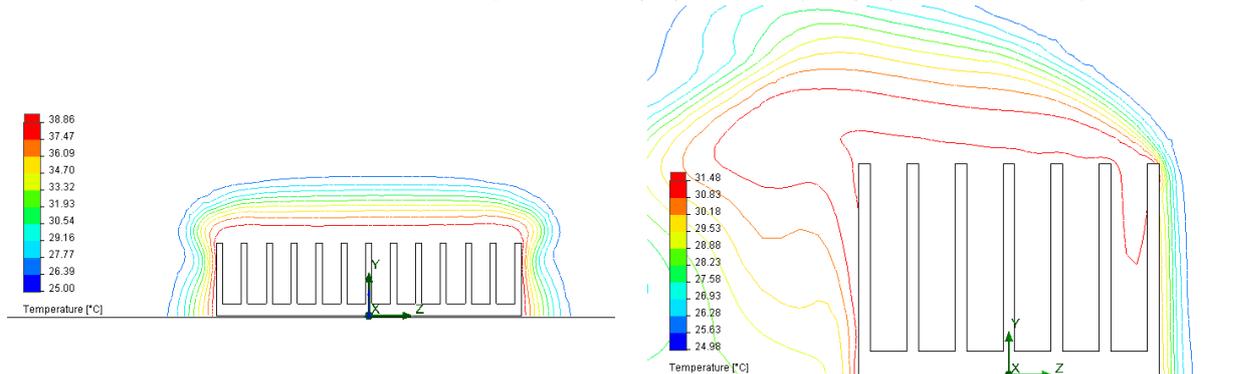


圖 5-20 截面 B 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

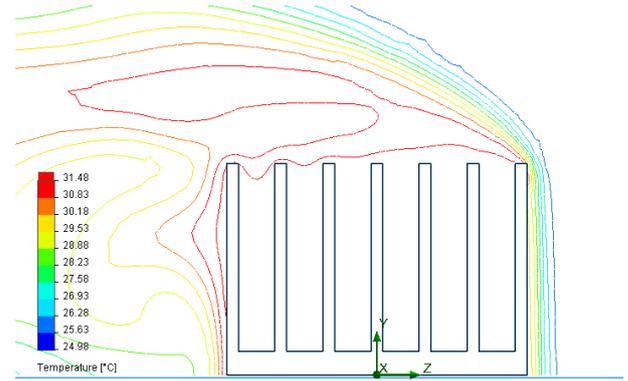
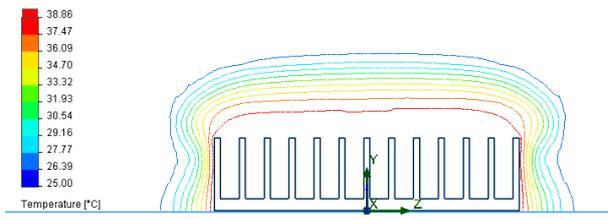


圖 5-21 截面 C 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

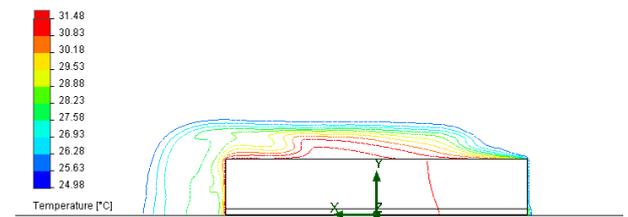


圖 5-22 截面 D 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

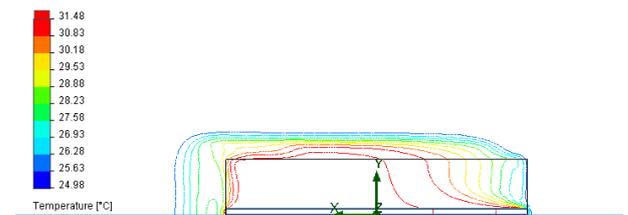
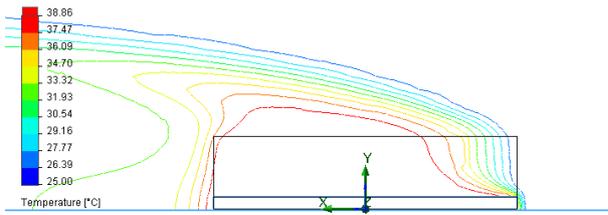


圖 5-23 截面 E 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

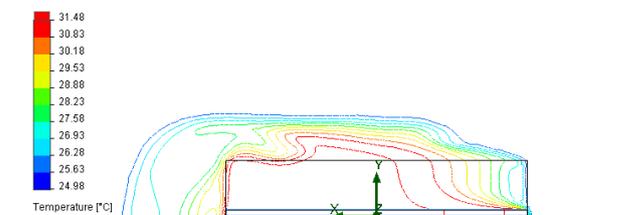
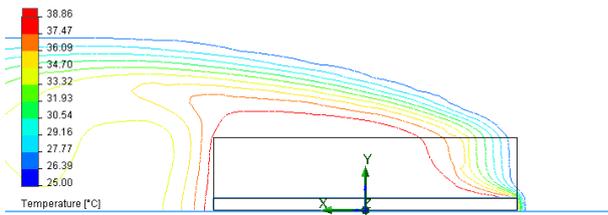


圖 5-24 截面 F 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

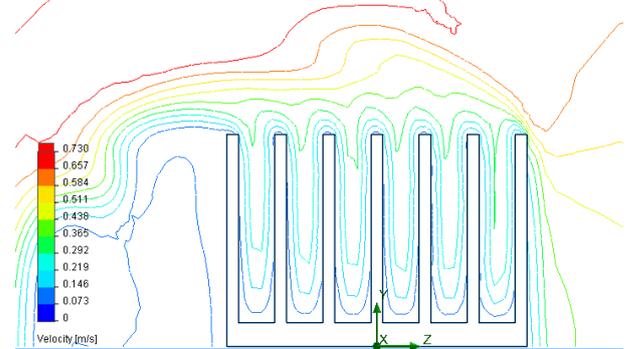
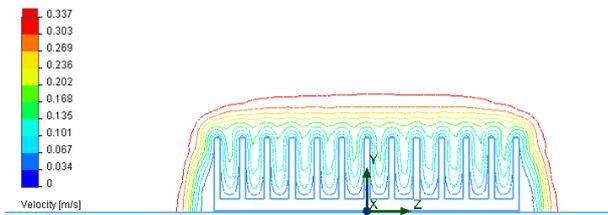


圖 5-25 截面 A 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

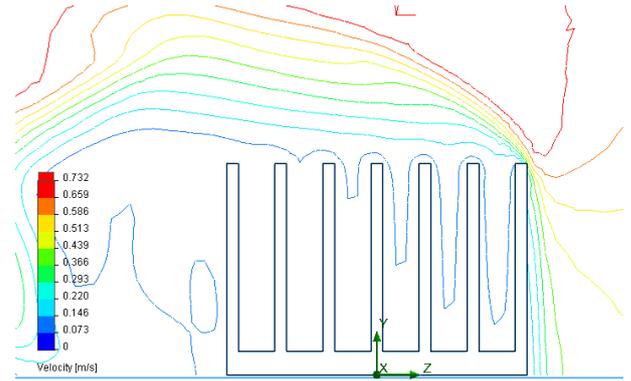
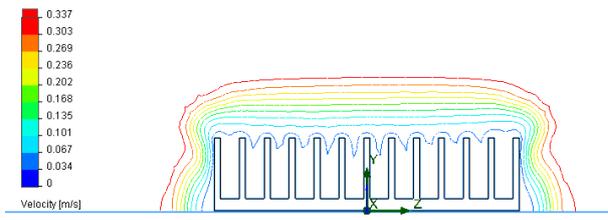


圖 5-26 截面 B 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

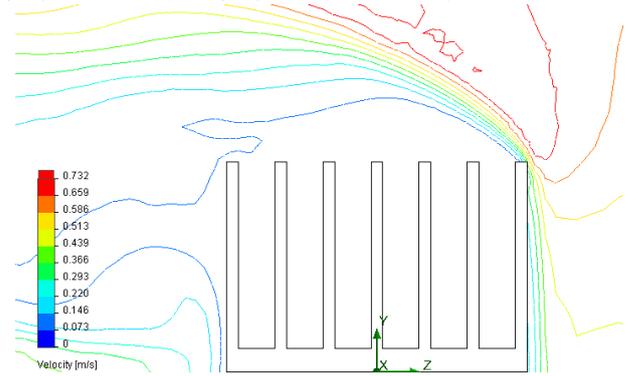
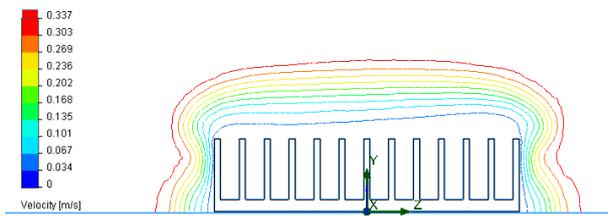


圖 5-27 截面 C 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

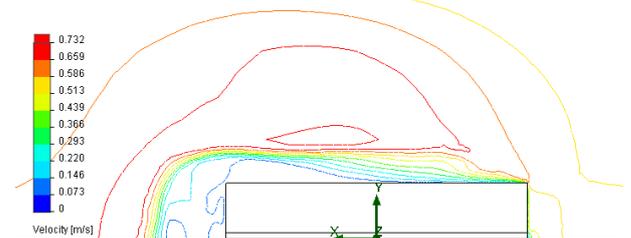
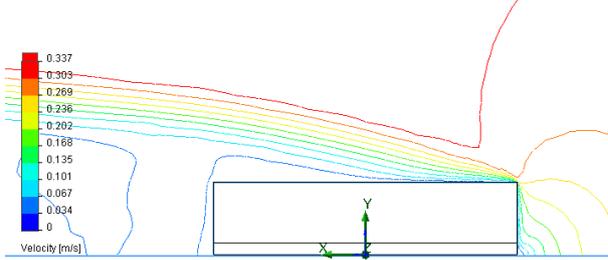


圖 5-28 截面 D 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

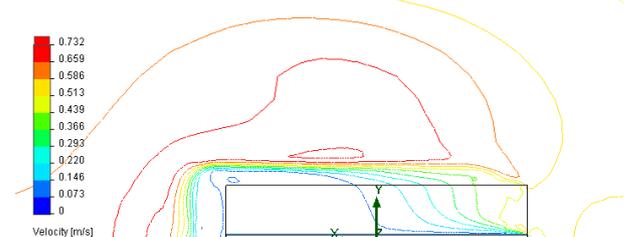
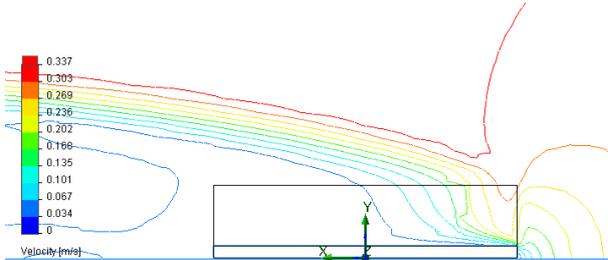


圖 5-29 截面 E 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

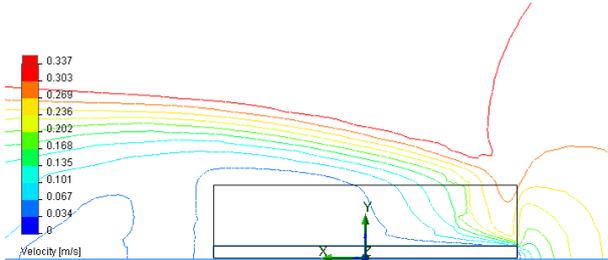


圖 5-30 截面 F 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

(iii)挖槽形鰭片

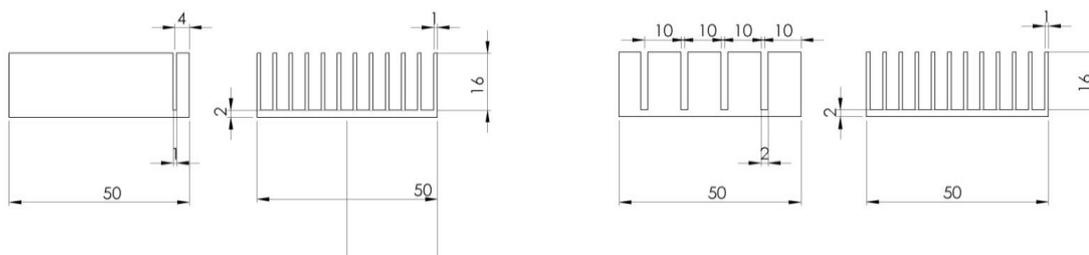


圖 5-31 挖槽形鰭片—(左)初始設計、(右) 田口優化設計

	切槽數量	切槽寬度	切槽間距	角度 $\alpha$	角度 $\beta$
	A	B	C	D	E
1	1	1	4	0	0
2	2	1.5	6	30	25
3	3	2	8	60	50
4	4	2.5	10	90	75

表 5-14 鰭片幾何參數之控制因子與水準

Exp No.	鰭片數量	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$	結果	S/N 比
1	1	1	1	1	1	42.90741327	
2	1	2	2	2	2	37.36008081	-19.40695631
3	1	3	3	3	3	41.02722558	-20.22024316
4	1	4	4	4	4	50.85738709	-22.08588104
5	2	1	2	3	4	43.21812907	-20.67211942
6	2	2	1	4	3	50.43358416	-22.01319684
7	2	3	4	1	2	42.9819447	-20.6245214
8	2	4	3	2	1	40.35912087	-20.07763413
9	3	1	3	4	2	50.45590668	-22.01704047
10	3	2	4	3	1	42.87708176	-20.60330456
11	3	3	1	2	4	39.29743161	-19.84608351
12	3	4	2	1	3	37.5369209	-19.44797308
13	4	1	4	2	3	36.27694662	-19.15141469
14	4	2	3	1	4	42.67011368	-20.56127617
15	4	3	2	4	1	46.78063662	-21.36012273
16	4	4	1	3	2	42.96334711	-20.62076234
17(優化)	4	3	2	2	3	32.54136282	-18.20751492
17(優化)	1	1	1	1	1	42.90741327	-20.60944684

表 5-15 L16(45)直交表之輸出與回應

	鰭片數量	鰭片厚度	鰭片高度	角度 $\alpha$	角度 $\beta$
Factor	A	B	C	D	E
1(average S/N)	-20.581	-20.613	-20.772	-20.311	-20.663
2(average S/N)	-20.847	-20.646	-20.222	-19.621	-20.667
3(average S/N)	-20.479	-20.513	-20.719	-20.529	-20.208
4(average S/N)	-20.423	-20.558	-20.616	-21.869	-20.791
Delta(S/Nmax.-S/Nmin.)	0.423	0.133	0.551	2.249	0.583
Ranking	4	5	3	1	2

表 5-16 最小溫度之望小特性輸出回應表

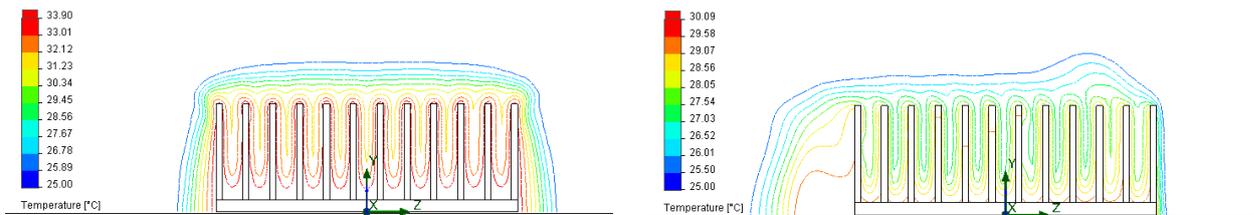


圖 5-34 截面 A 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

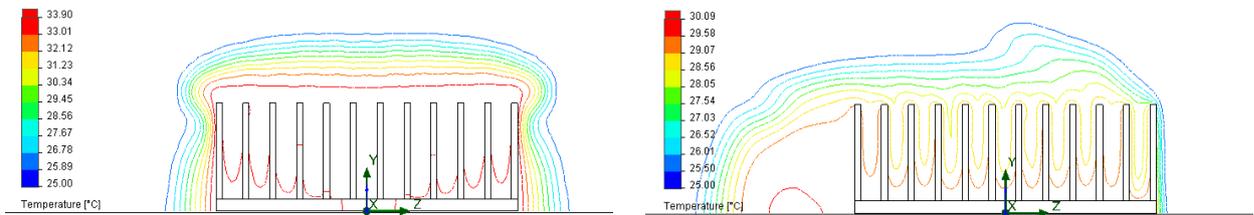


圖 5-35 截面 B 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

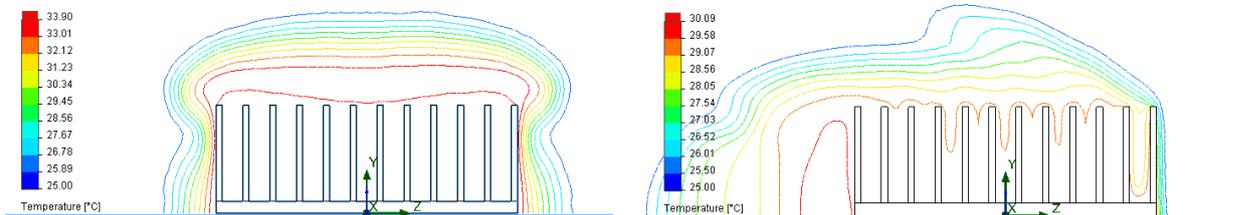


圖 5-36 截面 C 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

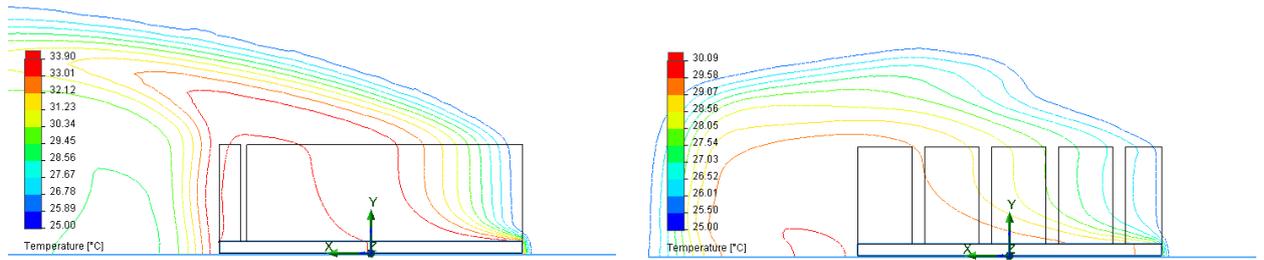


圖 5-37 截面 D 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

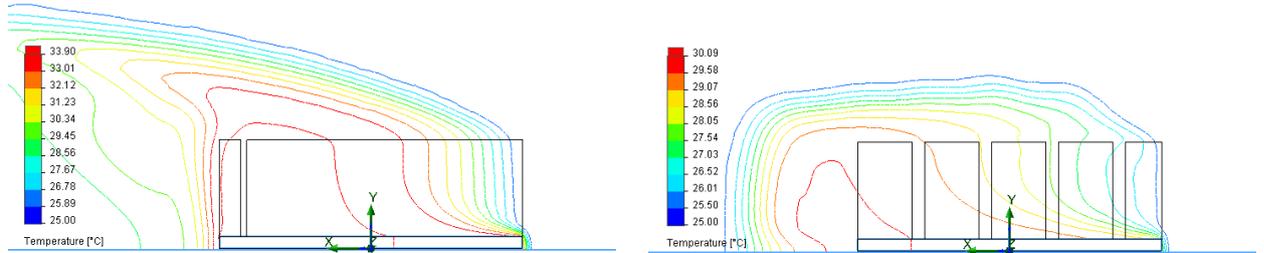


圖 5-38 截面 E 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

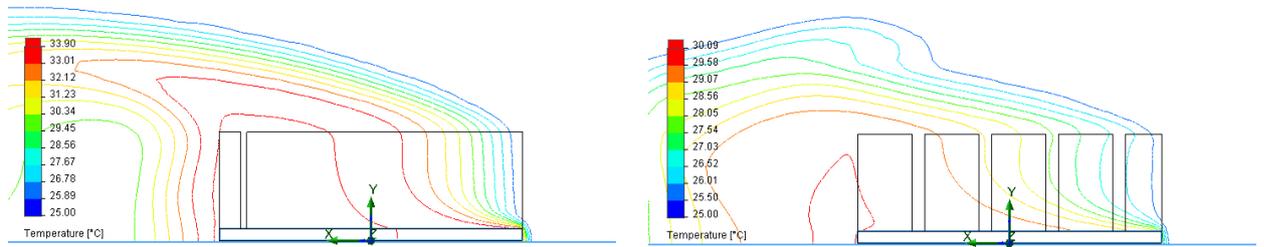


圖 5-39 截面 F 溫度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

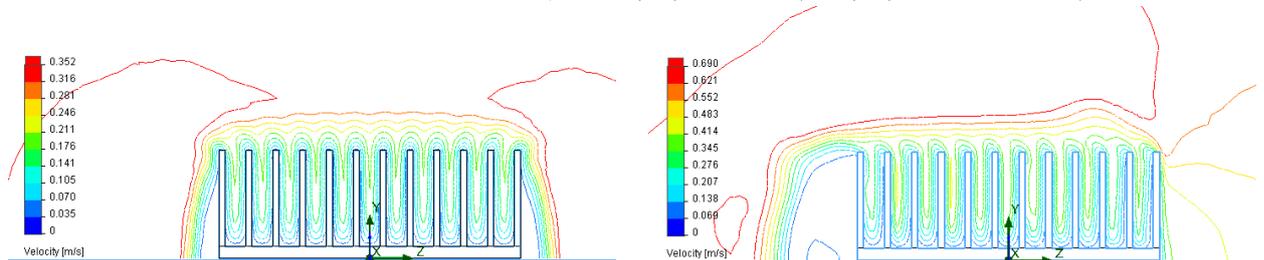


圖 5-40 截面 A 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

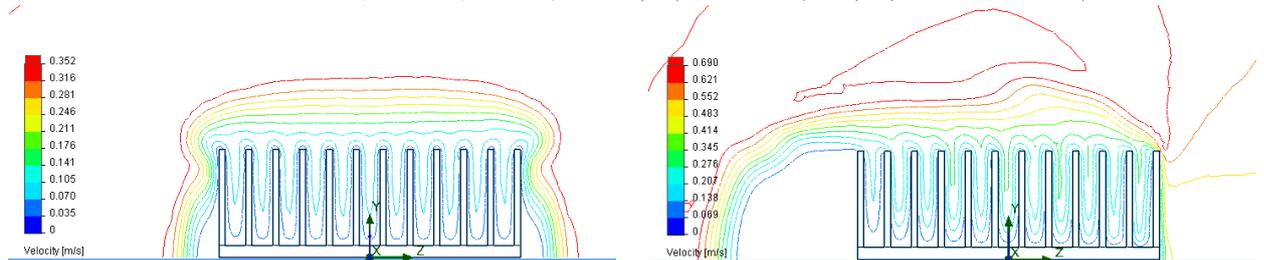


圖 5-41 截面 B 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

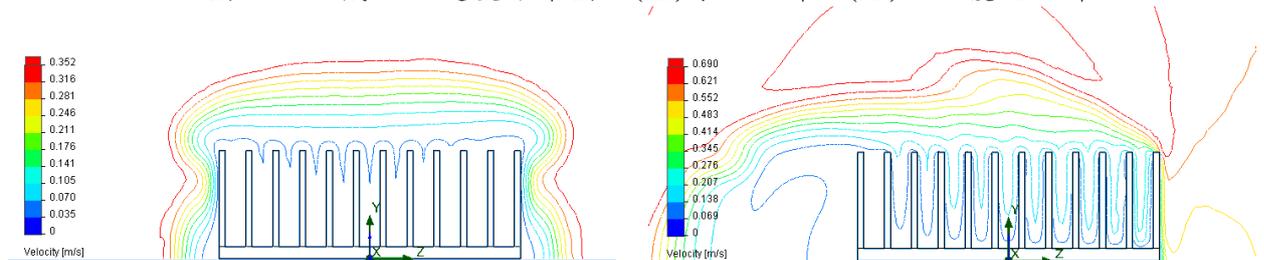


圖 5-42 截面 C 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

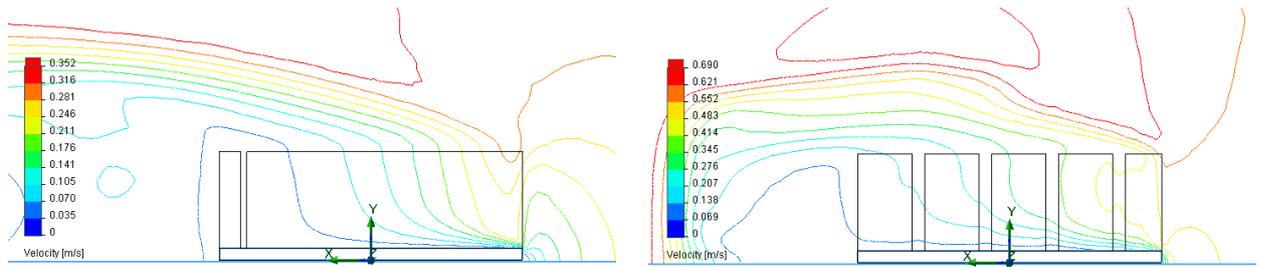


圖 5-43 截面 D 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

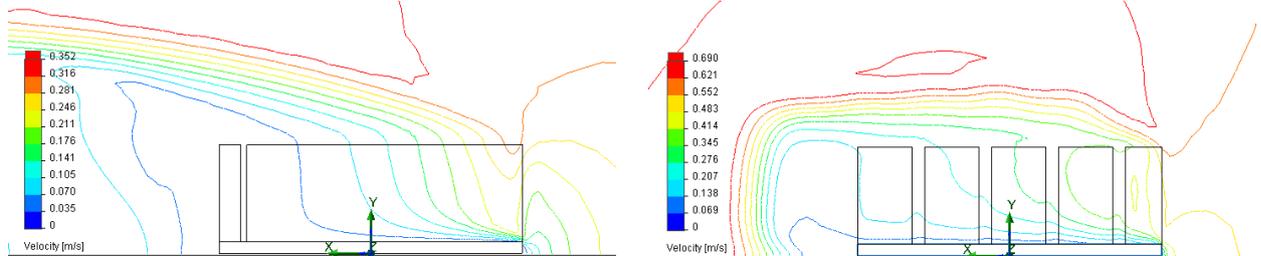


圖 5-44 截面 E 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

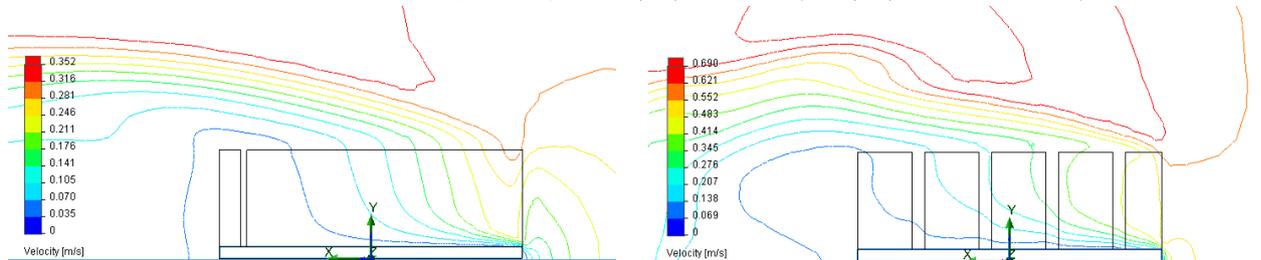


圖 5-45 截面 F 速度分布圖：(左)原始設計、(右)田口優化設計

## (B) 數值模擬結果討論

根據數值模擬結果，我們可以就以上結果，做以下的分析與討論：

- (1) **田口法則的應用**：三種不同型式鰭片分析中，我們分別選取了 5 個參數，且每個參數訂出 4 個不同水準，依以往的數值方法分析，需分析  $4^5=1024$  組變數，但是利用田口法並選用 L16(4<sup>5</sup>)直交表，分析則可以有效的簡化至 16 組，並能得到預期的答案。
- (2) **方形鰭片的主要影響參數**：此部分研究選擇五項參數，分別為鰭片數量、鰭片間距、鰭片高度、入流偏向角度、入流俯仰角度，經過直交表分析之後發現，主要影響鰭片最高溫度的參數為入流偏向角度、鰭片高度、入流俯仰角度。
- (3) **長方形鰭片的主要影響參數**：此部分研究選擇五項參數，分別為底面積長寬比、鰭片數量、鰭片高度、入流偏向角度、入流俯仰角度，經過直交表分析之後發現，主要影響鰭片最高溫度的參數為入流偏向角度、鰭片高度、入流俯仰角度。
- (4) **挖槽形鰭片的主要影響參數**：此部分研究選擇五項參數，分別為挖槽數量、挖槽間距、挖槽寬度、入流偏向角度、入流俯仰角度，經過直交表分析之後發現，主要影響鰭片最高溫度的參數為入流偏向角度、入流俯仰角度、挖槽間距。
- (5) **入流偏向角度( $\alpha$ )的影響**：由上述(2)~(4)可以發現，入流偏向角度的影響在三種不同鰭片設計中均是最主要影響，代表在設計與安裝鰭片時需多加注意，由分析結果發現，入流最佳偏向角度均為  $30^\circ$ ，因為在  $\alpha = 0^\circ$  時，鰭片間流道與入流方向平行，雖然壓損較小，但是卻會快速形成熱邊界層，因而使鰭片後段熱傳效能下降，但是入流偏向角度增加時，流道與流動方向不再平行，因此流體會衝擊至鰭片表面，鰭片表面的熱邊界層將可以被破壞，熱傳性能會因此提升，但是流阻也因而加大，進入流的中的空氣流量會減少，當偏向角度更大時，流體將只剩下小

部分能進入流道，其他流體將越過鰭片，散熱效果將減少，當  $\alpha = 90^\circ$ ，流體將無法直接進入流道，大部分流體均越過鰭片，熱傳性能將大幅下降。

- (6) **鰭片高度的影響**：鰭片高度是影響效能的重要參數，僅次於入口偏向角度，且鰭片高度越高，散熱效果越佳，主要是因為鰭片高度越高，鰭片的表面積就越大，因而散熱性能越佳，但是在成本與空間的考量下，鰭片的高度通常會受限於設計條件，並不會沒範圍的加高。
- (7) **入流俯仰角度( $\beta$ )的影響**：由上述(2)~(4)可以發現，入流俯仰角度的影響在三種不同鰭片設計中均屬於主要影響參數，代表在設計與安裝鰭片時需多加注意，由分析結果發現，入流最佳偏向角度均為  $50^\circ$ ，因為在  $\beta = 0^\circ$  時，鰭片間流道與入流方向平行，雖然壓損較小，但是卻會快速形成熱邊界層，因而使鰭片後段熱傳效能下降，但是入流偏向角度增加時，流道與流動方向不再平行，因此流體會衝擊至鰭片表面，鰭片表面的熱邊界層將可以被破壞，熱傳性能會因此提升，但是流阻也因而加大，進入流的中的空氣流量會減少，當俯仰角度更大時，流場形成了衝擊流，流體將只剩下小部分能進入流道，其他流體將被主流動排擠到流道之外，散熱效果將減少，當  $\alpha = 90^\circ$ ，流體將無法直接進入流道，大部分流體均越過鰭片，熱傳性能將大幅下降。另外有俯仰角度時，流體將較易深入到流道內部，以利原本只越過鰭片的流體能進入流道內，因而增強了散熱效能。
- (8) **鰭片間距的影響**：間距大小的影響並不明顯，一般而言間距大，流阻較低，通過流道的流體流量較大，間距小則流阻較高，通過流道的流體流量將較少，但是間距較小時，可以設置的鰭片數量可以較多，這將可以增加散熱面積。
- (9) **鰭片數量的影響**：鰭片數量的多寡影響並不明顯，一般而言間距大，鰭片數量較少，通過流道的流體流量較大，數量較大則間距變小，所以流阻較高，通過流道的流體流量將較少。
- (10) **挖槽間距的影響**：挖槽的目的通常是考量入流風向不定時，可以讓流體藉由槽縫進入鰭片間流道，或是破壞熱邊界層，增加散熱效果，因此在入流偏向角或俯仰角不為  $0^\circ$ ，挖槽將有助於降低流阻，原越過鰭片之流體將會由槽縫流入鰭片間，挖槽間距越小則流阻會下降，但是間距太大時挖槽的效果不易顯現，因而造成熱傳效能下降。
- (11) **挖槽數量的影響**：挖槽數量的多寡是為了入流風向不定時，可以讓流體藉由槽縫進入鰭片間流道，或是破壞熱邊界層，增加散熱效果，因此在入流偏向角或俯仰角不為  $0^\circ$ ，挖槽數量增加將有助於降低流阻，原越過鰭片之流體將會由槽縫流入鰭片間，挖槽間距越大則流阻會下降，但是間距太大時會損失鰭片的散熱表面積，因而造成熱傳效能下降。
- (12) **挖槽寬度的影響**：挖槽寬度的影響相較挖槽間距與挖槽數量的影響而言並不明顯，因此在挖槽間距與數量決定後，依加工方便訂定寬度即可。
- (13) **場協同度的評估**：場協同越高表示熱傳量越大，而場協同度又與速度與溫度梯度的內積成正比，也就是速度與溫度梯度成平行時協同度最大，反之，兩者相互垂直時，協同度為 0，亦即表示該處無熱傳現象發生。由溫度分布圖及速度分度圖可以看出，在優化設計的結果分析中可以明顯看出，優化設計之鰭片內部的場協同度明顯較原始設計為佳，這表示在鰭片內部之熱傳效能較佳，因此鰭片的最高溫度也會相對較低。由此可知改原流場之整體場協同度，是優化設計規劃中的最佳設計方向。

### (C) 實驗部分

依數值分析結果，我們將原始設計與優化後之結果分別加工製作，並進行性能量

測實驗，以期與數值結果相互映證。

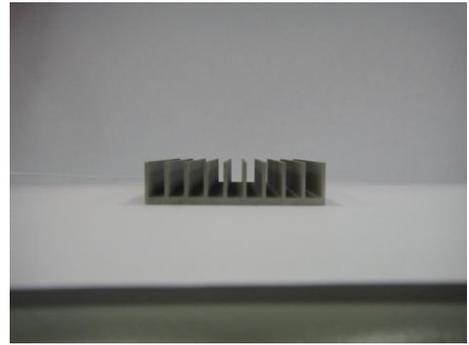
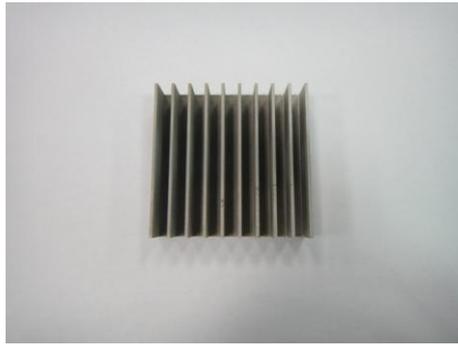


圖 5-46 原始設計模型

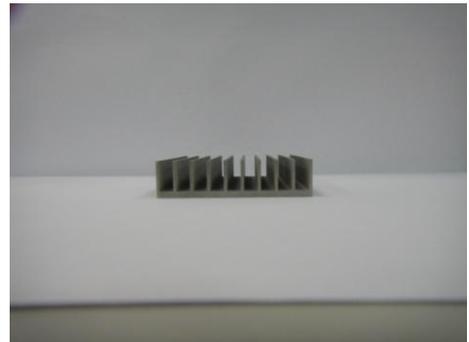


圖 5-47 方形鳍片—田口優化設計模型

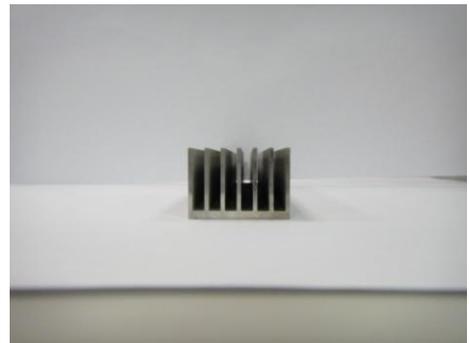


圖 5-48 長方形鳍片—田口優化設計模型

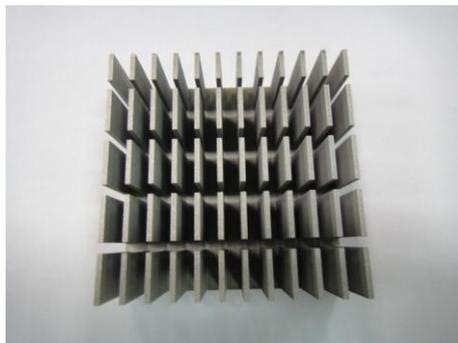


圖 5-49 挖槽形鳍片—田口優化設計模型

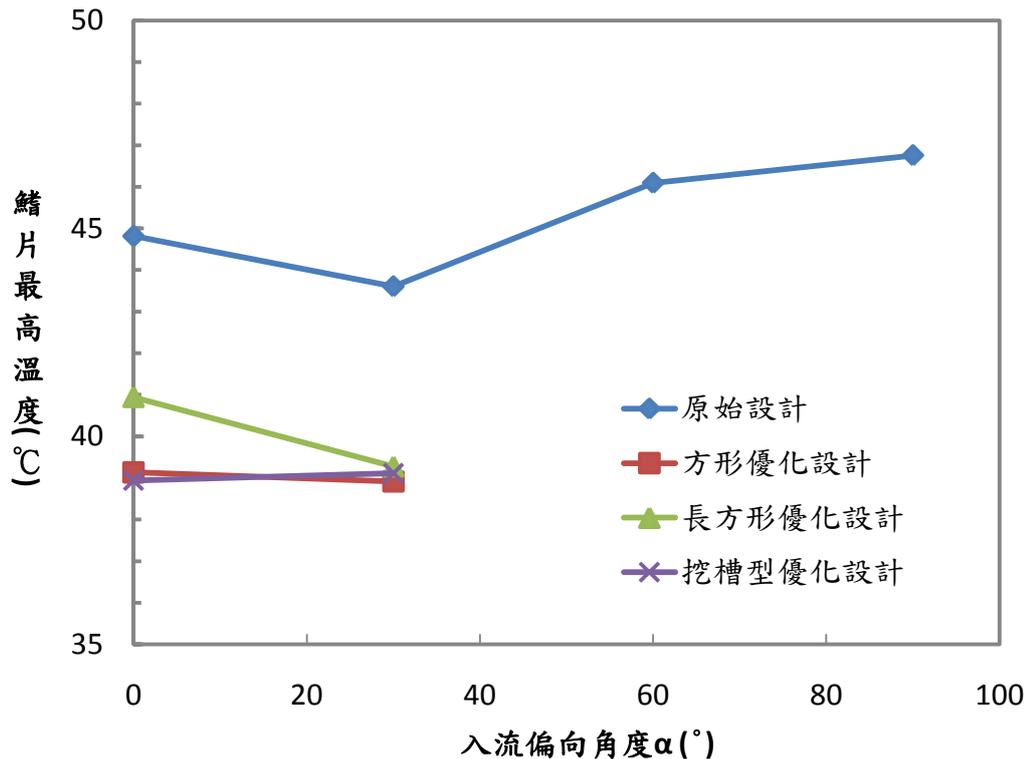


圖 5-51 實驗驗證結果— $T_{in}=25^{\circ}\text{C}$ 、 $Q=1\text{W}$

根據實驗驗證，我們可以就以上結果，做以下的分析與討論：

- (1) **實驗與數值結果的驗證：**實驗所得趨勢與數值模擬的趨勢一致，但是實驗數值與數值模擬仍有誤差純在，但是所得之優化設計的散熱效果均較原始設計為佳，證明利用田口法先進行優化規劃與設計是可行，而且可以加設計時程縮短，並可以大幅減少實驗樣品製作的成本。
- (2) **實驗誤差的原因：**
  - (a) 數值模擬的底板為絕熱，但是實驗設備的風動為壓克力製，因此多少會產生熱傳現象。
  - (b) 數值模擬為自由空間，但是實驗設備為有限區間，因此風洞外圍壓克力板會對流場的流動狀態有所影響。
  - (c) 加熱座本身會有熱損失。
  - (d) 為減少接觸熱組對實驗的影響，因此需使用磅力計來固定鰭片並給予一個模擬扣力，由於磅力計為一隻不鏽鋼圓柱，因此會有熱量從此處流失，而且磅力計圓柱本身亦會至於實驗空間中，將會影響流場流動狀態。

## 五、結論

利用田口法則設計散熱鰭片將可以有效率找出最佳優化設計方向，在本研究中以三種不同設計規劃的鰭片做為原始設計，均可以快速找出優化的設計方向與結果，再經實驗驗證亦符合預期結果，因此本研究的方法將可以提供合作廠商在散熱設計方法上的依循，將有助於提升合作企業的設計能力與產品競爭力。

已完成之工作項目及成果

# 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2010/07/22

國科會補助計畫	計畫名稱: 以田口法與場協同理論探討電子元件散熱鰭片之熱傳增強設計與研究		
	計畫主持人: 周德明		
	計畫編號: 99-2622-E-269-006-CC3		學門領域: 熱傳學、流體力學
研發成果名稱	(中文) 以田口法與場協同理論探討電子元件散熱鰭片之熱傳增強設計與研究		
	(英文) The design and study of heat transfer enhancement on electronics cooling fins by the Taguchi method and field synergy theory		
成果歸屬機構	遠東科技大學		發明人 (創作人) 周德明, 湯秉輝
	<p>(中文) 近年來自動化控制系統的功能與效能大幅提升, 已被大量應用在機具或是廠房整場控制中, 因此系統的穩定性將會是整個控制系統運作正常與否的關鍵。本研合作廠商在多次控制系統整合實務中發現, 系統所處的工作環境差異極大且相當惡劣, 會使得系統長期處在高溫下, 如果無法有效將機體內部的熱量帶出, 便會進而影響到電子元件的穩定性與使用壽命, 如果當電子元件一旦失效, 所造成的損失將無法估計, 因此希望藉由本次技術合作, 提昇該公司的電子元件熱傳上的技術, 以解決控制系統的散熱問題。</p> <p>在解決低發熱量的電子元件散熱問題上, 大多僅會使用加裝散熱鰭片(被動元件)來達到散熱效果, 但是僅靠散熱鰭片的自然對流熱傳效應是不足以降低電子元件的溫度, 必須靠系統中的流動氣流來產生強制對流熱傳效應, 但是由於熱傳效應會隨著散熱鰭片的擺置、型式與排列方向的不同而有所改變, 所以有必要針對散熱鰭片熱傳效應與壓降阻抗的影響進行研究, 以做為設計或安裝散熱鰭片時之設計參考。</p> <p>本研究是利用數值模擬與實驗測試的方法, 探討散熱鰭片在控制系統中的熱傳性能與壓降阻抗的影響, 將建議出一個設計與安裝散熱鰭片之設計參考, 以做為未來在設計控制系統或電子元件散熱系統時的重要參考依據。研究將以數值方法並利用場協同理論分析流場的協同度差異, 以找出散熱鰭片熱傳增強的主要影響因素, 並藉由田口法則進行實驗驗證規畫, 找出設計參數間的關係與最佳化, 以期做為散熱鰭片最佳化設計時的重要參考依據。</p> <p>(英文) This study is the use of numerical simulation and experimental testing method of heat sink in the control system of the heat transfer performance and pressure drop impact resistance, will suggest a design and installation of the reference design heat sink, to make for the future in the design of control systems or electronic components, cooling system of an important reference. Study will be numerical method and cylinder is theoretical analysis of flows with the synergy level differences, to identify the cooling fins of heat transfer enhancement of the main factors, and rule by Taguchi planning to conduct experiments to find out the relationship between design parameters and optimization, in order to optimize the design as a heat sink an important reference when.</p>		
技術說明			
產業別	電機及電子機械器材業; 機械製造業		
技術/產品應用範圍	電子散熱元件		
技術移轉可行性及預期效益	具技術轉移潛力, 預期將可以做為設計電子散熱系統的技術參考		

註: 本項研發成果若尚未申請專利, 請勿揭露可申請專利之主要內容。

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：周德明		計畫編號：99-2622-E-269-006-CC3					
計畫名稱：以田口法與場協同理論探討電子元件散熱鰭片之熱傳增強設計與研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	4	2	200%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	1	0	0%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	1	1	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	



本產學合作計畫研發成果及績效達成情形自評表

成果項目		本產學合作計畫 <b>預估</b> 研究成果及績效指標 (作為本計畫後續管考之參據)	計畫達成情形
技術移轉		預計技轉授權 1 項	完成技轉授權 1 項
專利	國內	預估 1 件	提出申請 0 件，獲得 0 件
	國外	預估 1 件	提出申請 0 件，獲得 0 件
人才培育		博士 1人，畢業任職於業界1人	博士 0人，畢業任職於業界0人
		碩士 1人，畢業任職於業界1人	碩士 1人，畢業任職於業界0人
		其他 1人，畢業任職於業界1人	其他 2人，畢業任職於業界0人
論文著作	國內	期刊論文 1 件	發表期刊論文 0 件
		研討會論文 1 件	發表研討會論文 4 件
		SCI論文 1 件	發表SCI論文 0 件
		專書 1 件	完成專書 0 件
		技術報告 1 件	完成技術報告 1 件
	國外	期刊論文 1 件	發表期刊論文 0 件
		學術論文 1 件	發表學術論文 0 件
		研討會論文 1 件	發表研討會論文 0 件
		SCI/SSCI論文 1 件	發表SCI/SSCI論文 0 件
		專書 1 件	完成專書 0 件
		技術報告 1 件	完成技術報告 0 件
其他協助產業發展之具體績效		新公司或衍生公司 1 家	設立新公司或衍生公司(名稱):
<u>計畫產出成果簡述：請以文字敘述計畫非量化產出之技術應用具體效益。(限 600 字以內)</u>		111	