

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩 士 論 文

薄殼產品及高倍速光碟片的模具水路改良與
製程最佳化



Mold Cooling Channel Improving and Process Optimization
of Shell Product and High Speed disc

研 究 生：劉岳芳

指導教授：鄭璧瑩 博士

中 華 民 國 九 十 八 年 七 月

薄殼產品及高倍數光碟片的模具水路改良與
製程最佳化

Mold Cooling Channel Improving and Process Optimization
of Shell Product and High Speed disc

研究生：劉岳芳

Student：Yueh-fang Liu

指導教授：鄭璧瑩 博士

Advisor：Dr. Pi-Ying Cheng



M.S. Program of Automation and Precision Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
December 2008
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

薄殼產品及高倍速光碟片的模具水路改良與製程最佳化

學生：劉岳芳

指導教授：鄭璧瑩博士

國立交通大學 工學院精密與自動化工程學程

摘要

在現今的塑膠工業中，大部份的塑膠產品都是利用射出的方式來製造，而光碟片便是經由塑膠射出的方式產生出成品的典型範例。影響光碟片特性的參數很多，但影響程度有所不同，因此，如果在模具設計前，能先進行模擬的分析與驗證，利用電腦輔助工程分析輔助找尋到各參數之間的相互影響關係，則不僅可以降低產品設計時之工時和成本，而且也可以在模擬階段就將射出會發生的問題進行改良，使產品順利生產。

關於熱傳導效率，模具之冷卻水路是影響翹曲值最大的因素之一。而本研究中，就先利用電腦輔助工程設計了多種不同尺寸和深度的冷卻水路，找尋出翹曲值最小之最佳化冷卻水路，其次利用田口實驗法找尋出最佳化射出參數，最後使用實作之上機實驗，去驗證電腦輔助工程的準確性。而結果發現當水路深度越小時，和不同水路搭配下，可獲得更小的翹曲值。

本研究主題以光碟片的模擬分析為基礎，針對 3C 光機電產品的塑膠薄殼組件，利用電腦輔助工程進行模流分析，分析射出、保壓、冷卻、翹曲

等。在分析完成後，再配合田口實驗法則來求出製程最佳化的參數，修改硬體設備：模具鏡面冷卻水路，調整軟體方面：射出速度、射出壓力、溫度、鎖模力，達成產品的生產效能提升。

關鍵字：電腦輔助工程、冷卻水路、田口實驗法則



Mold Cooling Channel Improving and Process Optimization of Shell Product and High Speed Disc

Student : Yueh-fang Liu

Advisor : Dr. Pi-Ying Cheng

M.S. Program of Automation and Precision Engineering College of Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

In the plastics industry, most of the products are produced by using the way of injection. The optical disc is one of the typical model that is formed through injection molding process. There are many parameters can influence the disc character, but influence levels are different. Hence, if we can preview the results based on the analysis and simulation method, to find out the influence effect of each parameter by using CAE software before the molding test, we can not only reduce the cycle time and the cost, but also improve the product quality.

The mold cooling channel is one of the critical factors to influence warp value of the product. In this research, we use CAE tool assisting to evaluate design cases with various size and depth of the cooling channels, to find for the optimal design of cooling channel for minimizing the warp value. This study also adopts Taguchi experiment design method to find the optimal injection parameters. The arranged experiments were implemented to confirm the accuracy of the simulation results of CAE. The results showed that the smaller depth of the channel with hybrid cooling set the smaller the warp value.

The research focus on the cooling channels design and optimal parameters study. In view of the thin shell optics products; we use the CAE mold-flow simulation software to analyze the injection problems including the study of packing pressure, cooling and warp value. Taguchi experiment design method is proposed as applying the orthogonal array of the parameters. The CAE method cooperating with Taguchi experiment method can provide useful data for modifying hardware equipment: mold mirror cooling channel, and can adjust software setting value: injection velocity, injection pressure, temperature, clamp force etc. This study provides several practical messages helping related industry to achieve a successful and high quality mass production.

Keyword : CAE 、 Cooling channel 、 Taguchi experiment design method ;

誌 謝

在這碩士研究生涯中，首先要感謝我的指導教授 鄭璧瑩教授對我論文上的指導，在研究所一開始時，對於我的研究方向，基礎理論給予指導方向，而在模擬軟體的運用上，提供使用上的訓練，同時也啟發我在研究上能獨立思考的能力，幫助我在我研究遇到問題時，能給予督促和指導，同時也給予我多方面的思考方向和研究方向，讓我的論文才能順利完成，而且在研究的日子裡，除了學習到完成論文所需的知識外，也同時學得了很多創新的想法，這兩年的求學期間，教授對我的學習態度及研究能力的養成皆有莫大的助益，使我的研究生涯和未來的職場生涯獲益匪淺，再次由衷感謝我的指導教授 鄭璧瑩教授。同時也要感謝 陳大潘教授與 金大仁教授於論文口試時的細心指導與建議，使得本論文更加完善。

再來要感謝我的家人，感謝爸爸、媽媽，在我求學這段期間，對我學業上的支持及鼓勵，更要感謝我的老婆，在我遭遇困難，幾乎要放棄求學之時，因為妳的鼓勵，讓我義無反顧、更有勇氣的面對接下來的挑戰，另外也要將這個喜悅送給我再五個月就要呱呱落地、迎接美麗世界的孩子，因為有你(妳)，爸爸會更努力的為未來打拼，再次的感謝我的家人們，因為有你們，我才能安心完成學業，謝謝你們。

也要感謝新利虹公司的所有同仁們，尤其是研發部經理 蕭志揚經理，對於我在研究實驗上的提點和幫助，讓我在工作之餘，能放心的投入

於我論文上的研究和實驗，另外，也要感謝我的同事們，因為有你們的分擔和幫忙，我的論文也才能順利完成，再次的謝謝你們的幫忙。

感謝電腦整合設計與製造實驗室的同學們，在職班的學長光耀、勝龍，還有日校生的研二同學、研一學弟們，因為在職的關係，雖然跟你們真正熟識的時間只有短短的一年，但跟你們這些弟弟們在一起，讓我又重新享受了學生時代的感覺，尤其是同組的小白同學，因為和你一同研究軟體上的問題和實驗的內容，讓我在論文的研究上不會瞎子摸象。因為有了你們，才能讓實驗室充滿活力和朝氣。

雖然只有短短的兩年求學時間，但是要感謝的人，真的很多很多，因為你們的加油打氣，讓我有勇氣的接受這兩年的挑戰和自我要求，再次的感謝你們，同時也要這份喜悅分享給你們。

岳芳 謹識

2009.07

目 錄

摘要	.....	i
誌謝	.....	iv
目錄	.....	vi
圖目錄	.....	viii
表目錄	.....	xiii
一、	緒論.....	1
1.1	研究目的與動機.....	1
1.2	研究內容相關背景.....	3
1.3	文獻回顧.....	8
1.4	研究方法與步驟.....	13
1.5	本文架構.....	14
二、	射出成型及模具技術簡介.....	15
2.1	射出成型原理.....	15
2.2	射出成型七大步驟.....	15
2.3	射出產品成型不良原因探討.....	19
2.4	射出對各產品關係的影響.....	21
2.4.1	射出成型技術對薄殼產品的影響.....	21
2.4.2	射出成型技術對高倍速光碟片的影響.....	22
2.5	何謂模具.....	23
2.6	模具設計與製造程序.....	23
2.7	射出壓縮模具與傳統模具的比較.....	26
2.8	光碟記錄媒體之模具發展現況.....	27
三、	田口實驗品質工程計劃.....	29
3.1	田口方法介紹.....	29
3.2	直交法的應用.....	30
3.3	實驗參數設計法.....	31
四、	電腦輔助工程與模流分析技術.....	34
4.1	電腦輔助程簡介.....	34
4.2	CAE 之推導與理論.....	36
4.3	模流分析.....	37
4.3.1	CAD 的發展與整合.....	37
4.3.2	正確而完整的塑膠材料資料庫.....	38
4.3.3	專家系統的建立.....	38
4.4	Moldex-3D 軟體介紹.....	39
五、	模流分析與上機實驗結果驗證.....	44
5.1	模流分析流程.....	44

5.2	上機實驗翹曲測試方法.....	49
5.3	實驗成果.....	51
5.3.1	修改模具溫度深度.....	51
5.3.2	修改 cycle time 實驗.....	58
六、	製程最佳化分析內容.....	65
6.1	固定側和活動側同水路分析實驗.....	65
6.1.1	不同直徑比較.....	65
6.1.2	不同深度比較.....	75
6.2	固定側和活動側不同水路搭配分析實驗.....	78
6.3	田口實驗之參數最佳化.....	90
6.3.1	田口實驗：電腦模擬分析實驗.....	91
6.3.2	田口實驗：實際上機實驗.....	101
6.4	薄殼產品之案例分析.....	107
七、	結論與未來預定目標.....	117
7.1	結論.....	117
7.2	未來預定目標.....	120
參考文獻	.....	121



圖目錄

圖 1.1	數值模擬和實驗結果比較	(10)
圖 1.2	模擬液料在模具內的流動情形	(11)
圖 1.3	射出壓力和各參數間的關係函數	(12)
圖 1.4	研究方及步驟	(13)
圖 2.1	射出成形之步驟	(17)
圖 2.2	射出機生產動作程序	(18)
圖 2.3	薄殼產品	(21)
圖 2.4	模具設計製造流程圖	(25)
圖 2.5	CD-R 專用之 J-type 模具	(28)
圖 4.1	傳統設計流程與導入 CAE 流程的比較	(35)
圖 4.2	三維模擬分析	(40)
圖 4.3	實體網格分佈	(41)
圖 5.1	薄殼光碟之 3D 模型	(44)
圖 5.2	網格繪製情形	(45)
圖 5.3	PC 材料	(46)
圖 5.4	系統參數設定表	(46)
圖 5.5	20%流動過程	(47)
圖 5.6	90%流動過程	(47)

圖 5.7	水路冷卻效率分析	(48)
圖 5.8	模流之翹曲分析	(48)
圖 5.9	實際測試機台	(49)
圖 5.10	碟片翹曲偏位方向	(50)
圖 5.11	第一次實驗之各組翹曲測量結果比較	(53)
圖 5.12	第二次實驗之各組翹曲測量結果比較	(54)
圖 5.13	第一次實驗電腦模擬	(55)
圖 5.14	第一次實驗電腦模擬	(55)
圖 5.15	第一次實驗上機實驗和電腦模擬	(56)
圖 5.16	第二次實驗上機實驗和電腦模擬	(57)
圖 5.17	螺桿位置、射出速度	(58)
圖 5.18	保壓時間、保壓壓力	(58)
圖 5.19	料溫、模溫	(59)
圖 5.20	水路溫度	(59)
圖 5.21	實驗各 cycle time 之設定表	(60)
圖 5.22	電腦模擬之翹曲分析圖	(61)
圖 5.23	圖表上機實驗和電腦模擬的翹曲值比較圖	(62)
圖 6.1	單水路第一組水路之水路圖、翹曲圖	(67)
圖 6.2	單水路第二組水路之水路圖、翹曲圖	(67)

圖 6.3	單水路第三組水路之水路圖、翹曲圖	(68)
圖 6.4	單水路第四組水路之水路圖、翹曲圖	(68)
圖 6.5	單水路第五組水路之水路圖、翹曲圖	(69)
圖 6.6	雙水路第一組水路之水路圖、翹曲圖	(69)
圖 6.7	雙水路第二組水路之水路圖、翹曲圖	(70)
圖 6.8	雙水路第三組水路之水路圖、翹曲圖	(70)
圖 6.9	雙水路第四組水路之水路圖、翹曲圖	(71)
圖 6.10	內雙外單第一組水路之水路圖、翹曲圖	(72)
圖 6.11	內雙外單第二組水路之水路圖、翹曲圖	(73)
圖 6.12	水路深度為 4mm 之水路圖、翹曲圖	(75)
圖 6.13	水路深度為 6mm 之水路圖、翹曲圖	(76)
圖 6.14	水路深度為 8mm 之水路圖、翹曲圖	(77)
圖 6.15	不同水路搭配第一組實驗之水路圖、翹曲圖	(79)
圖 6.16	不同水路搭配第二組實驗之水路圖、翹曲圖	(80)
圖 6.17	不同水路搭配第三組實驗之水路圖、翹曲圖	(81)
圖 6.18	不同水路搭配第四組實驗之水路圖、翹曲圖	(82)
圖 6.19	不同水路搭配第五組實驗之水路圖、翹曲圖	(83)
圖 6.20	不同水路搭配第六組實驗之水路圖、翹曲圖	(84)
圖 6.21	不同水路搭配第七組實驗之水路圖、翹曲圖	(85)

圖 6.22	不同水路搭配第八組實驗之水路圖、翹曲圖	(86)
圖 6.23	不同水路搭配第九組實驗之水路圖、翹曲圖	(87)
圖 6.24	不同水路搭配第十組實驗之水路圖、翹曲圖	(88)
圖 6.25	田口實驗射出參數：料溫	(91)
圖 6.26	田口實驗射出參數：螺桿位置、射出速度	(91)
圖 6.27	田口實驗射出參數：保壓壓力、保壓時間	(92)
圖 6.28	田口實驗射出參數：冷卻時間	(92)
圖 6.29	電腦模擬田口實驗之 S/N 比較圖	(96)
圖 6.30	田口實驗射出參數：最佳化料溫	(98)
圖 6.31	田口實驗射出參數：最佳化螺桿位置、射出速度	(98)
圖 6.32	田口實驗射出參數：最佳化保壓壓力、保壓時間	(98)
圖 6.33	田口實驗射出參數：最佳化冷卻時間	(99)
圖 6.34	最佳化射出參數分析結果翹曲圖	(99)
圖 6.35	機台實際田口實驗之 S/N 比較圖	(103)
圖 6.36	實驗上機實驗之碟片測試翹曲圖	(105)
圖 6.37	薄殼產品：隨身碟外蓋	(107)
圖 6.38	一模四穴之模穴設計	(109)
圖 6.39	冷卻水路設計	(109)
圖 6.40	料溫	(110)

圖 6.41	射出速度、螺桿位置	(110)
圖 6.42	保壓時間、保壓壓力	(111)
圖 6.43	水路溫度	(111)
圖 6.44	冷卻時間	(112)
圖 6.45	液料流動情形	(112)
圖 6.46	水路散熱效率	(113)
圖 6.47	體積收縮率	(113)
圖 6.48	翹曲分析結果	(114)
圖 6.49	保壓壓力對於翹曲偏位之分析結果圖	(116)



表目錄

表 1.1	CD 光碟片產品演進歷程與規範	(6)
表 1.2	DVD 光碟片產品演進歷程與規範	(7)
表 2.1	射出產品成形不良原因探討	(19)
表 2.2	模具的製作程序	(24)
表 5.1	活動側模溫固定，固定側模溫漸升	(52)
表 5.2	固定側模溫固定，活動側模溫漸升	(52)
表 5.3	精密射出成形光碟片的翹曲量測值的比較	(53)
表 5.4	精密射出成形光碟片的翹曲量測值的比較	(54)
表 5.5	線上實驗和電腦模擬的翹曲值比較表	(62)
表 6.1	固定側、活動側同水路模擬分析翹曲值總整理表	(74)
表 6.2	不同水路深度模擬分析翹曲值總整理表	(78)
表 6.3	不同水路深度模擬分析翹曲值總整理表	(89)
表 6.4	控制因子水準配製表	(92)
表 6.5	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 各因子直交表	(93)
表 6.6	電腦模擬田口實驗結果翹曲值	(94)
表 6.7	控制因子水準配製表	(101)
表 6.8	機台實際田口實驗結果翹曲值	(102)
表 6.9	最佳實驗參數結果翹曲值	(105)
表 6.10	PC-Makrolon-2205 材料特性表	(108)
表 6.11	保壓壓力實驗分析翹曲值之結果表	(115)

一、緒論

1.1 研究目的與動機

光碟片的存取效果是經由雷射光束之能量，作為轉換媒質狀態之能量來源，藉著調整雷射光束功率的大小及脈衝時間，使媒質的狀態產生轉換，造成反射生強度的變化。而讀取是利用低功率雷射照射在已完成記錄的區域，由於記錄區域與非記錄區域的反射率不同，偵測反射光的強弱變化，便可讀取所記錄之數位資料。

光碟片的存取是利用雷射光的聚焦光線來回反射來讀取我們需要的資料，因此雷射光聚焦的好壞、難易是在使用光碟片上最重要的環節，而影響聚焦快慢最重要為產品在射出成形時的特性好壞。成型的模具溫度越高，光澤性、轉寫性越佳；但相對上，其光碟片之機械特性（例：Warpage 翹曲、聚焦加速度等）會更不好控制，而由於光碟片的機械特性等反應不良，會發生雷射光束的存取不良，即 TE(Track Error 循軌錯誤)、FE(Focus Error 聚焦錯誤)，因此在本次的研究論文內，將利用模流分析原理找尋出光碟片的最佳製程參數，同步改良其模具之零件設計，如：鏡面水路深度、水路跑法，再利用實驗設計方法，解決高倍數光碟片在生產時會遇到的特性問題。

因為模具零件的改良，如：水路深度再加深、水道流向設計等，是要

利用模具零件的實際修改和設計，才能得知其結果，但模具的費用是相當昂貴的，且要花費更多的人力和時間在上機實驗上，在浪費資源成本的情形下，還不一定能實驗得出結果。而且在實驗參數的調整設定上，其影響光碟片的特性，皆為非線性的結果，若要在上機的實驗中，找尋到最適合高速生產效能的參數條件，是需要花相當多的時間，同時也是需要靠運氣，才能得到結果的。

若能利用模流分析軟體，在分析前，先將欲設計改良之模具零件，利用 Solid work 和 Pro/e 等 3D 軟體繪製出來，和欲實驗的參數組別，分別的輸入分析軟體中，再依依的進行分析，利用模流分析結果找尋出最適合於高速生產效能的參數，即是不會花到任何的生產成本，又能在不浪費時間的情形得到想要的研究結果，增加其生產效能，讓光碟記錄媒體的未來跨出一大步，其技術可以同日本接軌。

所以在製定射出參數或模具開發前，先行進行電腦的測試模擬，模擬塑膠於射出成形充填的過程中，各種參數的搭配之下，各種充填狀況的發生，如溫度、壓力、密度、流速等之分佈與變化情形，藉以發現問題。再藉由所發現的問題修改模具的設計或成型操作的參數條件，用以降低生產成本及模具設計工時，提高日後的產品品質。

1.2 研究內容相關背景

光碟片是一種利用數位模式儲存資料的一種媒體工具。光碟片上儲存的是數位資料，數位資料是不連續的，每組數位科技合成的影像都是由無數小方塊組合成的拼圖，再利用雷射光束之能量，作為轉換媒質狀態之能量來源，藉著調整雷射光束功率的大小及脈衝時間，經過一連串的光學處理之後，雷射光反射回來，再藉由光感測器來讀取成我們需要的資料，完成整個資料讀取的動作。

如表 1.1 [1]為 CD-R 光碟片之演進過程。1980 年荷蘭飛利浦公司（Philips）與日本新力公司（SONY）共同開發出一種數位音樂碟片，為雷射唱片（compact disc-CD），第一片 CD 碟片的誕生，同時也正式宣告打破傳統記錄媒體方式，而兩家公司即於 1983 年定下 CD 規格，更為光學記錄媒體問市賦予重要的意義，也奠定了 CD 工業的標準。之後，Philips 與 SONY 兩家公司又以雷射唱片的原理，共同開發出唯讀型光碟機（CD-ROM），是將 CD 的高容量及數位化應用到電腦的儲存媒體上的光碟，可以儲存文字、影像、聲音及圖形等資料。1984 年，可寫一次型的光碟片（CD-R）首次推出，而光學儲存媒體產業就漸漸開始有了雛型，欲開始發展，到了 1987 年 CD-RW 推出商品化產品。這時整個 CD 光碟產業發展已是相當成熟。

而在 1994 年日本松下公司（Matsushita）及飛利浦（Philips）公司推

出相變化光碟（phase-change disc，PD），利用相變化媒質在結晶（crystalline）及非晶（amorphous）之間快速轉換的特性，經由適當的控制雷射光的脈衝，達成可抹除的功能，這是第一個可以在同一台機器上讀取 CD-ROM 及可覆寫式相變化光碟片。

自 1980 年 CD 產生後，為了因應使用者的需求，加上新技術的開發，衍生出了各類的標準規格。1985 年飛利浦公司（Philips）與日本新力公司（SONY）繼紅皮書後，又接著推出一份黃皮書 CD-ROM 的標準（yellow book）。而繼 CD-ROM 的黃皮書之後，飛利浦公司（Philips）又針對 CD-I（compact disc-interactive）發表了綠皮書。CD-I 是一獨立系統，其音響訊號及視訊均有標準化。因為 CD 規格書封面均以不同的顏色區別，因此 CD 的標準規格一般均以封面顏色來稱呼。

但在 CD-R 市場已趨飽和且其容量（650MB）仍嫌太少、無法滿足需求的因素下，新一代高儲存量的 DVD（digital versatile disc）系列產品因應而生。如表 1.2 [2] 為 DVD-R 光碟片之演進過程。DVD 尺寸與 CD 直徑相同，但其中運用了多項新的技術，例如採用短波長雷射、高數值孔徑（numerical aperture，NA）透鏡、雙面記錄與溝軌並記等方式，使得記錄容量由 CD 的 650MB 大為提昇至 DVD 的 4.7GB、8.5GB 以上。DVD 可抹除光碟片亦採用了 PD 的相變化記錄方式，利用雷射光脈衝來加熱記錄層，使記錄層產生結晶（crystalline）及非晶（amorphous），利用結晶與非晶

之光學反射率的不同來記錄資料。如：DVD-RW、DVD-RAM。

在 1996 年 9 月全球分區「第一區為美加地區；第二區為西歐、北歐、日本、南非；第三區為東南亞地區、台灣等；第四區為中南美洲、紐西蘭、澳洲等地區；第五區為俄羅斯、蒙古、中亞、非洲、北韓；第六區為中國大陸」。且同時制訂了 DVD-Video 規格 (DVD book B)，同年 11 月電腦資訊業制訂了 DVD-ROM 規格 (DVD book A)，1997 年分別制訂 DVD-R (DVD book D) 與 DVD-RAM—可記錄數位影音光碟片規格 (DVD book E)，1999 年二月 DVD 論壇制訂了 DVD-Audio V.1.0 規格 (DVD book C)。

在 DVD 光碟產業技術相當成熟，及 DVD 相關產品已逐漸普及，價格上也能被消費大眾所接受之際，雖說 DVD 碟片容量可達 4.7GB，但在日逐龐大的資料存取需求下，4.7GB 的單片容量又日趨不足，因此新下一代的光碟存取媒體—HD-DVD (15GB)，使用波長為 405nm 的藍紫外光雷射光源為主，及下世代更高容量的存取記錄媒體—藍光光碟片 (Blu-ray disc，BD)，一樣使用波長為 405nm 的藍紫外光雷射光源為主。

2002 年由日本松下、SONY、荷蘭 Philips……等九家廠商訂定完成「藍光光碟」新規格，規格使用波長 405nm 藍紫外光雷射光源，碟片大小與 CD、DVD 同尺寸，儲存容量達 27GB/side，可錄製 2 個多小時的高畫質影像或是 13 小時的傳統電視影像。而台灣工業技術研究院也先後在 2002 年 11 月提出了藍光規格，其理論上的記錄密度可達到 50GB/side。

表 1.1 [1] CD 光碟片產品演進歷程與規範

時間	產品名稱	標準	產品功能	產品屬性
1980	CD/CD-Audio	Red Book/IEC908	數位音訊	預錄
1983	CD+G	Red Book	圖形 CD	預錄
1983	CD-ROM	Yellow Book/ISO/IEC1049	預錄型 CD	預錄
1985	CD-ROMXA	Yellow Book	多媒體用之預錄型	預錄
1987	CD-V/LD	Green Book	類比視訊+數位音訊 (CD-Video)	預錄
1988	CD-I	Green Book	互動式 CD	預錄
1990	CD-MO	Orange Book I	可塗式 CD (MO Media)	記錄
1990	CD-R	Orange Book II	僅寫一次型 CD	記錄
1992	Photo-CD	Philips/Kodak	相片 CD (靜態影像用 CD-R)	記錄
1993	Video-CD	White Book	MPEG I 視訊+壓縮音訊	預錄
1994	PD	Matsushita/Philips	可重覆記錄型 CD (相變式)	記錄
1995	CD-RW	Orange Book III	可重覆記錄型 CD (相變式)	記錄
1996	CD-R2	Orange Book II(2)	可重覆記錄型 CD(DVD 相容)	記錄

表 1.2 [2] DVD 光碟片產品演進歷程與規範

時間	產品名稱	標準	產品功能	產品屬性
1996	DVD	DVD-Book	數位多功能光碟 (Digital Versatile Disc)	預錄
1996	DVD-Video	DVD-Book B	預錄型視訊	預錄
1997	DVD-ROM	DVD-Book A	預錄型	記錄
1997	DVD-R	DVD-Book D	僅寫一次型	記錄
1999	DVD-RAM	DVD-Book E	可重覆記錄型	預錄
1999	DVD-Audio	DVD-Book C	預錄型音訊	預錄
1999	DVD-Video Recording	DVD-Book B	記錄型視訊	記錄
1999	DVD-RW	DVD-Book D	可重覆記錄型	記錄
2000	DVD+RW		可重覆記錄型	記錄
2001	DVD+R		僅寫一次型	記錄
2002	Blu-ray		可重覆記錄型	記錄
2003	HD-DVD-1		可重覆記錄型	記錄

1.3 文獻回顧

1997年E O'Neill等人[3]提出利用CAD/CAM建立實體模型進行塑膠射出成型。再利用CAE進行射出之模擬，其可以減少成本和工時花費及，改善產品特性及產品品質。其中介紹了有限元素網格(Finite element mesh)可以計算出成形品之應力分佈、翹曲分析，也同時可以模擬射出成型時高分子流動情形，從中可以獲得射出成型過程中重要的分析過程和進行設計變更時迅速得到不同的模擬結果。而在1978年，發展出了世界上第一套模流分析程式，為” Moldflow” ，此軟體可以準確預測關於壓力、溫度、剪切率以及冷卻時間。利用實體模型進行模流分析在射出成型工業可以獲得的優勢有：1. Concurrency、2. Rapid、3. Control。

在 1998 年，由 S. C. Chen, Y. C. Chen 和 N. T. Cheng 等人[4]針對傳統射出模具（CIM）和射出壓縮模具（ICM）做研究，結果發現到其壓縮速度和壓縮衝程等參數是最具影響壓縮壓力的兩個主要因素，在適當的壓縮速度之下，其ICM的壓力可能會比CIM的射出模具還要低。另，也針對了ICM之模具，提出了以下幾種優點：1. 減低模具壓力、2. 降低殘留應力、3. 使分子定向減到最低、4. 降低雙折射、5. 降低密度變化並且增加尺寸準確等。同時也針對CIM和ICM做射出成形電腦模擬，結果不管是CIM或是ICM模具，其電腦模擬和實驗之結果雖然數值不是在同一點上，但其趨勢均是一致的。

在2001年，M. C. Huang與C. C. Tai[5]在研究中利用了C-MOLD之模擬軟體，針對PC/ABS之材料的長方塊，模擬其翹曲變化，而過程中也利用田口實驗法則去分析六種參數因子之影響率，在利用ANOVA算出分析結後，發現了保壓壓力是實驗中最具影響翹曲的參數，而模溫和料溫有很強的交互作用。其中，作者還特別提到，使用田口實驗設計法是個對於陳述影響因子最佳化具非常有效的方法，而在未來的研究中，會有更多有關於實驗最佳化的方法可以使用，如：逆向分析法，能夠達到最小翹曲之最佳分析狀況。

在2006年，由M.C.Song、Z.Liu與D.Y.Zhao等人[6]利用了田口實驗，其中他還特別提到，田口實驗法則的結果是非常合乎科學的方法，其每個因子和目標值之間的關係，在未來的研究上是很值得被依據的。而其研究的結果發現其射出之計量值是影響射出流率的主要因素，而增加射出流率（injection rate）就能增加其填充率（filling rate）。

在2007年，由C. H. Wu和Y. R. Pan等人[7]利用了體積控制和有限元素法的計算，模擬出了對於Injection-compression liquid composite molding (I/CLCM) 的數值模擬，再利用溫差電偶，偵測液料在射出時之溫度和壓力變化值，結果如圖 1.1，發現到雖然在時間的分佈上略有不同，但其趨勢之相同的，其模擬數值可以由實驗結果得到證實。

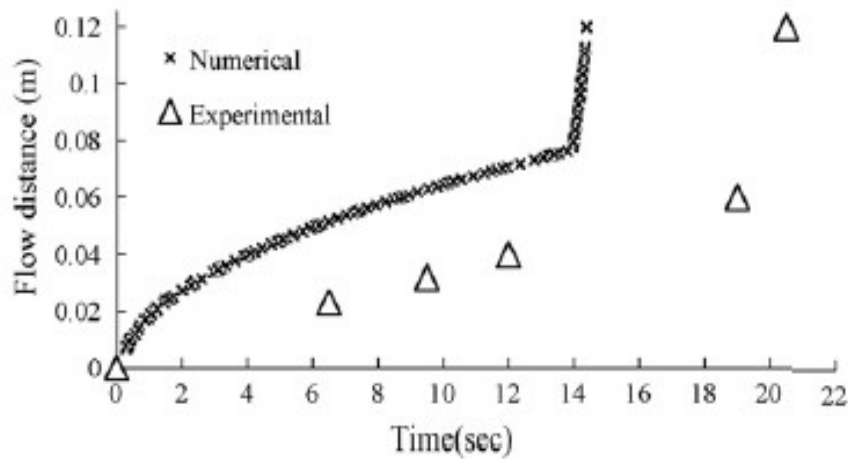


圖 1.1 數值模擬和實驗結果比較 本圖來源來自[4]

在 2007 年， Babur Ozcelik 和 Ibrahim Sonat 等人[8]針對手機外殼等薄件做田口實驗和不同之材料之結構強度之研究。文中還提到對於薄殼件而言，液料容易因冷卻快而不易填滿模穴，所以對射出參數的選擇來說是相當重要的，而其實驗結果提出了保壓壓力(packing pressure)對於薄殼件為影響翹曲最重要的因子。另，在選用了五種不同的材料做結構強度分析，結果為 15%carbon fiber reinforced ABS/PC 之材料的強度最強，此結果可以用來解決射出翹曲變形的問題。

在 2008 年， M. H. Tsai, K. L. Huang 等人[9]也利用了 CAE 的模擬軟體，如：C-Mold、Moldflow 等，模擬了液晶顯示器的導光板在微射出模具中的流動情形，此模流技術也同樣是利用有限元素法的計算方式去做應力和翹曲的分析，而這項研究內容也提供了射出壓力、壓力由來、溫度分佈、剪切率分佈、流速分析等之間的關係，其中，還針對液料在模具內的流動情形做一系列的圖片介紹，如圖 1.2。

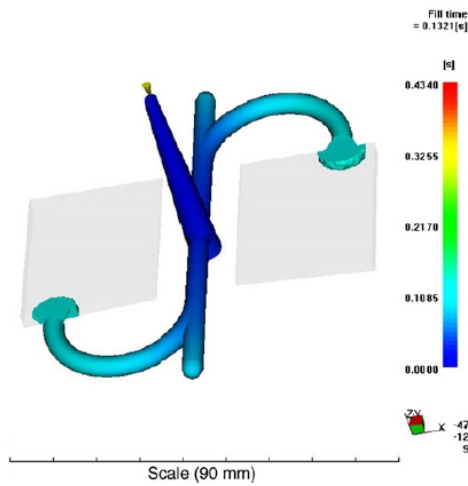


Fig. 3. 10% filling stage.

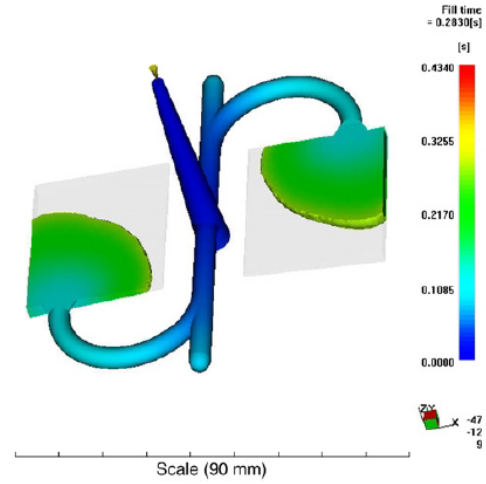


Fig. 4. 50% filling stage.

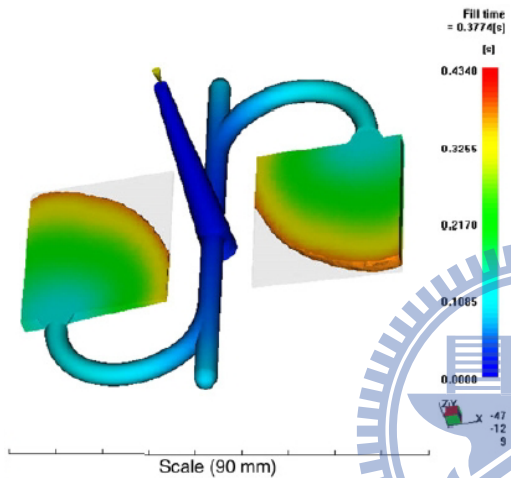


Fig. 5. 80% filling stage.

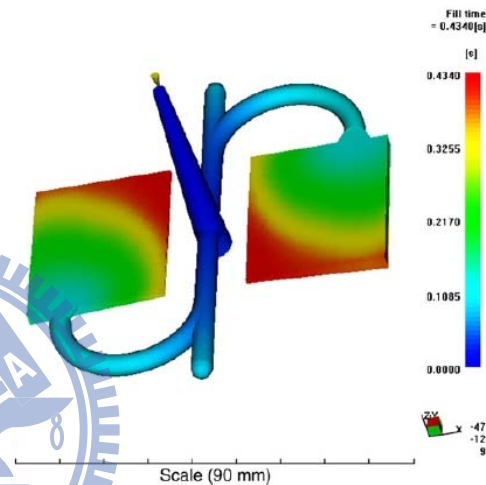


Fig. 6. 100% filling stage.

圖 1.2 模擬液料在模具內的流動情形 本圖來源來自[9]

在 2002 年， Masahiko TSUKUDA 和 Eiichi ITO 等人[10]也針對藍光碟片（BD-R）之單面雙層（dual layer）做特性上的研究，首先他們利用電子束讀取機（EBR）增加高密度光碟片之讀取速度，此等讀取機擁有快速讀取的功能。而同時，他們也進行 BD-R 之單面雙層之研究，此光碟片可擁有 50GB 之儲存容量，實驗結果在碟片之特性，Jitter 部份在 L0 層是 5.7%，L1 是 5.3%，這些數值可證明 BD-R 之單面雙層是可成功的被使用的。同時改善了碟片之讀取速度和碟片之儲存容量。

在周文祥[11]的書上也提起到，根據簡化的古典流體力學理論，充填澆道系統（豎澆口、澆道、和澆口）與模穴所需之射出壓力與材料、設計、及製程參數等皆有關。如圖 1.3 為射出壓力與各製程參數間的關係函數。

在下列方程式中， P 是射出壓力，而 n 是材料常數，對不同重類的塑膠熔膠的 n 值不同，其範圍為 0.15 ~ 0.36。

圓形管道流動（例如熔膠在豎澆口、澆道、和柱狀澆口的流動）

$$P \propto \frac{(\text{melt viscosity}) (\text{flow length}) (\text{volumetric flow rate})^n}{(\text{channel radius})^{3n+1}}$$

方形管道流動（例如熔膠在薄殼模穴內的流動）

$$P \propto \frac{(\text{melt viscosity}) (\text{flow length}) (\text{volumetric flow rate})^n}{(\text{channel radius})^{2n+1}}$$

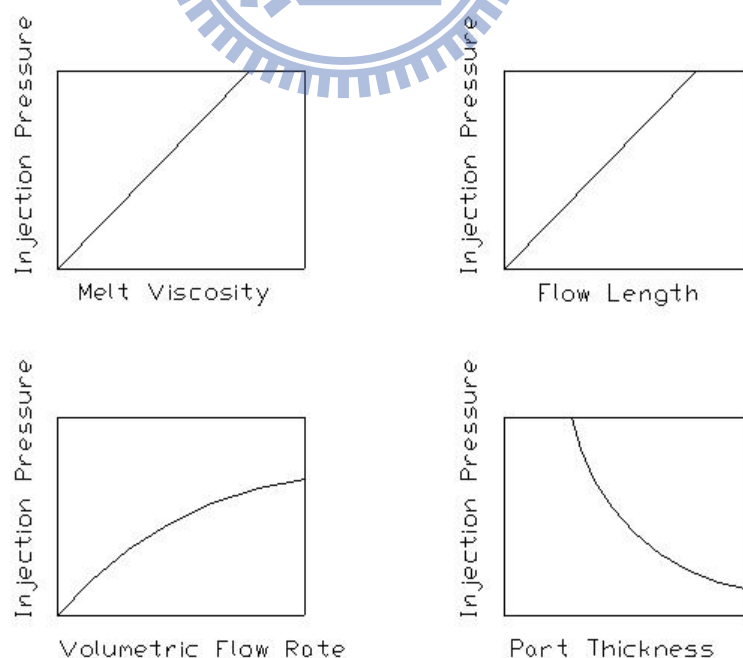


圖 1.3 射出壓力和各參數間的關係函數 本圖來源來自[11]

1.4 研究方法與步驟

在本研究論文裡面，主要針對厚度為0.61mm的薄形高倍數光碟片，利用模流分析的模擬功能，再配合上實驗設計和田口的實驗法則，將高倍速光碟片所遇到的問題，做一個有效率的推斷和假設，再慢慢將問題解決，並找出針對高倍數光碟片的最佳生產參數。

本文之研究擬分為3D模型建立、Moldex-3D模流分析、田口品質工程、實驗設計法等四大步驟，其順序說明如圖1.4：

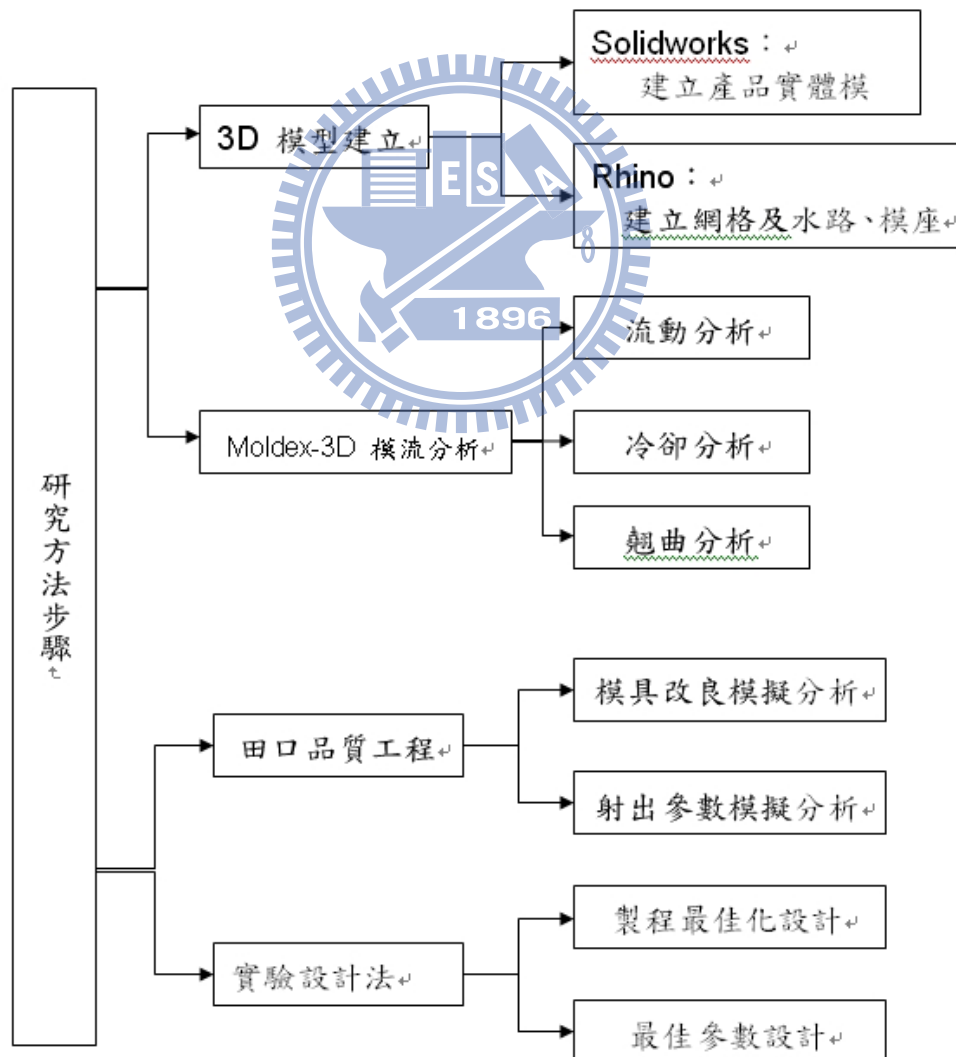


圖 1.4 研究方法及步驟

1.5 本文架構

本文共分為七章節，其各章內容詳細說明如下：

第一章：緒論。

說明本論文研究之動機與背景、文獻回顧、研究流程與章節架構的介紹。

第二章：射出成型及模具技術簡介。

針對射出成型之步驟、缺陷與對策及控制參數、設備、產品特性影響，做一簡易的說明與介紹。

第三章：田口實驗品質工程計劃。

利用田口方法和直交表的參數假設實驗，對薄殼件及高倍速光碟片的實驗和分析

第四章：電腦輔助工程與模流分析技術。

利用電腦模流軟體進行射出過程的模擬，以利進行射出結果之研究與改善。

第五章：研究初步結果與未來方向。

第六章：實驗最佳化分析內容。

第七章：結論與未來預定目標。

二、射出成型技術簡介

2.1 射出成型原理

射出成型機[12]是由液化的塑膠材料，利用螺桿前進的原理，將材料射入模具的空間內的射出機構，與高壓鎖緊模具的模具鎖緊機構，及用以自動操控自動移位的控制機構所構成。1956 年 Willert[13]發明現代化螺桿式射出成型機，而同年，Darnell 和 Mol[14]對於高分子固體粒子在螺桿間移動提出完整的分析。塑膠材料以定量、間歇的方式，從進料筒內落入加熱的螺桿中，在螺桿內加熱融化後，經由螺桿或是以柱塞移送進模穴內。當模穴內充滿後，模具冷卻系統再加以冷卻固化後，成形品取出再繼續進行下一個射出循環，即完成射出動作。



2.2 射出成型七大步驟

射出成型機是由溶解塑膠材料並且加以射出的射出機構，與高壓鎖緊模具的模具鎖緊機構，及用以自動操控自動移位的控制機構所構成。而射出成型過程細分有：鎖模工程、噴嘴接觸工程、射出工程、冷卻工程、材料之溶化及計量工程、離模工程、成形品頂出工程，如圖 2.1，而射出機生產動作程序如圖 2.2。

- 一． 鎖模工程：在液化材料進入模穴之後，射出機必須使用非常高之鎖模壓力，才能將材料推向定點，也才能將成品形狀順利成

形。一般而言，模穴的空間越窄，成形品的厚度越薄，
所需用到的鎖模噸數也要越大。

二、噴嘴接觸工程：在射出機準備射出前，需將射出機之噴嘴移前進到模具的液化注入口。而這個接觸動作是射出機在作動過程中動作最為緩慢的工程，這只是在成形作業的開始時需執行的工程，此後在自動連續成形的過程中，則一直保持接觸的狀態。

三、射出工程：在加熱汽缸內，保持一定溫度狀態下溶融其樹脂材料，再用螺桿前進的擠壓動作進行射出的動作。溶融的樹脂材料，經裝設在射出置先端部的噴嘴，經模具內的主澆道（Sprue），分澆道（runner）而注入到模穴內。

四、冷卻工程：在模具內設計冷卻水經流的流道，成形品利用水管的冷卻水所帶走熱量，而漸漸將液料內之熱量帶走，成形品即慢慢的冷卻成形。

五、材料之溶化及計量工程：在進行冷卻工程時，射出機也執行樹脂材料化及計算每一次出的容量計算。

六、離模工程：在模具內已十足冷卻的製品，在已定形之後，開始執行離模的工程，使公模和母模漸次分離。離模的動作正好與鎖模的動作相反。

七、成形品頂出工程：模具分離後，要取出附著於公模上之成形品，多使用液壓力配合模具內部的頂出機構，先將成形品作頂出的動作，再利用機械手臂或滑槽，將成形品送達目的地。

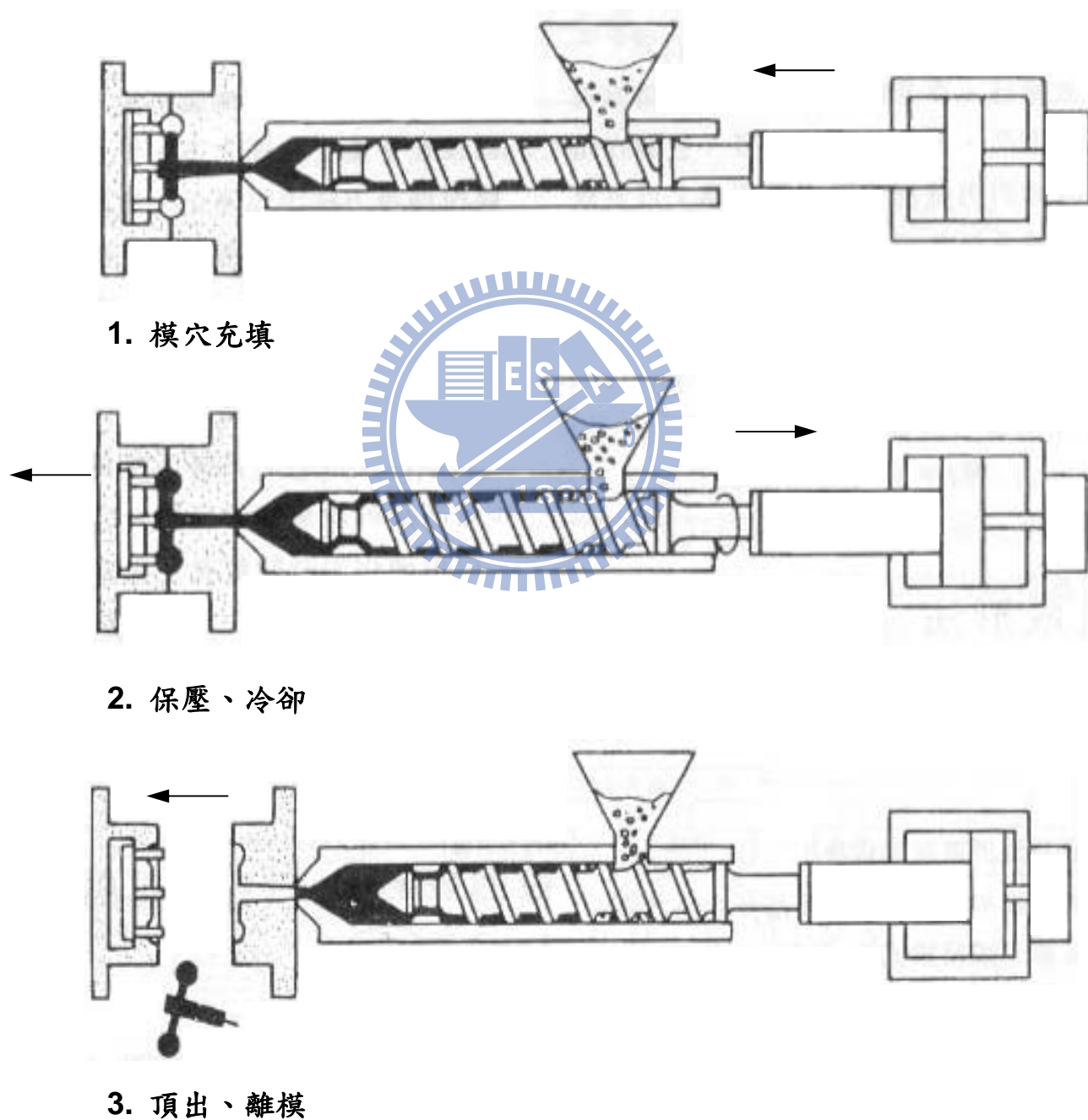


圖 2.1 射出成形之步驟 本圖來源來自[12]

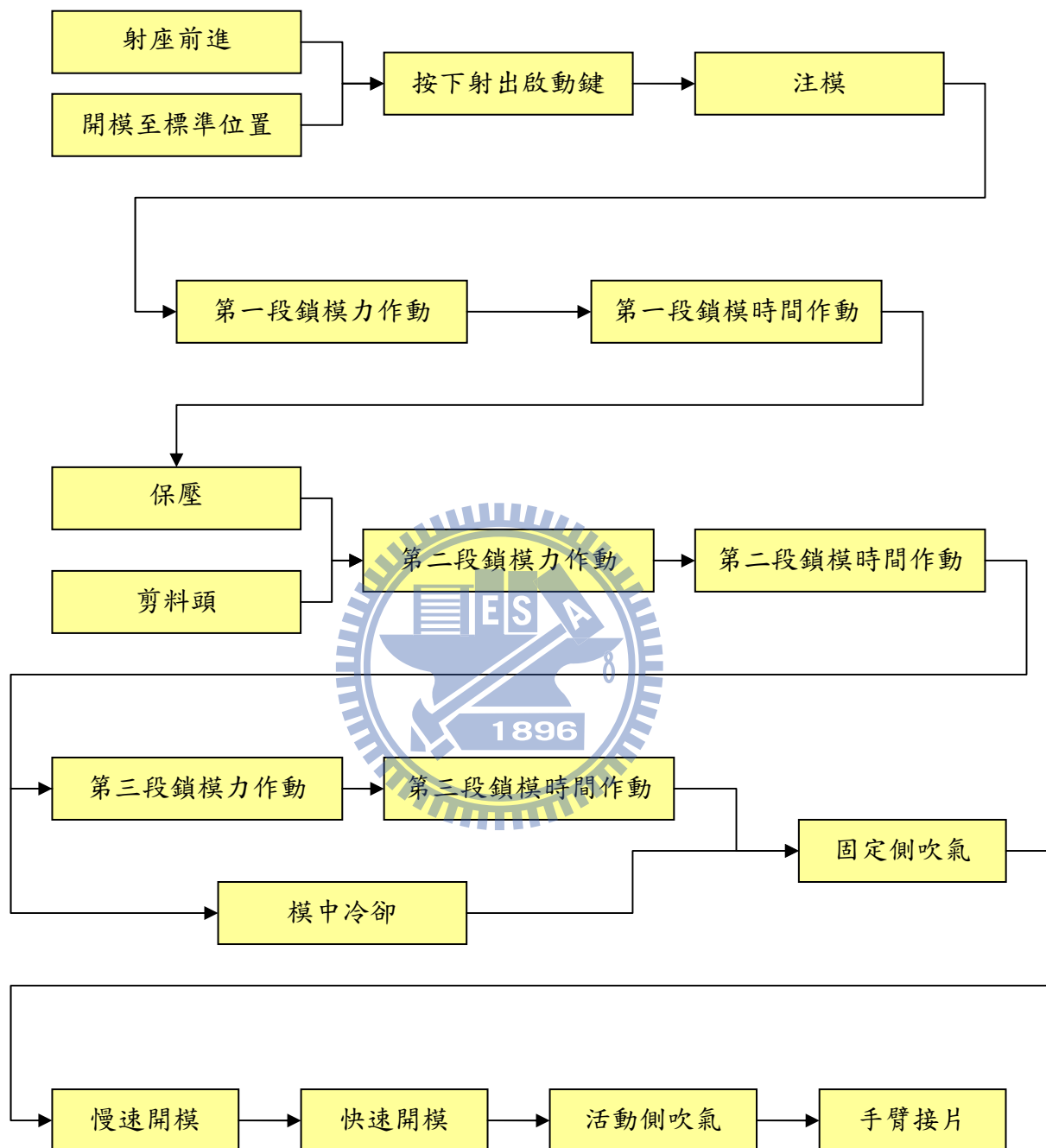


圖 2.2 射出機生產動作程序

2.3 射出產品成型不良原因探討

另外，射出成型法是一種相當複雜的技術，牽扯到有關模具零件和參數是上交互作用等影響，而不良因素主要也可以起因於材料、模具、射出機、成品設計及參數等[15]，同時也會因產品的形狀複雜度或使用的塑料特性不同，例如塑料流動性，或射出參數的設定不良，而有不同的成型不良原因，如表 2.1 中所示[16]，為各成型不良原因和塑膠特性、形狀設計、模具設計之探討。

表 2.1 射出產品成型不良原因探討 本圖來源來自[16]

成型不良	塑膠特性	形狀設計	模具設計
缺料	1. 熔融粘度特性 2. 氣體發生率	1. 厚度與流動距離(L/t) 2. 厚度設計	1. 排氣孔設計 2. 多孔模的澆道設計 3. 液料同時充填
溢料	1. 熔融粘度絕對值與壓力依存性 2. 結晶速率	厚度的不均一性	1. 工作精度 2. 模具剛性 3. 間隙量
銀痕	1. 吸濕率 2. 氣體發生率殘留單體	厚度的不均一性	1. 排氣口構造、 2. 熱澆道構造
光澤度轉寫性	1. 流動性 2. 結晶速率 3. 氣體發生率	厚度的不均一性	1. 排氣口構造 2. 模溫調節迴路
熔接線	1. 流動性 2. 顏料形狀發體發生率	厚度的不均一性	1. 排氣口構造 2. 模溫調節迴路
雜質	1. 熱劣化產生雜質 2. 添加劑的異物化		熱澆道(分岐管)的設計
空洞	成型收縮特性	超過限度的厚度	1. 與厚度平衡的澆道 2. 澆口設計

尺寸異常	成型收縮率	累積同類形狀的成型收縮率	預估正確模穴尺寸
尺寸參差	成型收縮率的絕對值與成型條件依存性		澆道設計使多孔模之各模穴同時充填
形狀精度	成型收縮率的異向性	厚度不均，形狀不對稱	均一冷卻
成型品破損	1. 熱分解 2. 水解 3. 補強材的配向	熔接線產生因素(厚度不均、穴、窗)尖銳角隅	1. 料門與熔接線位置 2. 模內加工防止熔接線
縮水	塑料碰上模具表面已開始硬化，而在熔融塑料和固化中塑料密度已開始區分，所以開始收縮尤其厚薄不規則之產品，經過薄面末端之厚體射壓無法補充縮水更明顯	1. 保壓不足 2. 計量不足 3. 排氣不順	1. 增加計量 2. 提高射出壓 3. 增加保壓時間 4. 降低料管溫度 5. 降低模溫 6. 增加排氣
成品黏模 澆道黏模	1. 射出壓力過高射出時間過久 2. 造成成品劑量過多		1. 降低射出時間及射出壓力 2. 減少射出計量 3. 降低射速
充填不足	1. 液料計量不足 2. 液料過冷	1. 射出壓力太低 2. 射出量不足 3. 料管溫度低 4. 模溫過低 5. 排氣不良 6. 包風	1. 增加射出壓力 2. 調整射出計量 3. 升高料溫 4. 修改模具排氣設計

2.4 射出對各產品關係的影響

2.4.1 射出成形技術對薄殼產品的影響

在射出的界定上[17]，射出速度在 300mm/sec 以下為傳統射出機，射出能力在 300mm/sec~600mm/sec 歸類高速射出機，而射出 600mm/sec 以上則稱為超高速射出機，而超高速射出成型機一般應用在薄件成上。而所謂的薄壁產品定義，一般而言是指成品 L/T 比在 150 以上，或壁厚在 1.0~0.8mm 或更小者作為薄壁成品看待，如圖 2.3

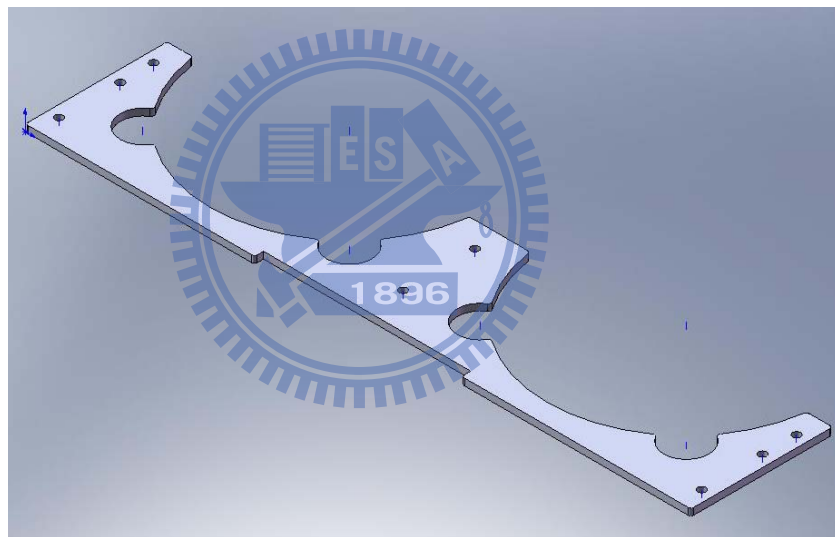


圖 2.3 薄殼產品

如果有生產如薄殼產品，塑料的流動性是成形與否的主要素，不只如此，在射出機的條件上也是相當的重要，如射出機的模溫 and 料溫也不能太低，才使材料在模穴充填的過程中，能保持充分的流動狀態。而射出機的射出壓力和鎖模壓力是否足夠，也會影響薄殼片的產品能否成形。一般在塑料射出時，因受到接觸面冷卻的影響，其固化層會隨著充填時間的增加

而逐漸加厚，而造成流動阻力與射出壓力的增加，若當固化層完全阻礙充填流道的任一截面時，熔膠即無法將模穴完全充填滿而造成短射。

因此，除利用超高速射出在固化層產生前即充填來避免封閉流道問題外，進而達成薄件成型的目的。同時熔膠在低黏度、高射速下充填，模穴內的壓力分佈與溫度分佈比較均勻，減少了製品的殘留應力，而流動導向性減少，使得成品翹曲性降低與轉寫精度增加。

2.4.2 射出成形技術對高倍速光碟片的影響

光碟片的射出材料也是由高分子物質所組成的，而由於高分子本身是一黏彈性體，若以黏彈體本質方程式來模擬最佳，Goyal 等人[18]曾利用 White Metzner 黏彈模式模擬中央進膠的圓盤模穴。並以有限差分解複雜之統御方程式，發現黏彈性效應並不會很明顯的改變速度及溫度分佈，但對應力場之影響相當明顯。

在光學產品上，最為重要的特性為光束聚焦的快慢，而影響聚焦快慢最重要為產品在射出成形時的好壞，而影響成形品質的轉寫性，與光澤面、霧面加工或無熔痕成型等外觀有關，也與光學鏡片、電導光板、稜等的性能有關，對光澤性或霧面轉寫性影響最大的是模具溫度。成型的模溫越高，光澤性、轉寫性越佳。對非結晶性塑膠，HDT（荷重凹陷溫度）以上的溫度將無法脫模，故以 HDT 為模溫的上限。而對結晶性塑膠因無 HDT，依可以結晶化溫度為參考。

2.5 何謂模具

模具[19]就是用一個容器把原料成型為特定形狀的工具，它是依照設計者先設計好的形狀或格式，來製造出一定形式的產品的工具，其簡單來說：就像是做蛋糕一樣，麵粉、奶油等材料是我們的原料，可是它們並沒有特定的形狀。這時我們會用一個容器來固定它們，讓它們變成我們想要的形狀，這個容器，就稱為模具。而使用模具來加工製造產品是一種無屑的成形方法，它是經由設計適當的模具，利用材料的塑性，改變素材的尺寸、形狀或材質的一種加工方法，又稱之為無屑加工法。

目前[20]由模具製造的產品，包括：金屬沖壓零件、塑膠成形零件等，可說與人類生活用品關係十分密切。如家庭用品中的電視、電話機、電冰箱、洗衣機等所需零件；其他如飛機、汽車、鐘錶零件、電腦週邊設備，以至國防武器、軍用器材等所需零件，幾無不使用沖模製造而成。

製造模具的機器，可分為一般性和專門性兩類，一般性的機器包括：車床、銑床、磨床、熱處理設備等；專門性的機器，包括：精密定位搪孔機、CNC機械、放電加工機及刻模機等，都是近十年來發展而成的新機具，精度極高，價值昂貴，可說是製造精密模具不可缺乏的設備。

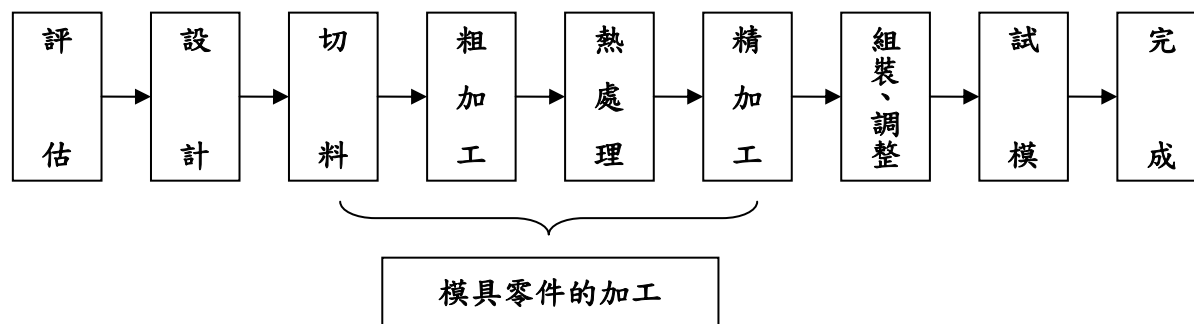
2.6 模具設計與製造程序

模具的加工機有很多種類，所以模具[21]的加工方法上也是有很多，需要依照訂製者的需求而進行加工的，如表 2.2，分為下列幾點程序進行的，

而圖 2.4 為模具設計製造流程圖：

- (1) 計劃：訂製考與設計者之間必須要有是事的溝通，才能了解所需求的地方，如：價格、交貨期限、模具總壽命、使用之射出設備、尺寸精度等。
- (2) 模具設計：提出評估和模具的構想草圖，開始進行設計工作，但在設計時需注意其零件互換性、零件壽命、更換方便性、工作效率、安全性等。
- (3) 零件加工：模具零件的加工方法，依種類、形狀及要求精度的不同，可做最適合的加工選擇。
- (4) 精加工、組裝、檢查：為達到模具精度，對各有一定公差範圍的零件在組裝時必須做適當的調整，以避免累積誤差的發生。
- (5) 試模：除了模具本身的問題之外，其配合的射出機及加工參數等也必須配合，所以在模具完成加工後，要進行第一次試射，再進行問題的修改，最後才能將模具納入生產行列。

表 2.2 模具的製作程序 本圖來源來自[21]



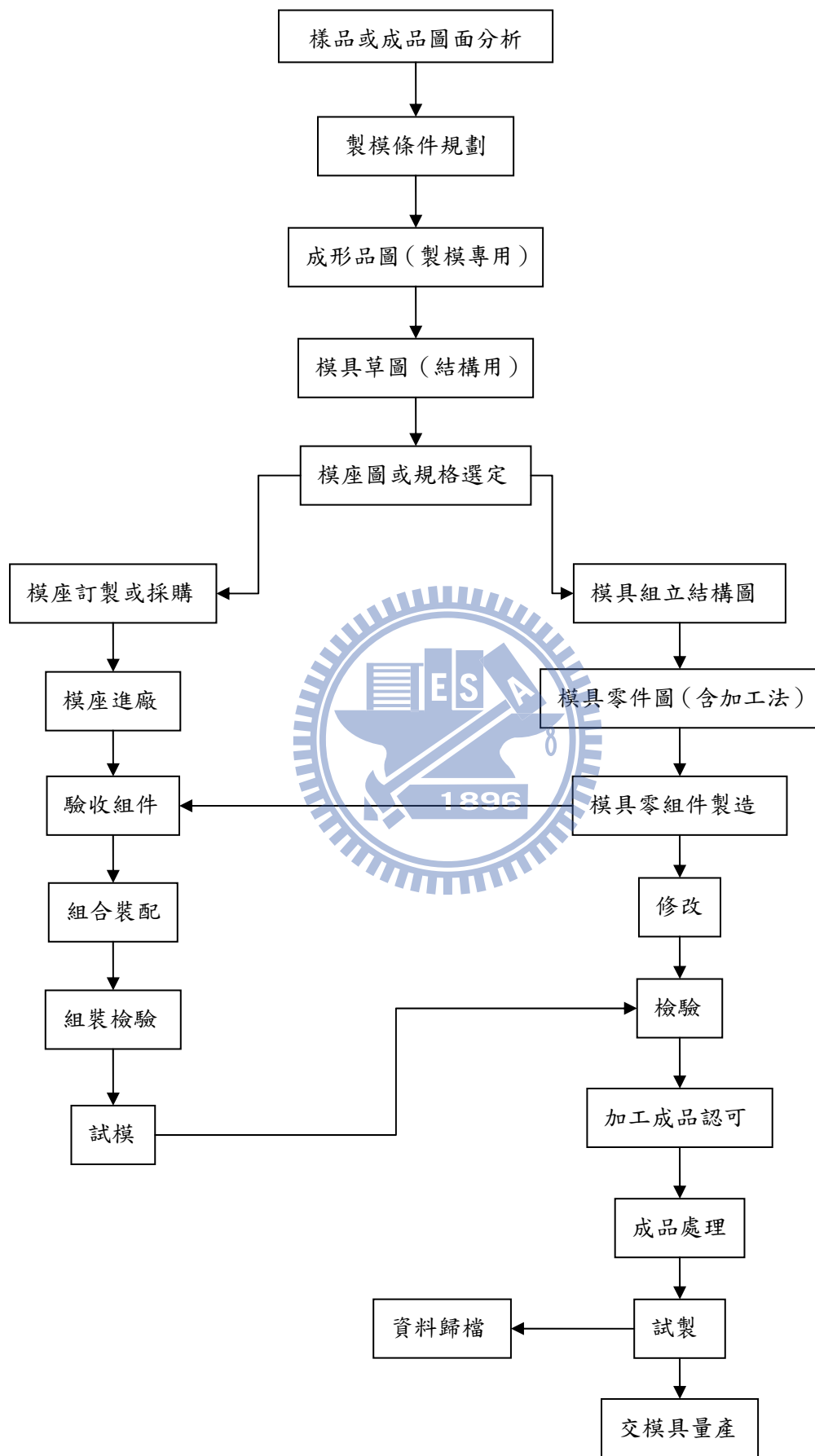


圖 2.4 模具設計製造流程圖 本圖來源來自[19]

2.7 射出壓縮模具與傳統模具的比較

射出壓縮成型 (Injection-Compression Molding) 為一新的製程技術，近年來在學界與業界引起了相當多的研究與討論，而此一製程技術目前已廣泛應用在需高精度尺寸及考慮光學性質的光學產品如 DVD、CD-ROM 或光學鏡片等的製造。

射出壓縮成型其操作結合了射出成型以及壓縮成型兩種成型技術，此種製程主要是在一般傳統射出成型製程中之外加入模具壓縮的製程，亦即在充填之初模具不完全閉鎖，當部份塑料注入模穴後，再利用鎖模機構閉鎖模具，由模心模壁向模穴內熔膠施加壓力以壓縮成型來完成模穴充填。

比起傳統的射出成型，射出壓縮成型具有以下優點：(1)降低射出壓力。(2)降低殘餘應力。(3)減少分子定向。(4)均勻保壓減少不均勻收縮。(5)克服凹陷及翹曲。(6)減少成品雙折射率差。(7)緩和比容積變化。(8)增進尺寸精度。

活動模板的控制模式可分為二種模：其中一種為壓力控制模式，亦即模板在射出階段前以低壓力鎖模，此時模具已密合只是鎖模力極低，在射出階段時再利用射出壓力迫使模具打開，以使模穴空間加大同時降低流動阻力，當完成射出動作後再使模具移動進行壓縮動作。第二則為位置控制模式，模板在射出前以預先定位某一位子，並預留較大的模穴空間，此時

射出動作擠入熔膠並且可以低壓方式進入模穴，待射出完成後再進行壓縮工作。

2.8 光碟記錄媒體之模具發展現況：

光碟記錄媒體隨著時間之發展，是不斷的在演進的，而對於光碟片最大的改變，為 1996 年所研發出的 DVD 光碟片，其不管是其儲存的空間，還是碟片的厚度，更是和之前的 CD-R 差別甚大。CD-R 的單片厚度約為 1.2mm，DVD 之單片厚度約為 0.6mm，而也因應其碟片之厚度不同，其光碟記錄媒體之模具也有不一樣的設計和發展，從原本公、母模合模位置為 1.2mm 的空間，減少成合模位置為 0.6mm 的空間，在模具的零件上就要修改甚多，因此，以日本精工為例，最先以設計適合 CD-R 使用之 J-type 模具，如圖 2.5，而後又因應 DVD 製程之發展，模具發展出了適合 DVD 使用之 H-type 和 G-type 模具。其光碟記錄媒體之模具也是一直在發展進步之中。

而 DVD 光碟片其直徑為 120mm，厚度只為 0.6mm，可視為薄殼產品，而在模具的設計上，就要考慮到產品的翹曲問題和成品問題。在翹曲問題方面，模具的水路設計是一大學問，如何的分佈在光碟片的表面上，而且水路的深度需要多深，才能使其能將光碟片上的積熱平均的帶走，而不影響碟片的翹曲變化。另外，在成品的問題上，因為碟片的產品為薄殼產品，若模具溫度太冷，塑料在射出時接觸面冷卻的影響，而造成流動阻力與射出壓力的增加，塑料無法將模穴完全充填而成形不良，而且，光碟記錄媒

體更要注意的是其溝軌的成形好壞，是會影響光碟片的生產效能的。因此，在模具溫度的冷熱調配為一個重大的設計要點，而日本精工也因此而發展出更適合於 DVD 光碟片使用之 F-type 模具，其水路設計考慮到了成形和散熱問題，同時也增加了光碟片的生產效能。

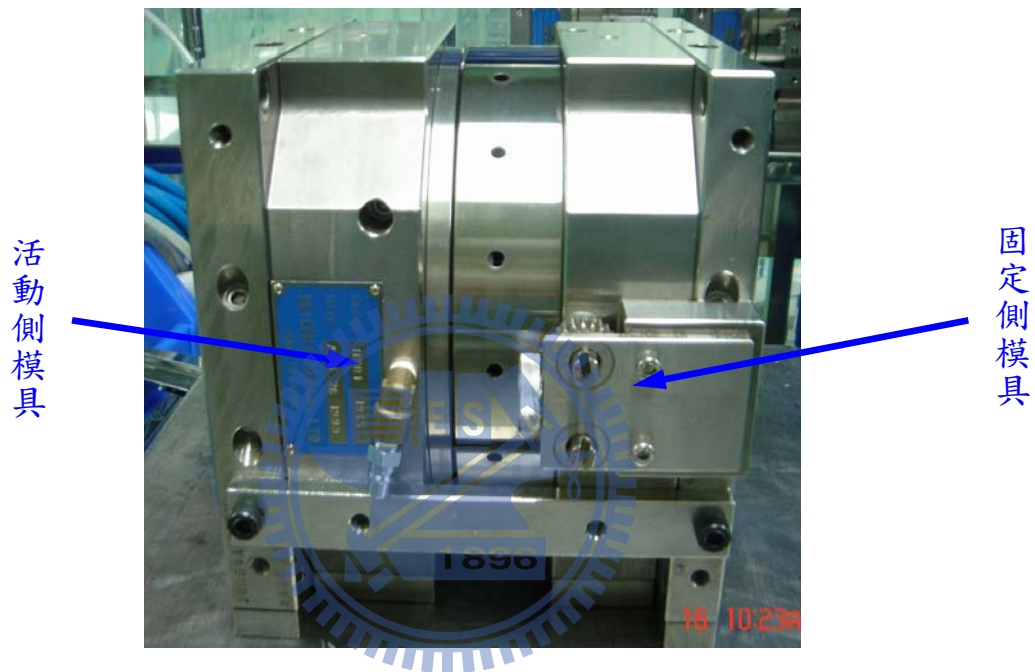


圖 2.5 CD-R 專用之 J-type 模具

三、田口實驗品質工程計劃

3.1 田口方法介紹

田口玄一博士（Dr. Genichi Taguchi）出生於 1924 年，[22]1949 年，日本的電信實驗室（ECL - Electrical Communication Lab.）致力於改良日本的電信通訊系統，而博士在研究開發中負責提高生產力的工作。為了改進實驗計畫的成本效益，他發展出一套實驗計畫法，這套實驗計畫法在工業上較具有實際應用性，是以生產力和成本效益為依歸，而這套實驗計畫法稱為品質工程（Quality Engineering），在日本發展極為成功，對於日本工業的品質改善有顯著貢獻。

品質即為使用合適、合理的規格製訂，製造出最好的產品，使得使用的客戶滿意其產品，所以品質工程的首要步驟就是選定合適的量測品質特性，此需求對產品或製程有所了解，同時也要熟知實驗計畫方法。

田口方法之概念在於如何利用小規模具經濟有效的實驗，找出大規模生產或市場上仍具有再現性的最佳設計參數，主要包括生產線上品質管制（on-line quality control）和生產線外品質管制（off-line quality control），前者是發生於生產階段，而後者主要是在產品發展和設計階段；線外品質管尤其特別重視研究開發階段時的品質設計。因此，對於產品的環境適應性及產品壽命週期內的品質可靠度可提供有效的保證。採用田口方法之優點為實驗次數少，成本花費低，可在雜音因子影響最小情況下，決定可控因子

的最適水準。

應用田口方法解決問題有下列優點：

- (1) 可減少實驗次數。
- (2) 直交表實驗所得結論，在整個實驗範圍內都可成立。
- (3) 具有良好的再現性。
- (4) 資料容易分析。

3.2 直交表的應用

田口式直交表實驗計畫，乃是田口玄一博士改良自傳統的部份因子實驗法而得來的。其主要的精神，在於實驗需求品質的加法性，而不是作為品質問題的解答。好處使是每一可控因子之主效果（Main Effect）可以獨立且均衡的求出。是進行完全要因實驗（Complete Factorial Experiment）中之部份要因實驗（Fractional Factorial Experiment）。常用直交表一般分為 2^k 系列（K 為因子數，2 表示因子為二水準）、 3^k 系列、 4^k 系列及 5^k 系列等。

田口方法主要的工具是均方偏差(Mean Square Deviation ,M.S.D)和信號對雜音比（Signal-to-Noise Ratio，S/N 比）。信號雜訊比是用來衡量產品品質的一種統計量度，它可以表示製程或產品的水準及其誤差因素影響的程度。由於選定的品質特性是整體的翹曲量，越小代表品質越佳，因此選定望小特性作為品質的計量法。MSD 和 S/N 公式定義如下：

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \quad (3-1)$$

$$MSD = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} = (\bar{y})^2 + \sigma^2 \quad (3-2)$$

$$S/N = -10\log[MSD] = -10\log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3-3)$$

y_i 代表第 i 個品質特性；

n 值代表實驗資料數目，因此本研究 $n=1$ ；

\bar{y} 為平均值品質特性；

σ^2 為 y 的變異數

3.3 實驗參數設計法

D.O.E. (Design Of Experiment)，實驗設計法一般分為二階段式實驗法，第一階段實驗最主要目的是要找出顯著因子，進而有效的加以控制。第二階段實驗最主要目的是針對顯著因子找出其工作區間。最終實驗的數據是利用變異數 ANOVA 分析，統計運算求出各因子及相互作用的貢獻度，便可由因子貢獻度，了解何者為顯著因子，在製程上必須做好管制。對於兩種特性分析時，其重點在於兩特性間相矛盾的顯著因子，如何做一個較為有利的選擇。

其手法是將品質特性（Quality Characteristic）轉換成 S/N 比，再利用 S/N 比的特性，找到變異數小而品質特性平均值佳的設計。

品質特性可分為三類：

1. 計量特性（Measurable Characteristics）：能以連續尺度量測。

又可分為三類：

①. 望目：此特性具有一特定目標值。如：尺寸、換檔壓力，間隙、黏度……。

一般有上、下規格的产品都可視為望目特性，我們希望極大化

S/N 比如下：

$$SN = 10 \log \frac{1}{n} (S_m - V_e) \quad (3-4)$$

②. 望小：目標極端值是零。如：磨耗、收縮、劣化、雜音水準……

望小特性之 SN 比為：

$$SN = -10 \log(MSD) = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right\} \quad (3-5)$$

③. 望大：目標值為無限大。如：強度、壽命、燃料效率……

望大特性之 SN 比為：

$$SN = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right\} \quad (3-6)$$

2. 計數特性 (Attribute Characteristics)：不能以連續尺度量測，但能按不連續分級尺度分類。

動態特性 (Dynamic Characteristics)：是一“系統”的機能品質特性，取決於該系統的投入及其造成的結果。

在進行完了模流分析的相關模擬和田口實驗的結果比對之後，已依照模流中有遇到的問題，慢慢的修改，不管是模具零件的修改，或是射出參數的搭配設計。找出最佳的可控因子水準之組合，使得產品或製程對雜音因子不敏感，而其手段並不需要使用最高級昂貴的零件或材料，因此可以在低成本之狀況下達成高品質的目的，才能真正達成我們所要的實驗結果。



四、電腦輔助工程與模流分析技術

4.1 電腦輔助工程簡介

近年來，由於經濟波動影響和人事成本的高漲，造成傳統產業競爭力逐漸衰退，各產業為求降低成本，與產業轉型的經驗，逐漸發展智能設計為主導的高精密產品，而至於競爭力較好的高科技產業，如電子、資訊及航太產業，在適應環境的轉型研發過程中，大量的引進了電腦輔助工具，如電腦輔助設計、製造、工程分析與工業設計（CAD/CAM/CAID）等。

而電腦輔助工程（Computer aided engineering, CAE）[23]應用在塑膠射出成型上，在台灣稱為模流分析，最早是由原文 MOLDFLOW 直接翻譯而來，而 MOLDFLOW 是由此領域的先驅 Mr. Colin Austin 在澳洲墨爾本創立，早期(1970~)只有簡單的 2D 流動分析功能，並僅能提供數據透過越洋電話對客戶服務，但這對當時的技術層次來說仍有相當的助益；之後開發各階段分析模組，逐步建立今日完整的分析功能。

同一年代，美國 Cornell 大學也成立了 CIMP 研究專案，由華裔教授 Dr.K.K.Wang 所領導，針對塑膠射出加工做系統理論研討，產品名為 C-MOLD。自 1980 年代起，隨著理論基礎日趨完備，數值計算與電腦設備的發展迅速，眾多同類型的 CAE 軟體漸漸在各國出現，功能也不再侷限於流動現象探討。約 1985 年工研院也曾有過相似研發，1990 年起清華大學化工系張榮語老師也完成 CAE-MOLD 軟體提供會員使用。

CAE 的軟體使用上，早期主要是用在結構體強度計算與航太工業上，而使用在塑膠射出與模具工業為模流分析 MOLDFLOW。而隨著 CAE 軟體的推陳出新，模流分析也逐漸被重視與廣泛的應用，而其後也研究出 CAD/CAM/CAE 之電腦輔助製造，使產品自動化生產。

在 CAE 的教學方面，柯朝塗[24]也應用了「內容分析法」歸納 CAE 內涵及學出 CAE 知識的應有內容項目，在已學過有關機械方面如製圖、機械材料力學等相關知識，且已經能夠使用電腦的能力下，再探討專科大學科系開設有關 CAE 課程內容。可見得電腦輔助工程不只對於工業界是很有用的一套模擬軟體，在學術界也是需要極力推廣的教學軟體。圖 4.1 傳統設計流程與導入 CAE 流程的比較[25]。

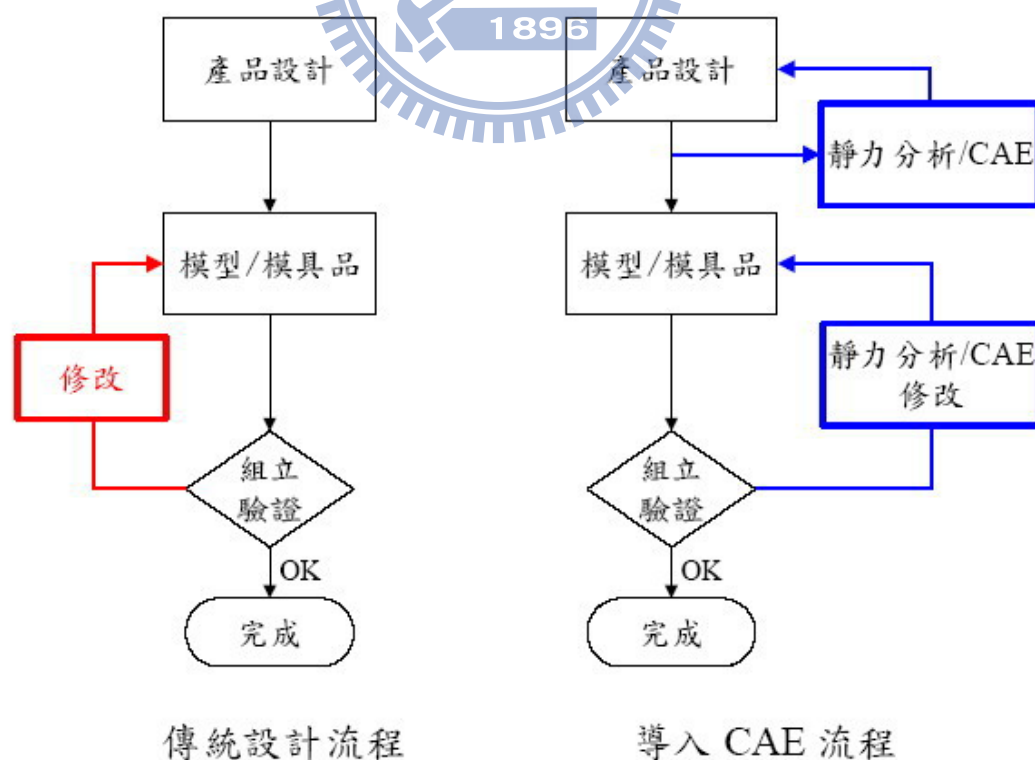


圖 4.1 傳統設計流程與導入 CAE 流程的比較 本圖來源來自[25]

4.2 CAE 之推導與理論

而現今，電腦輔助工程（CAE）會如此之盛行，主要是因為數值模擬方法的精進，如有限元素法（Finite Element Method）、有限差分法（Finite Difference Method）及有限體積法（Finite Volume Method），而在 CAE 發展之先前，是利用 ANSYS 及 NASTRAN 兩套軟體來進行模擬分析，而現在發展了 C-Mold、MOLDFLOW、Moldex-3D 等軟體，以逐漸成為市場之主流分析軟體。

有限元素法（Finite Element Method，FEM）是電腦輔助工程最主要的根據理論[26]，而 FEM 的演算非常的複雜，尤其是對解矩陣求解，主要有兩種求解方法，一為直接求解法（direct methods）；另一為疊代求解法（iterative methods）[27]，在解結構（structure）及振動（vibration）解析程式就常用到 FEM。其他的分析法有邊界元素法（Boundary Element Method，BEM）及有限差分法（Finite Difference Method，FDM）等。

使用 CAE 模擬軟體時，我們要先在工程繪圖軟體（Pro/E、Solidwork、AutoCAD）繪製設計之 3D 模型，再利用其圖形交換檔，如：IGS、STL 等，作為之間的橋樑，將模型轉成 CAE 所需之檔案，輸入 CAE 軟體，進行設計模型之結構分析和問題修正。

4.3 模流分析

模流分析[28]是以質量守恆和能量守恆，配合高分子材料之流變理論和數值求解法作為理論基礎，模擬射出成形時，融膠在模穴內充填、保壓、冷卻和翹曲的過程，並以人性化的介面將結果加以顯示。

射出成型的 CAE 電腦輔助工程 (Computer Aided Engineering)，為因應全球模流分析 CAE 技術使用者的需求，提高分析精確度、加強軟體週邊資源的提供與整合為未來發展的首要目標，因此模流分析 CAE 技術未來發展的重點趨勢大致可分為下列三大項：

1. CAD 的發展與整合
2. 正確而完整的塑膠材料資料庫
3. 專家系統的建立



4.3.1 CAD 的發展與整合

模流分析 CAE 技術已逐步邁向工程研發過程的重要核心地位的同時，如何整合 CAD 軟體的功能，加強前處理的能力及速度，使設計者能透過 CAD 快速建立分析模型，同步進行 CAE 工程分析，所得到的結果再行回饋由 CAD 部份直接進行設計變更，直到分析結果達到最佳化，是目前的 CAE 急欲發展的方向。但現今，模流分析 CAE 技術尚未跟上 CAD 軟體發展的腳步，因為它目前所採用的幾何模型仍以 2.5D 的有限元素模型為主，而 CAD 設計者須另外建構一個符合 CAE 分析所需的中心面建圖之幾何模

型，再將此模型以三角形或四角形網格元素切割，利用網格元素定義模具局部肉厚分布，建構一個符合 CAE 分析所需之 2.5D 的幾何模型，是一件即費力、耗時、且困難的工作，因此為提升 CAE 使用的效率，開發自動繪製中心面技術(Automidp-lane)及自動有限元素切割技巧(Automeshing)則是一個有效的解決方案；

4.3.2 正確而完整的塑膠材料資料庫

在工業界上所發展出來的塑膠原料如此之多，若在電腦輔助工程分析裡，忽略了各項材料的特性（如：玻璃轉化溫度、流動性），而單純只用同一種材料做內建使用，其分析出來的數據會缺乏準確性，所以，一套良好而可靠的電腦輔助工程分析技術，除了有賴正確的加工理論基礎及有效的數值方法外，能將高分子在加工過程中的物理或化學性質變化的材料特性做成資料庫建檔，在分析中，能加入分析，則分析出來的結果會更有準確性。

所以為了提高 CAE 精確度，建立一個正確而完整的塑膠材料資料庫有其必要性。

4.3.3 專家系統的建立

由近年來塑膠射出的發展趨勢來看，我們很清楚地了解 CAE 分析對於模具業界和塑膠產品開發的未來發展前景中是十分重要的，除了加強 CAD

的發展與整合及建立正確而完整的塑膠材料資料庫外，開發一套整合加工準則、模具設計概念、人工智慧、智慧型邏輯思考模式、CAE 分析經驗，是有其必要性，因為運用專家系統可大量降低 CAE 分析試誤的時間，透過專家系統來整合大量的成形問題解決方法，CAE 的使用者不必通過經年累月的嚴格訓練即可輕鬆上線進行 CAE 分析，同時獲得最佳化的成形條件。

另外，模流分析最大的好處，在羅壬成的論文結論中說到[29]，在模具未正式開模前，先行檢討產品設計的缺失，依據缺失項目做設計改善，以符合品質標準要求，提高產品生產效率並降低研發、製造、生產、檢驗等成本。

4.4 Moldex-3D 軟體介紹

Moldex-3D[30]之三維模流分析技術，可充分運用於各類型塑膠射出產品。利用實體混合網格，搭配高效能有限體積計算方法，可於深度設計驗證及問題解決的面向上，精確預測產品製造的可行性與建議出最佳化設計方案。即便產品屬於粗厚件、厚度差異大、難以定義中間面，甚或產品設計的幾何結構相當複雜，皆可藉此獨門技術真實呈現全三維模擬分析，如圖 4.2。

Moldex-3D-Mesh 為射出成型模擬的網格建置與編修工具，不僅大幅降低使用者建置模型網格的工時，並可同步提高網格品質。Moldex-3D-Mesh

支援大多數 CAD 幾何圖形以及 CAE 有限元素模型檔案格式，不僅可連結 CAD 與 CAE 系統，同時也支援幾何圖形編修、實體與薄殼網格建置的功能。為精確計算射出成型過程所產生的強大剪切應力及摩擦生熱現象，產品厚度方向上的高解析度三維網格佔有舉足輕重之地位。而 Moldex-3D 邊界層網格技術，可快速建置厚度方向上的高精度高品質網格，大幅增進黏滯加熱效應及壓力分析的精確度，同時縮短使用者建置高精度網格的時間，也大幅提高翹曲預測的精確度。

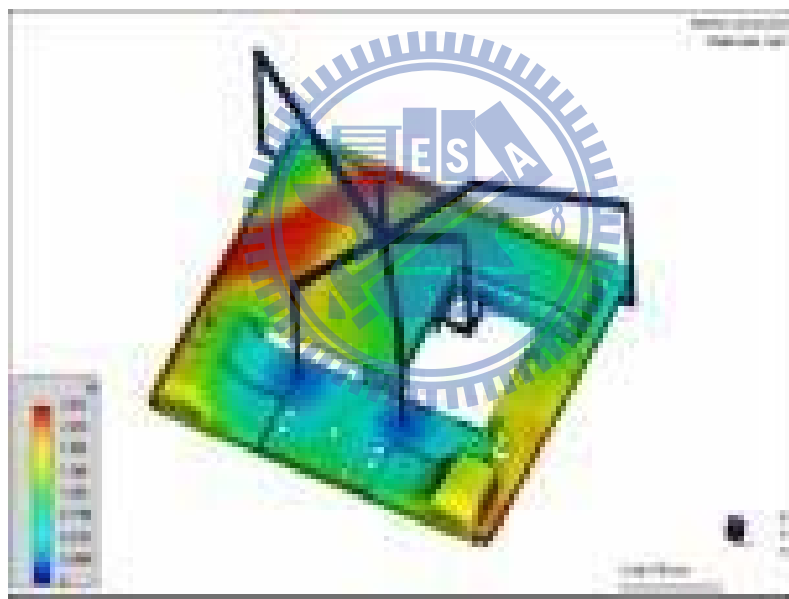


圖 4.2 三維模擬分析 本圖來源來自[30]

Moldex-3D 支援平行計算，大量增進分析計算效能，在最短時間內完成網格元素數量巨大的複雜模型分析。此一高效平行計算技術，除可完整

進行充填、保壓、冷卻、翹曲、玻纖排向、反應射出等計算，常可同時支援多 CPU 與叢集式電腦計算。

在初步的研究過程中，已針對模流分析軟體的技術應用，做了先前的了解，在 Moldex-3D 裡所運用的網格建構，是有很多不同的幾何形狀，而利用這些不同的形狀，如圖 4.3，充分的充填了實驗模型的內部構造，而在分析過程中將會更有效而準確。

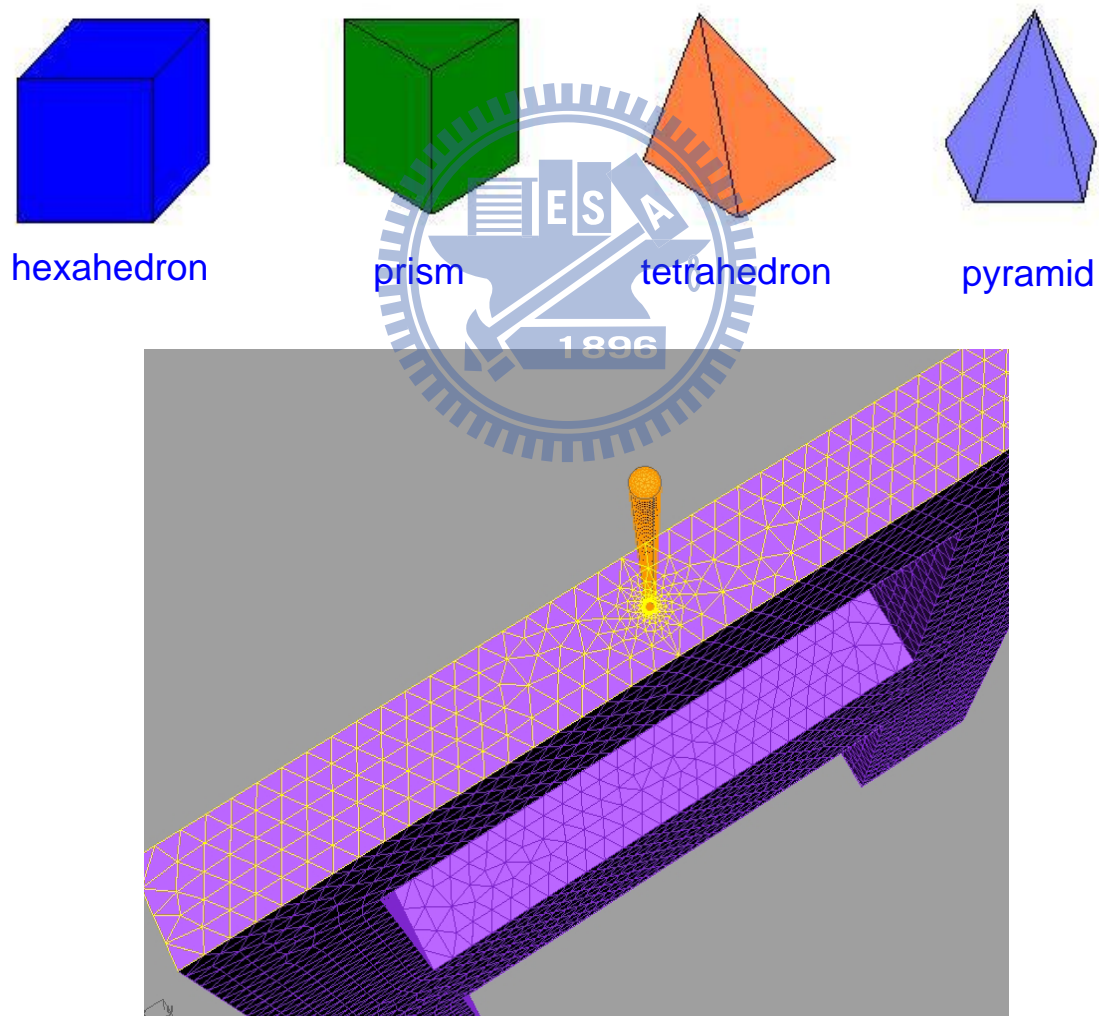


圖 4.3 實體網格分佈 本圖來源來自[31]

Moldex-3D 為全方位的問題解決工具，它提供的四項主要產品，於塑膠射出產業中受到廣泛應用，包含：

- (a) **Moldex-3D/Solid**
- (b) **Moldex-3D/Shell**
- (c) **Moldex-3D/eDesign**
- (d) **Moldex-3D-Mesh**

(a) Moldex-3D/Solid

Moldex-3D/Solid 為全球領先的真實三維模擬解決方案，藉著利用實體混合有限元素網格技術，在深度設計驗證及問題解決的面向上，深入分析產品設計並精確預測產品的可製造性。

(b) Moldex-3D/Shell

Moldex-3D/Shell 利用有效且強韌的 2.5D 科技，幫助使用者做深入的分析並優化傳統塑件設計。利用此獨特的有限元素分析法(FFEM, Fast Finite Element Method)以及網格技術，使用者可大幅縮短中間面模型的準備時間，並有效驗證設計的可重複性。

(c) Moldex-3D/eDesign

Moldex-3D/eDesign 可讓使用者快速確認塑件設計模組射出的可製造性，經由智慧型 eDesign 網格技術和領先的 3D 科技，使用者可以直接由實體 CAD 模型轉化為真實三維模擬分析結果，節省大量網格準備的工作時



間。友善、淺顯易懂的使用者介面能將訓練的時間和精力減至最低，互動式的結果呈現方式可以幫助使用者快速確認及優化設計。

(d) Moldex-3D-Mesh

Moldex-3D 因應多樣化的射出模擬需求，提供多功能前處理網格軟體「Moldex3D-Mesh」。Moldex3D-Mesh 的進階功能可讓使用者有效輸出/修正/編輯 CAD 模型，配置流道及冷卻系統，預先準備不同分析所需的網格。



五、模流分析與上機實驗結果驗證

5.1 模流分析流程

本實驗主要是利用電腦模擬的方法，在不花費任何的研究經費下，進行薄殼光碟之產品翹曲的趨勢模擬和特性分析，去找尋出在不同的模具水路設計和不同的參數數據實驗下，其翹曲特性的趨勢和優化後的參數製程條件。

本實驗中使用了 Moldex-3D 做為實驗模擬之軟體，在 Moldex-3D 的模擬中，其分析進行步驟有以下階段：

- 一．繪製 3D 模型：可以利用 Pro/E、Solidwork 等軟體先行繪製出薄殼光碟模型，再利用 IGS 或 STL 檔轉換格式，輸入到 Moldex-3D，進行接下來的分析工作。如圖 5.1

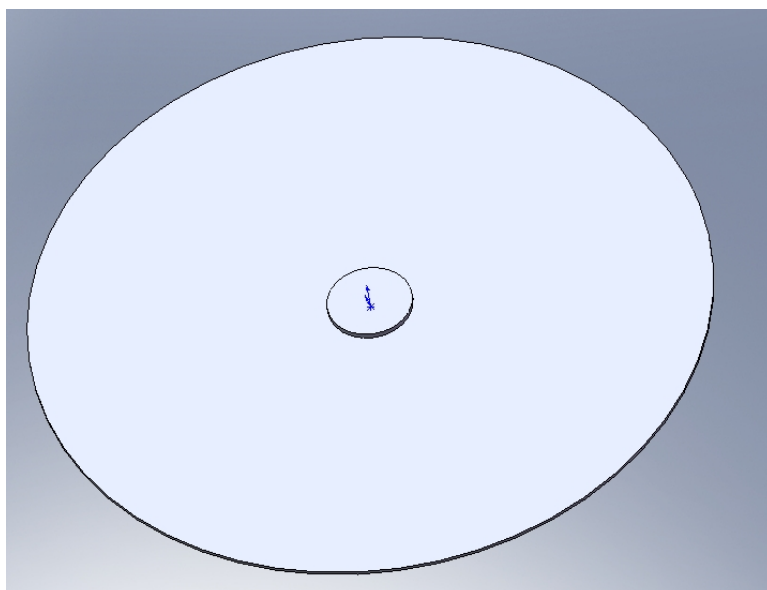


圖 5.1 薄殼光碟之 3D 模型

二． 製作模型、水路、模具之網格：

利用 Rhino 軟體，在輸入其 3D 模型後，設計所要用的模具和水路尺寸，再繪製出所需要的網格，要注意網格越細密，其所分析出來的結果越準確，但，電腦所需之配備等級需求會越高。

如圖 5.2 為繪製完成之網格情形。

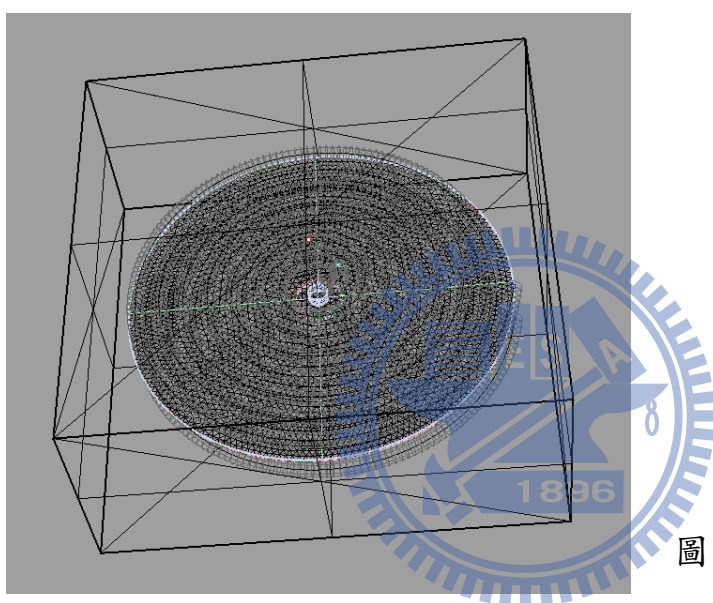


圖 5.2 網格繪製情形

三． 選擇所需要的材料：

薄殼光碟所使用的材料為 PC，而圖 5.3 中所示，即為 PC 料的物理特性：比熱，比熱等的特性將決定材料之流動性和結果翹曲值。

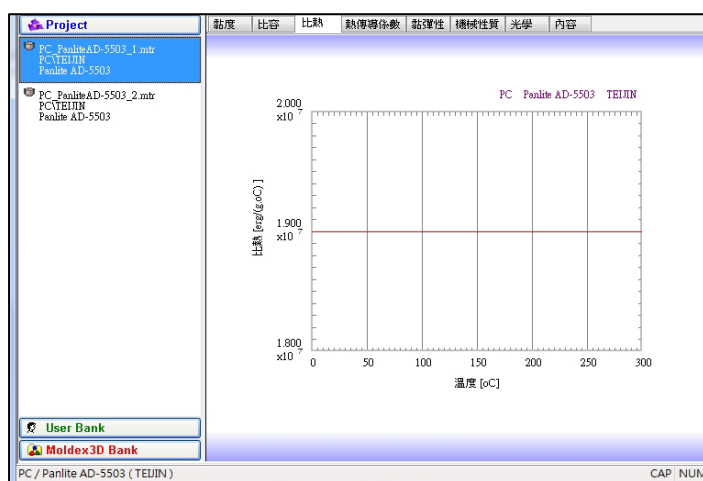


圖 5.3 PC 材料

四．輸入所使用之參數：

在系統中輸入射出時所使用到參數，如：射出速度、保壓壓力、
模具溫度、料溫、保壓時間、水路溫度等，以便系統能繼續進行結
果之分析。如圖 5.4

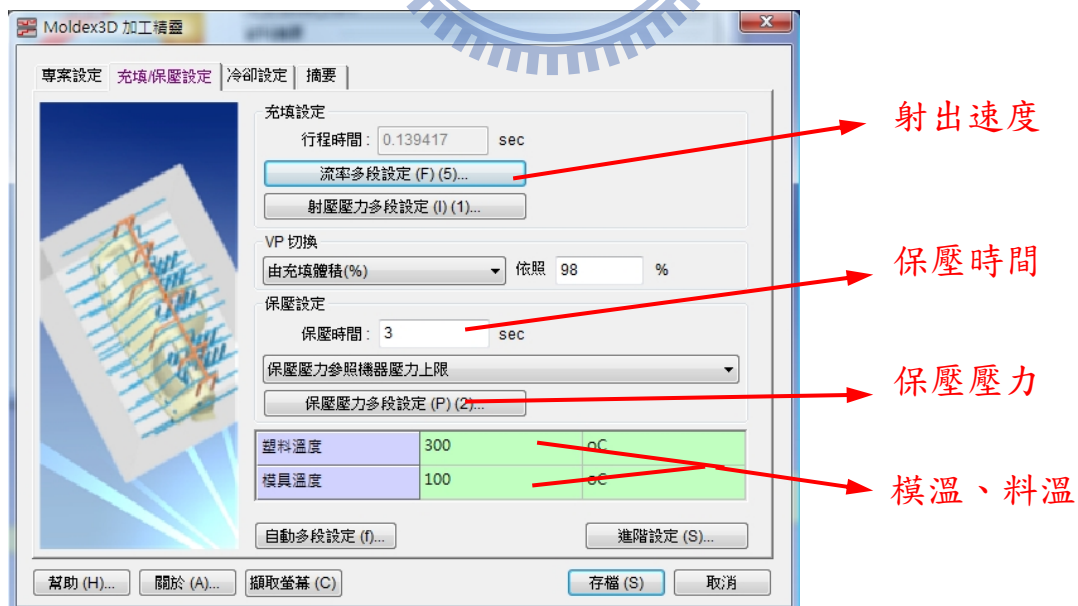


圖 5.4 系統參數設定表

五． 進行結果之分析：

當結果出來後，逐步進行需求之分析，如射出之流動情形、纖維分佈情形、密度、水溫散熱情形、模形翹曲分析，系統中還可以將液料流動情形以動畫的方式儲存下來，再行檢查模形是否有短射或是溢料之情形發生。

5.1 流動分析：

在模擬軟體中，可以利用動畫的功能，分析液料在模穴內的流動情形，可藉此觀查成品是否有飽模或是短射的情形發生。如圖 5.5、5.6 即為液料在模穴內射出 20%及 90%之情形。

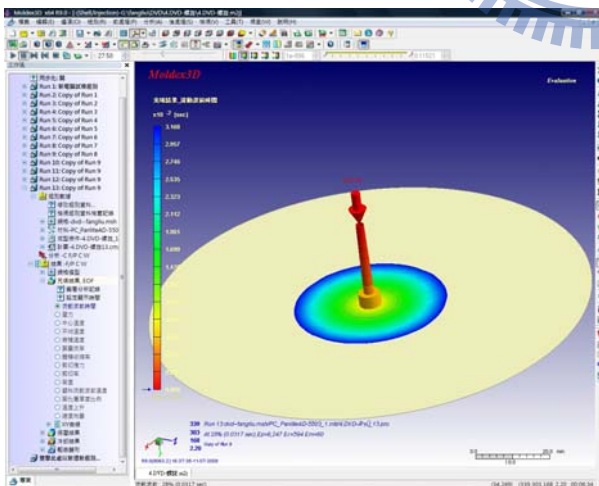


圖 5.5 20%流動過程

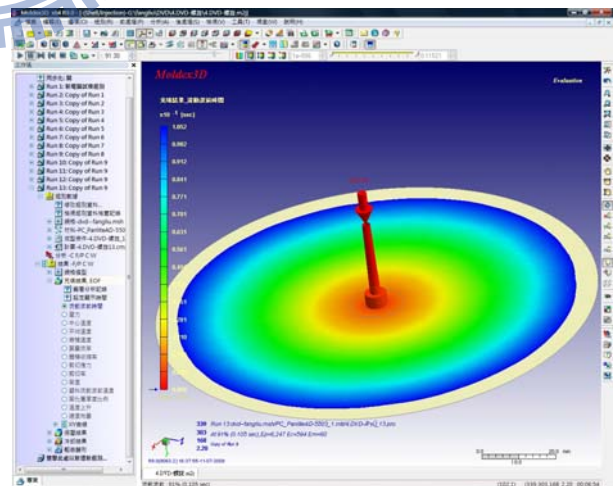


圖 5.6 90%流動過程

5.2 冷卻分析：

在冷卻分析中，如圖 5.7，軟體可以分析出分別在固定側或是活動側水路的冷卻效率，且也以紅色或藍色分別代表水路對於溫度是處於散熱或吸熱狀態。

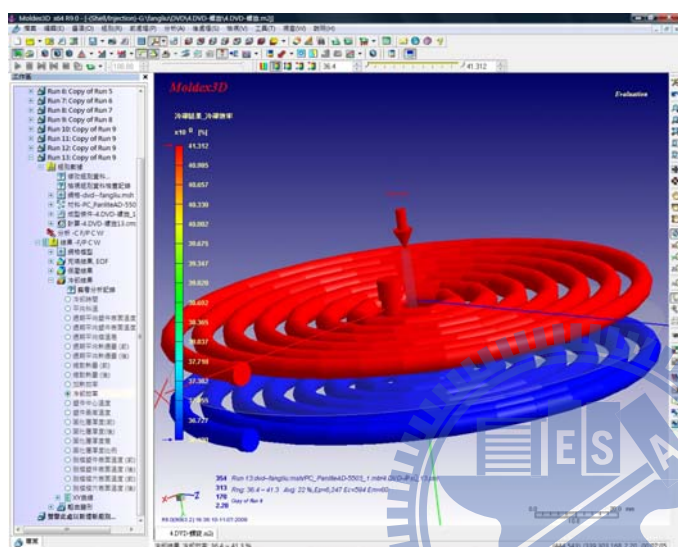


圖 5.7 水路冷卻效率分析

5.3 翹曲分析：

在翹曲分析中，如圖 5.8，軟體可利用圖形偏位量，顯示出其分析之翹曲值，也同時利用顏色的分佈表出其翹曲量的差異程度。

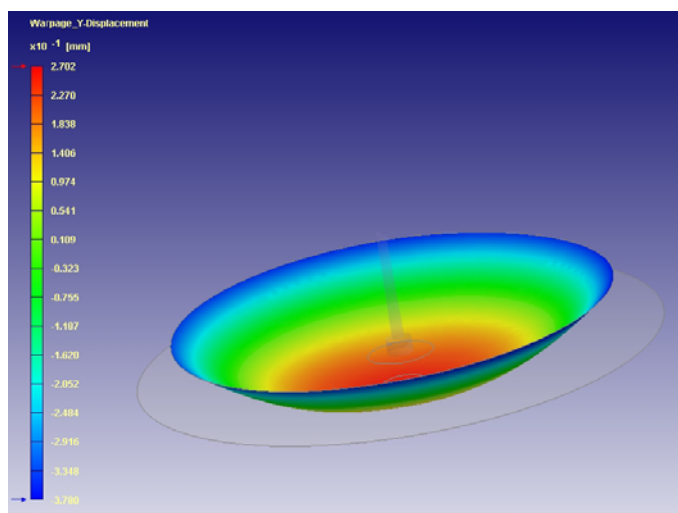


圖 5.8 模流之翹曲分析

5.2 上機實驗翹曲測試方法：

1. 實作上機實驗翹曲測試：

利用測試機台，如圖 5.9 所示，用手輕輕將碟片放置在圖中手所放置之位置上，碟片之堆疊環向下擺放好，將上蓋蓋上，碟片開始進行測試，而以碟片中心為原點，測試機之雷射光線開始掃描碟片之資料區，而碟片之資料區，如圖 5.10 所示，為半徑 23mm 到 58mm 的位置，而碟片之翹曲又可分為向上偏位和向下偏位，碟片會依射出離模後本身所殘留之應力、收縮率而所到向上偏位或向下偏位之翹曲，而向上偏位之翹曲定義為正值，而向下偏位所測定之值為負值。



圖 5.9 實際測試機台

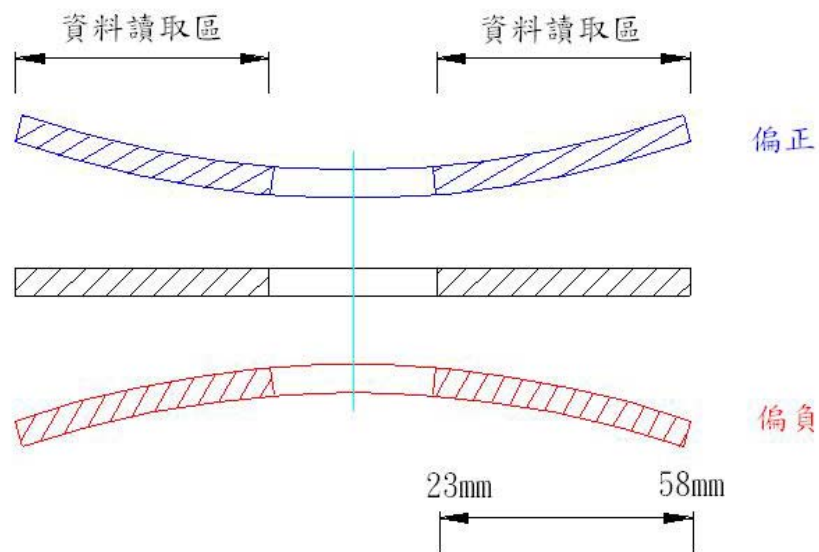


圖 5.10 碟片翹曲偏位方向

2. 電腦模擬翹曲分析：

如圖 5.8 所示，翹曲值為電腦進行環境、參數等之組合分析之後，計算出其翹曲之偏位值，而同時也利用顏色之差異度，表示出碟片之偏位翹曲量。而因為在實作測試中，雷射光線只做 Y 方向之上下翹曲值，所以在模擬分析中，我們主要進行其 Y 方向之翹曲偏位值，將其最大值和最小值之相差差異值為其翹曲值。而同時電腦模擬之翹曲值也有向上偏位和向下偏位之差異性，向上偏位之翹曲定義為正值，而向下偏位所測定之值為負值。

5.3 實驗成果

本論文之研究內容主要在針對薄殼光碟之模具改良設計與製程最佳化分析。然而，在研究之初步，先試著比較其光碟片之實際上線實驗和電腦模擬實驗之趨勢性。實驗中分成了兩個步驟：第一個步驟先進行了修改模具溫度的實驗，再進行模具水路的電腦 3D 繪製，進行電腦模流分析，比較出實際上機實驗和電腦模擬之數值差異性。第二個步驟即利用修改 cycle time 的方法控制的光碟片冷卻時間長短，觀查其薄殼光碟之翹曲變化。在此兩次實驗中，我們同時進行了電腦模擬分析實驗和實際上機實驗，比較其兩方之翹曲變化趨勢為何，從中找尋電腦模擬結果是否和實際上機結果趨勢相同，增進模擬得帶來之可信度和分析效果，進而降低實際實驗所花費的工時和成本。

5.3.1 修改模具溫度實驗

1. 活動側模溫固定，固定側模溫漸升：

在前五組的實驗組別中，如表5.1，先將活動側的溫度固定在123°C，而固定側模溫以漸升2°C來做比較，從一開始的第一組為M/F=123/119，第二組為M/F=123/121、第三組為M/F=123/123、第四組為M/F=123/125，到最後第五組為M/F=123/127，觀查其實驗碟片在測量完成後，其翹曲變化為何，再和模流分析之翹曲結果做比較。

表 5.1 活動側模溫固定，固定側模溫漸升

組別 \ 模溫(°C)	活動側	固定側
1	123	119
2		121
3		123
4		125
5		127

2. 固定側模溫固定，活動側模溫漸升：

和前一次實驗不同處只為其固定側和活動側交換，如表5.2，此次組別改為固定側模溫固定，而其活動側之模具溫度變化皆相同，在前五組的實驗組別中，一樣將固定側的溫度固定在123°C，而活動側模溫以漸升2°C來做比較，第一組為M/F=119/123，第二組為M/F=121/123、第三組為M/F=123/123、第四組為M/F=125/123，到最後第五組為M/F=127/123，同樣是觀查其實驗碟片之翹曲變化為何，再和模流分析之翹曲結果做比較。

表 5.2 固定側模溫固定，活動側模溫漸升

組別 \ 模溫(°C)	活動側	固定側
1	119	123
2	121	
3	123	
4	125	
5	127	

結果翹曲分析：

1. 上機實驗翹曲：

1. 活動側模溫固定，固定側模溫漸升：

如表5.3中，利用測試機台，測試出各組實驗碟片之各半徑之翹曲值，而也同時利用所測出之翹曲值繪製出比較圖，如圖5.11，比較出各小組數據間之差異。

表5.3 精密射出成形光碟片的翹曲量測值的比較

碟片半徑 組別 mm	23	36	43	58
1	-0.2922	-0.2554	-0.339	-0.3424
2	-0.2266	-0.1362	-0.1694	-0.2576
3	-0.1096	0.0162	0.0088	-0.1106
4	-0.0364	0.1816	0.2354	0.272
5	0.0638	0.3288	0.4072	0.4378

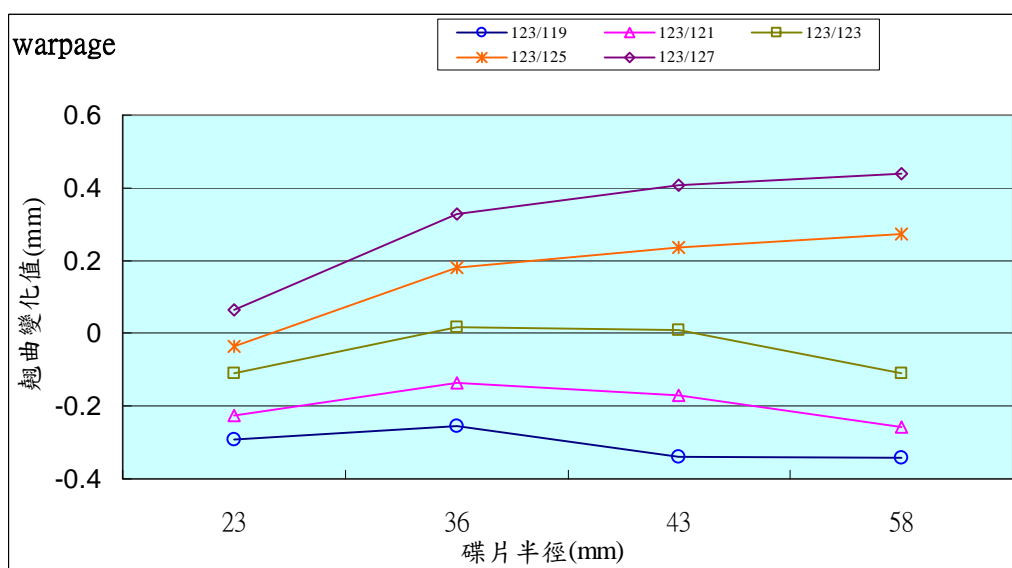


圖5.11 第一次實驗之各組翹曲測量結果比

2. 固定側模溫固定，活動側模溫漸升：

如表5.4中，同樣手法利用測試機台，測試出各組實驗碟片之各半徑之翹曲值，再利用所測出之翹曲值繪製出比較圖，如圖5.12，比較出各小組數據間之差異。

表5.4 精密射出成形光碟片的翹曲量測值的比較

碟片半徑 組別 mm	23	36	43	58
1	0.1004	0.2472	0.307	0.3244
2	0.0014	0.1536	0.182	0.2202
3	-0.1096	0.0162	0.0088	-0.1106
4	-0.1772	-0.061	-0.1264	-0.2156
5	-0.2792	-0.189	-0.2952	-0.3082

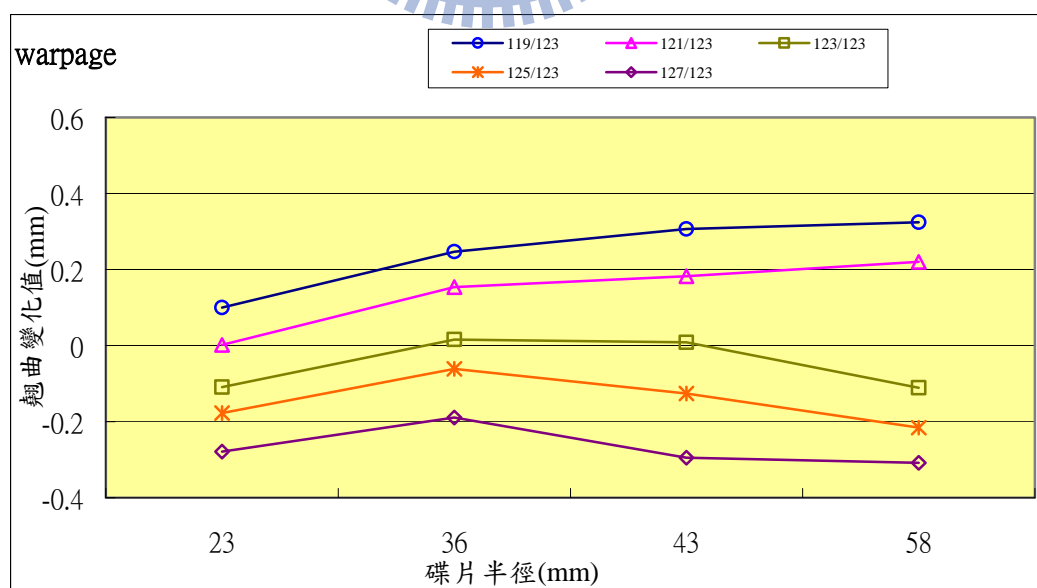


圖5.12 第二次實驗之各組翹曲測量結果比較

3. 模流分析翹曲：

1. 活動側模溫固定，固定側模溫漸升：

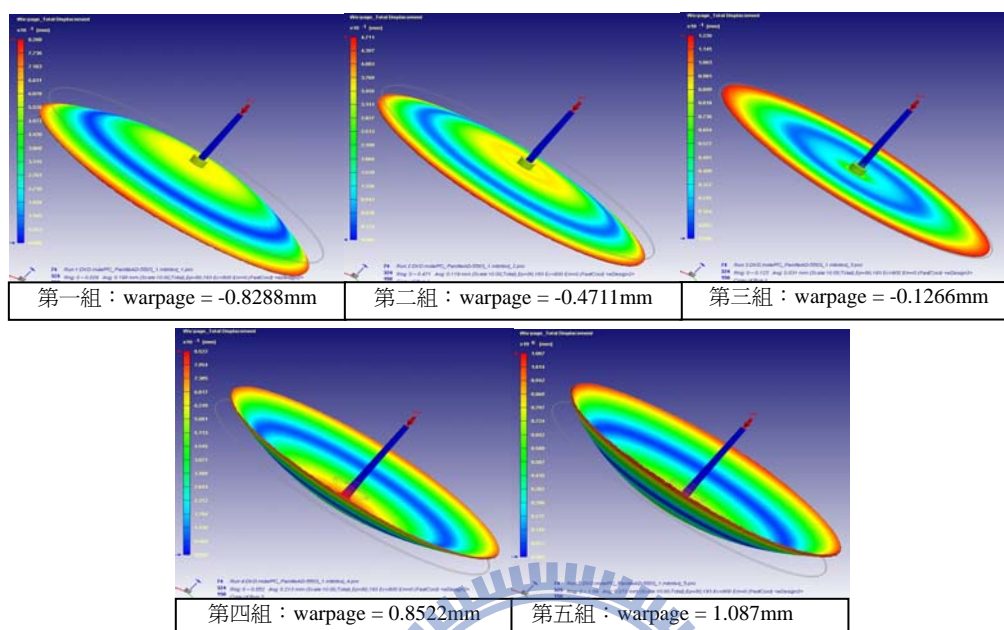


圖5.13 第一次實驗電腦模擬

2. 固定側模溫固定，活動側模溫漸升：

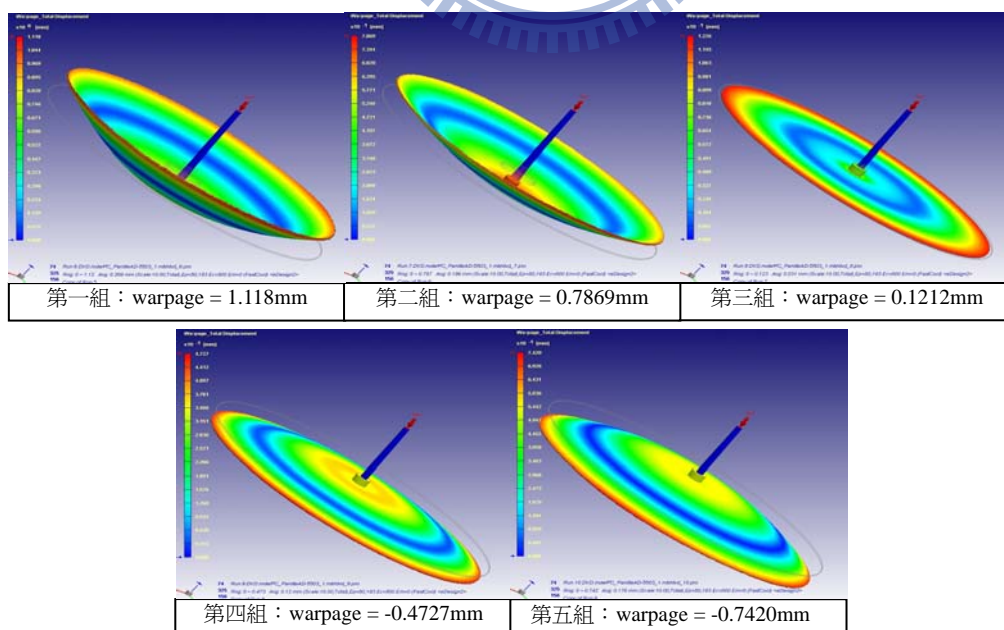


圖5.14 第二次實驗電腦模擬

4. 翹曲數值比較：

1. 活動側模溫固定，固定側模溫漸升：

組別 結果	A1	A2	A3	A4	A5
活動側	123				
固定側	119	121	123	125	127
上機實驗	-0.342	-0.258	-0.111	0.272	0.438
電腦模擬	-0.8288	-0.4711	-0.1266	0.8522	1.087

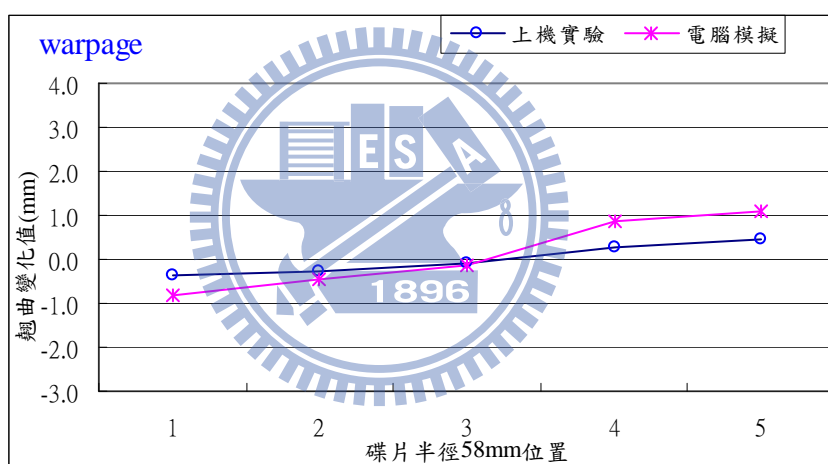


圖5.15 第一次實驗上機實驗和電腦模擬

在第一次實驗的結果，如圖 5.15，可以比較出上機實驗和電腦模擬的差異性，從第一組到第五組，其翹曲變化的趨勢是一樣的，數值是由負轉正值，到了第四組之後，其數值皆為正值，且在第一組實驗時，其碟片外圈為向下偏移，到第三組以後則反向翹曲成為向上偏移。在此實驗數據可觀查的出，當活動側模具溫度固定，而固定側模具溫度漸升的情形下，其碟片的外圈會漸漸的由下向上偏移，而其數據也會因此由負轉為正值。

2. 固定側模溫固定，活動側模溫漸升：

組別 結果	A1	A2	A3	A4	A5
活動側	119	121	123	125	127
固定側	123				
上機實驗	0.324	0.220	-0.111	-0.213	-0.308
電腦模擬	1.118	0.7869	0.121	-0.473	-0.742

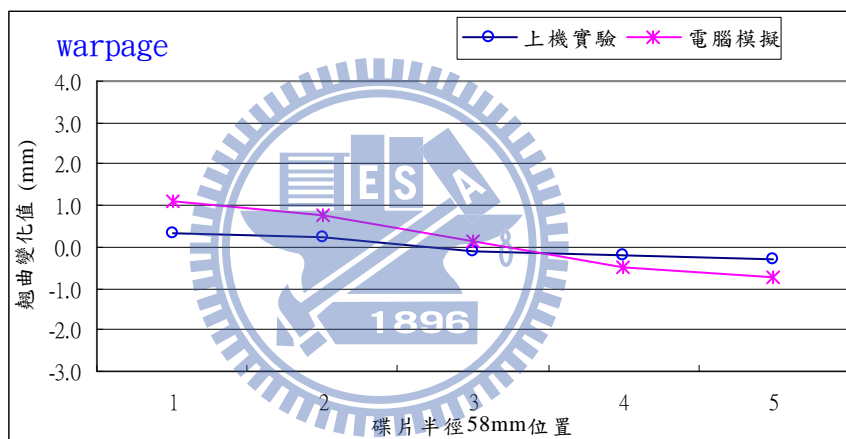


圖5.16 第二次實驗上機實驗和電腦模擬

而在第二次的實驗結果中，如圖 5.16，跟第一次的實驗結果是完全相反，從第一組到第五組，不管是上機實驗或是電腦模擬，其翹曲的數值是由正轉負值；在第一組實驗時，其碟片外圈本來為向上偏移，到第三或四組以後皆翹曲為向下偏移。在此實驗數據可觀查的出，當固定側模具溫度固定，而活動側模具溫度漸升的情形下，其碟片的外圈會漸漸的由上向下偏移，而其數據也會因此由正轉為負值。

5.3.2 修改 Cycle time 實驗

1. 固定參數：

實驗中所固定的參數，如圖 5.17、5.18、5.19、5.20，為螺桿位置、射出速度、保壓壓力、保壓時間、料溫、模溫、水路溫度，而電腦模擬實驗和實際上機實驗都依此固定之參數去進行實驗。

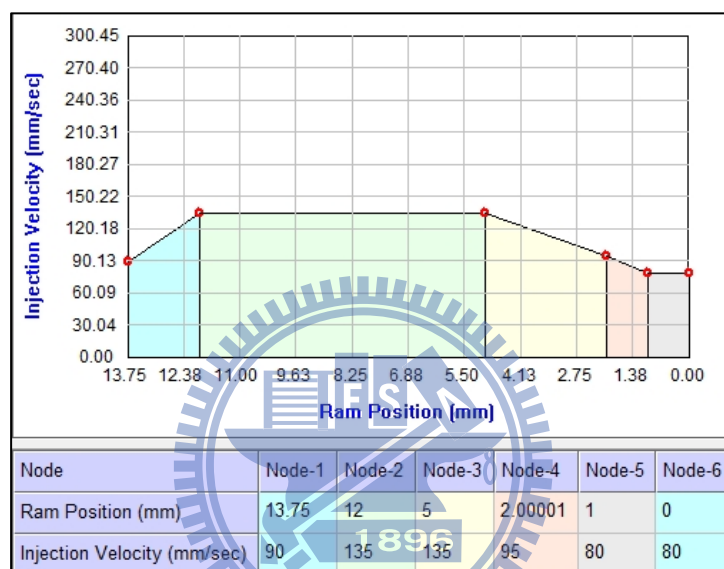


圖 5.17 螺桿位置、射出速度

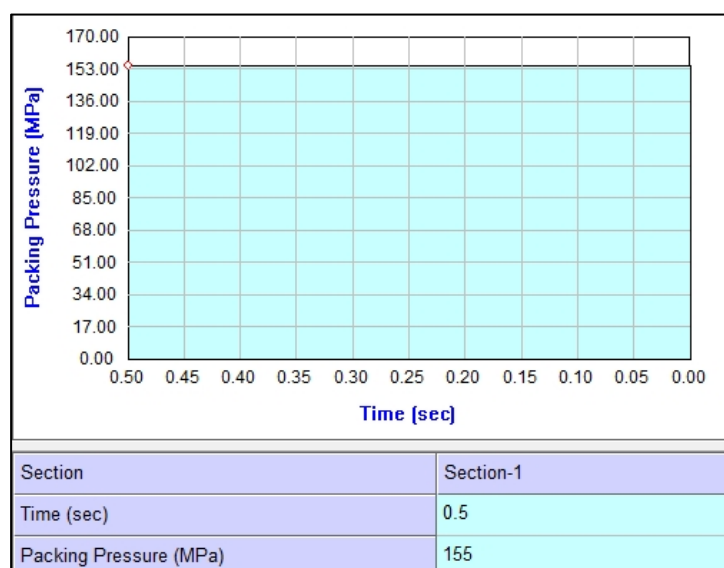


圖 5.18 保壓時間、保壓壓力

Melt Temperature	315	oC
Mold Temperature	122	oC

圖 5.19 料溫、模溫

Cooling channel			
Channel ID	T (oC)	Q (cm^3/sec)	Matter
1 (Group 1)	122	120	Water
2 (Group 1)	122	120	Water
3 (Group 1)	122	120	Water
4 (Group 1)	122	120	Water

圖 5.20 水路溫度

1. 改變參數：Cooling time → Cycle time：

在此次之實驗中，所改變之參數為 cycle time，共有四組之比較組，分別是 5.01sec、6.01sec、7.01sec、8.01sec，如圖 5.21 所示為此次實驗之設定比較組，在改 cooling time 之後，cycle time 隨之改變，由經過實際上機實驗和電腦模擬分析其實驗結果。

① 5.01 sec :

Item	Value	Unit
Air Temperature	25	oC
Eject Temperature	140	oC
Cooling Time	4.4	sec
Mold-Open Time	0.35	sec

[Cooling]	
Cooling Time (sec)	4.4
Mold-Open Time (sec)	0.35
Eject Temperature (oC)	140
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	5.0176
Mesh file	aa-4.msh
Material file	PC_PanliteAD-5503_1.mtr
Machine	SUMITOMO - SD30

② 6.01 sec :

Item	Value	Unit
Air Temperature	25	oC
Eject Temperature	140	oC
Cooling Time	5.4	sec
Mold-Open Time	0.35	sec

[Cooling]	
Cooling Time (sec)	5.4
Mold-Open Time (sec)	0.35
Eject Temperature (oC)	140
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	6.0176
Mesh file	aa-4.msh
Material file	PC_PanliteAD-5503_1.mtr
Machine	SUMITOMO - SD30

③ 7.0 sec :

Item	Value	Unit
Air Temperature	25	oC
Eject Temperature	140	oC
Cooling Time	6.4	sec
Mold-Open Time	0.35	sec

[Cooling]	
Cooling Time (sec)	6.4
Mold-Open Time (sec)	0.35
Eject Temperature (oC)	140
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	7.0176
Mesh file	aa-4.msh
Material file	PC_PanliteAD-5503_1.mtr
Machine	SUMITOMO - SD30

④ 8.0 sec :

Item	Value	Unit
Air Temperature	25	oC
Eject Temperature	140	oC
Cooling Time	7.4	sec
Mold-Open Time	0.35	sec

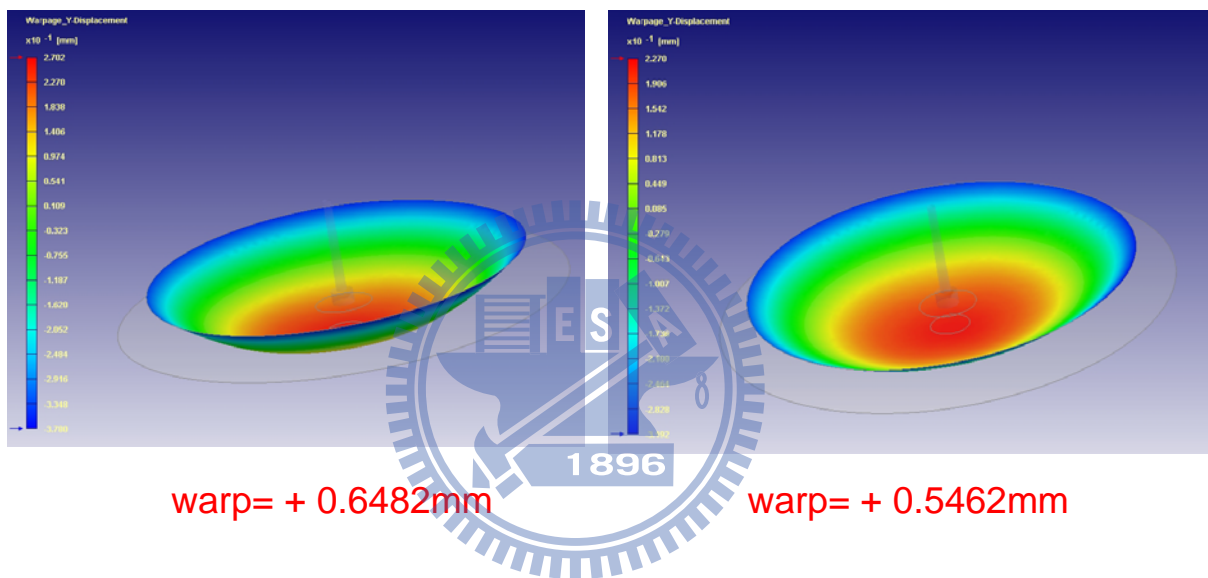
[Cooling]	
Cooling Time (sec)	7.4
Mold-Open Time (sec)	0.35
Eject Temperature (oC)	140
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	8.0176
Mesh file	aa-4.msh
Material file	PC_PanliteAD-5503_1.mtr
Machine	SUMITOMO - SD30

圖 5.21 實驗組各 cycle time 之設定表

電腦模擬分析翹曲值：

如圖 5.22，分別的顯示出各 cycle time 之模擬分析之翹曲值，從圖和數據可以看出，當 cycle time 越長的話，其翹曲值有越小的情形，而此實驗也將進行實際上機實驗，再做比較。

① 5.0 sec : ② 6.0 sec :



③ 7.0 sec : ④ 8.0 sec :

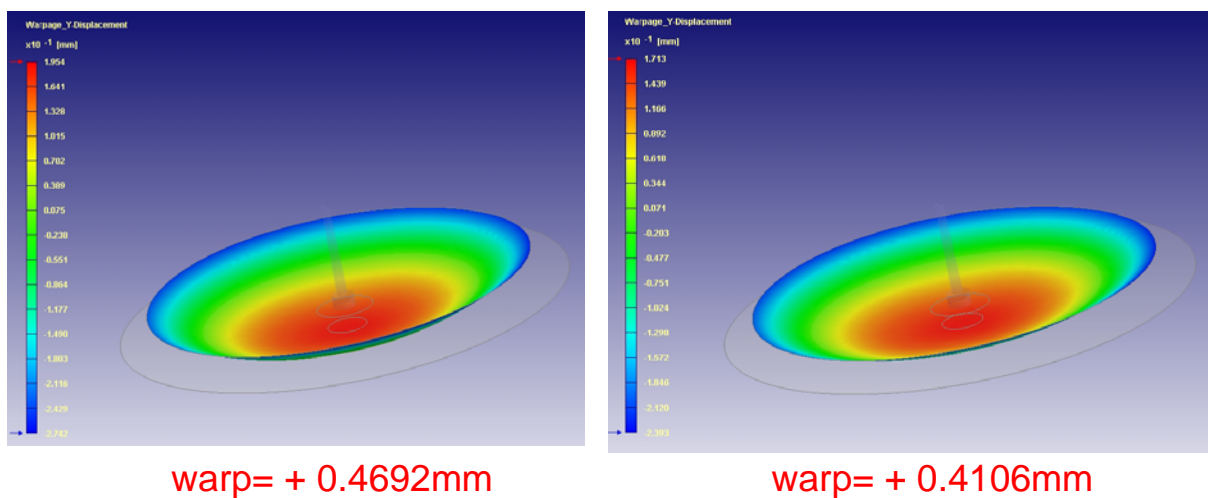


圖 5.22 電腦模擬之翹曲分析圖

而在實際上線實驗中，由射出機射出實驗碟片之後，我們在冷卻盤收取三片至四片之碟片，至測試機台進行翹曲值測量，再將所測量值分別的平均，取其最後平均值整理在表格中，如表 5.5，再將電腦模擬結果和實際上機實驗之翹曲值做比較，再繪製出其比較圖，如圖 5.23。

表 5.5 線上實驗和電腦模擬的翹曲值比較表

	5.0sec	6.0sec	7.0sec	8.0sec
上線實驗	0.8295	0.6620	0.6598	0.5128
電腦模擬	0.6482	0.5462	0.4692	0.4106

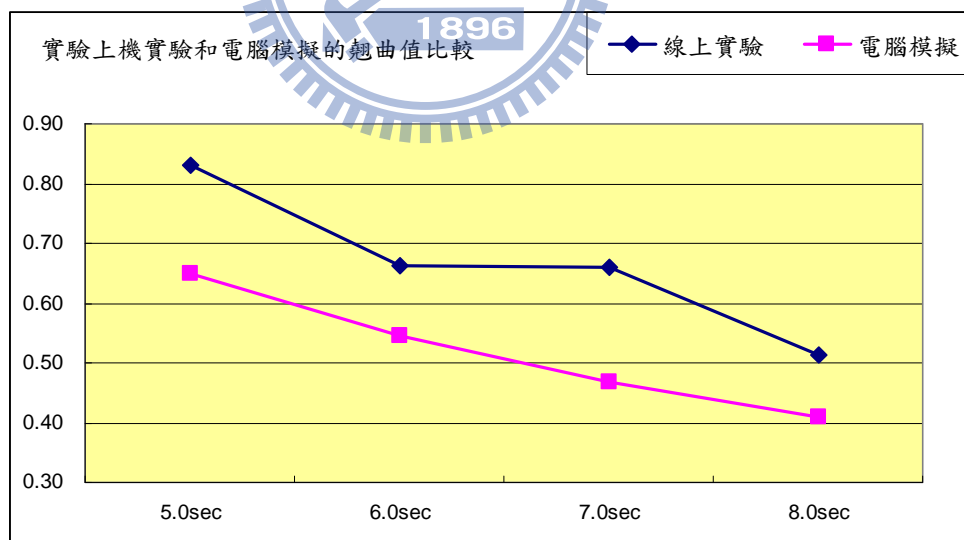


圖 5.23 圖表上機實驗和電腦模擬的翹曲值比較圖

本論文之初步實驗內容是先進行實際上機實驗和電腦模擬結果作趨勢之比較，第一步實驗是利用射出模流結果配合實際修改機台模具溫度做比較，觀查其碟片在不同溫度時所呈現的變化關係，且和模流分析的結果是否相同，而第二步實驗是改變 Cycle time，再同樣進行實驗上機翹曲量測和電腦模擬翹曲分析，將結果做比較，找出其趨勢性，以期能找出更好的製程參數，改善高轉速光碟記錄媒體在生產過程中所遇到的問題，且對參與之人員，在研究中得以學習到相關模流分析軟體之應用，以期在未來針對薄殼件之射出產品，有更精確的研究。

實驗結論如下：

1. 在第一組電腦模擬分析中，其結果也可以看得出來，其趨勢和上機實驗是相同的，當我們在電腦裡輸入活動側模溫固定，而固定側模具溫度漸升的情形下，其碟片的外圈會由下向上偏移，而其數據也會因此由負轉為正值。而當輸入固定側模溫固定，而活動側模具溫度漸升的情形下，其碟片的外圈會由上向下偏移，而其數據也會因此由正轉為負值。
2. 而同樣在第二組實驗中，也可以得到相同之趨勢圖，在實際上機實驗中，cycle time 越高，其翹曲值越好，而在電腦模擬分析中，也得到相同的，cycle time 越高，其翹曲值越好，兩者皆有同樣之趨勢性。

3. 在初步之實際上機實驗和電腦模擬實驗比較中，執行了以上的兩組的比較實驗，而在此兩組實驗的結果中發現，不管是改變模溫或是改變 cycle time，其電腦模擬和實際上機實驗之結果，其趨勢是相同的，只在於數據上有些許的差異。由此兩次之比較實驗足以看出對於實際上機，電腦模擬有其一定程度上的可信度和分析效果。
4. 由實驗中另外可看出，當碟片兩邊的模溫不同時，模溫較高的碟片表面所吸附的熱量較多，而此時將模具打開，使碟片兩邊表面同時接觸室溫，則結果是模溫高的表面，也就是吸附熱量較多的碟片表面，其應力大，翹曲變化量大。而且，將兩邊模溫的溫差值越大，其應力越大，翹曲變化量也越大。
5. 對於此次的研究內容中，可以比較出在實際上機實驗和電腦模擬的結果，其數值的異差性，對於射出工程方面和模流分析之學術研究，是有很大的助益的，日後在進行另一研究實驗時，更能利用模流分析作出正確之模擬分析，以減少不必要之時間和金錢上的花費。

六、製程最佳化分析內容

以光碟片的翹曲而言，其水路的冷卻是影響最重要的因素，也因此，水路的設計，即是能夠改良光碟片翹曲的最重要因子[15]，而本論文也針對水路方面的問題，設計多組得以改善光碟片翹曲之水路，也進行一系列之水路搭配之分析實驗，希望得以徹底改善光碟片之翹曲問題，進而增進光碟之生產效率。

以模具而言，有分為固定側水路和活動側水路，在實驗中將先分為固定側和活動側同水路設計，進行各組水路設計實驗分析，再分析固定側和活動側以不同水路搭配下，所得之翹曲結果，分析何者之分析翹曲結果，能得到最佳之生產效能。

6.1 固定側和活動側同水路分析實驗：

實驗規劃：

在同水路分析實驗的步驟規劃分為兩個依序步驟，在第一步驟中先行分析在不同直徑之水路中，包括為單水路、雙水路和內雙外單之各水路中何者之翹曲值為最小值，再由最小翹曲值之水路再進行第二步驟之不同深度比較分析，找尋出在不同深度時之最小翹曲值。

6.1.1 不同直徑比較：

1. 單水路：

1.6 水路—直徑：5mm。

2. 6 水路—直徑：4mm。

3. 6 水路—直徑：5 → 4 mm。

4. 6 水路—直徑：4 → 3 mm。

5. 6 水路—直徑 5 mm，不同繞法。

2. 雙水路：

1. 6 水路—直徑：4mm，繞法 1。

2. 6 水路—直徑：5mm，繞法 1。

3. 6 水路—直徑：4mm，繞法 2。

4. 6 水路—直徑：5mm，繞法 2。

3. 內雙外單：

1. 5 水路—內 4 圈雙水路

：深度：8mm，直徑：4mm。
外 1 圈單水路

2. 5 水路—內 4 圈雙水路：深度：8mm，直徑：4mm。

外 1 圈單水路：深度：4mm，直徑：4mm。

6.1.2 不同深度比較：

1. 水路深度為 4mm。

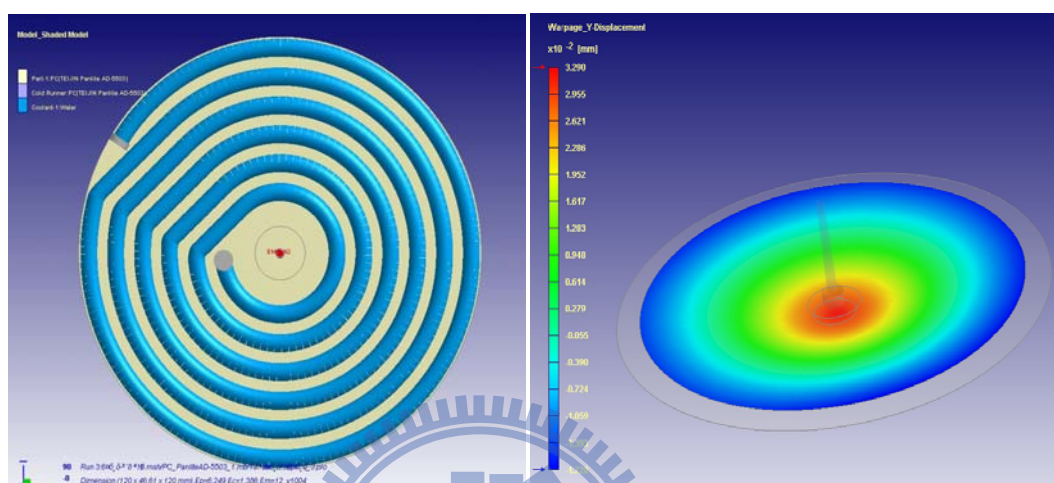
2. 水路深度為 6mm。

3. 水路深度為 8mm。

一、不同直徑比較：

1. 單水路：

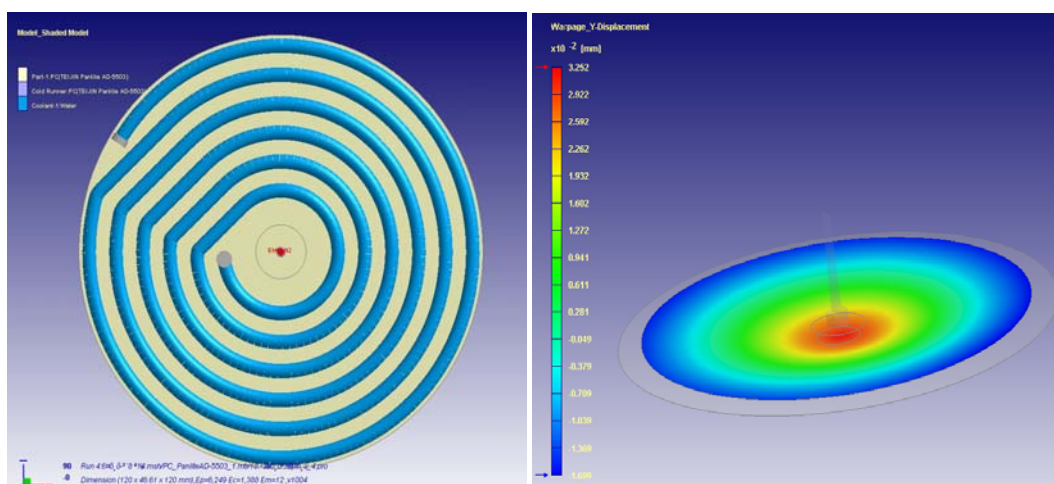
1. 6 水路一直徑：5mm：如圖 6.1，左圖中可知此種水路為 6 水路之設計，而水路直徑為 5mm，右圖為模擬分析翹曲偏移圖。



Warp=+0.05018mm

圖 6.1 單水路第一組水路之水路圖、翹曲圖

2. 6 水路一直徑：4mm：如圖 6.2，左圖中，此種水路同樣為 6 水路之設計，而水路直徑改為 4mm，想觀查直徑對翹曲之影響。

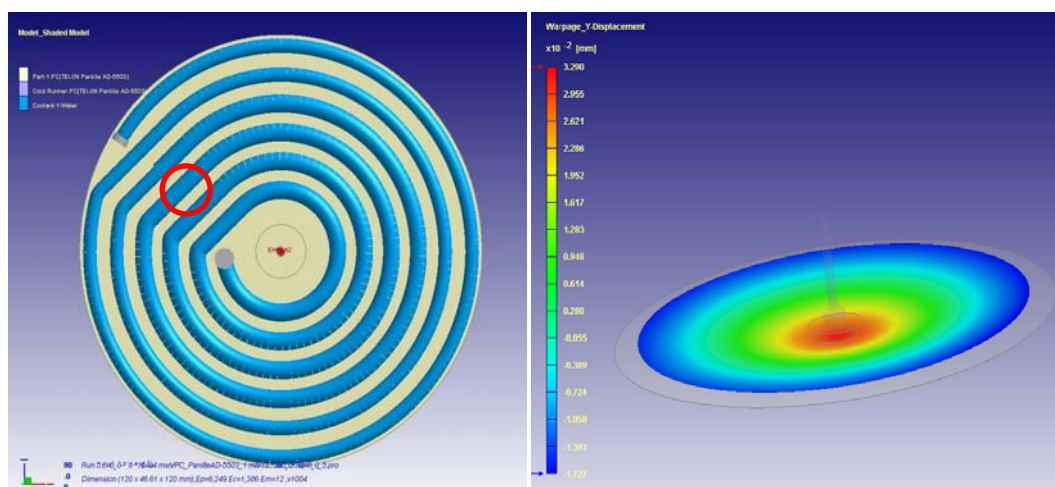


Warp=+0.04951mm

圖 6.2 單水路第二組水路之水路圖、翹曲圖

3. 6 水路—直徑：5 \rightarrow 4 mm，如圖 6.3，此種水路同樣為 6 水路，但直徑

從 5mm 到外圈變為 4mm，以觀查直徑變化對翹值的影響。

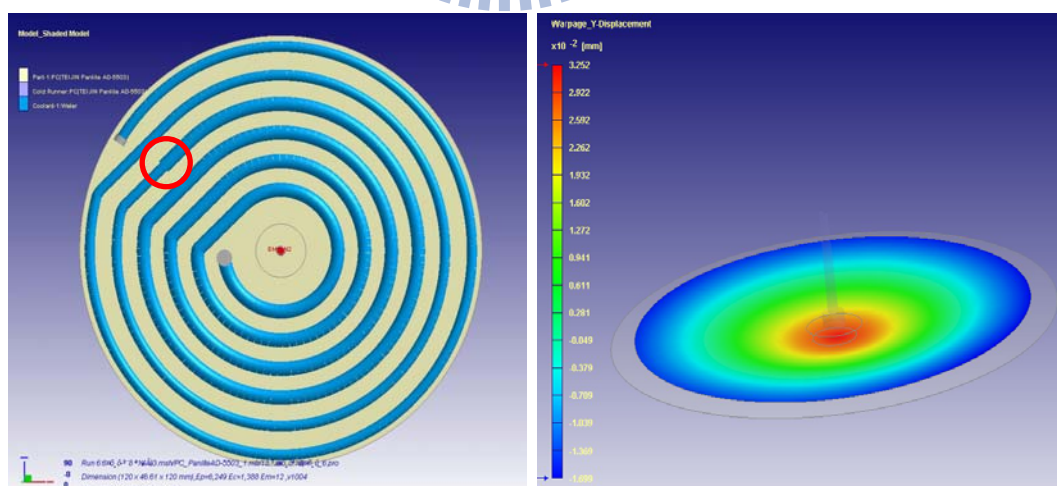


Warp=+0.05017mm

圖 6.3 單水路第三組水路之水路圖、翹曲圖

4. 6 水路—直徑：4 \rightarrow 3 mm：如圖 6.4，水路設計同上，但直徑從 4mm

到外圈變為 3mm，同樣觀查翹曲值之變化。



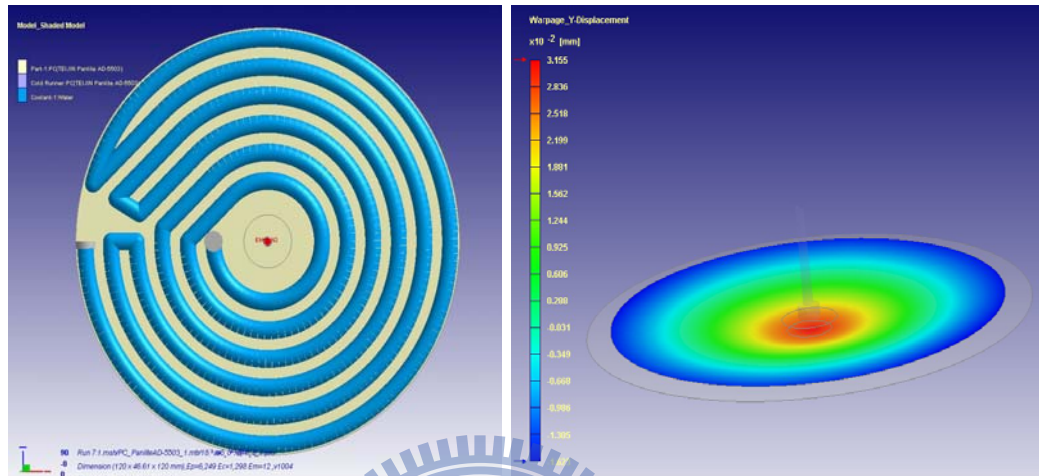
Warp=+0.04951mm

圖 6.4 單水路第四組水路之水路圖、翹曲圖

5. 6 水路一直徑 5 mm，不同繞法。如圖 6.5，此水路同樣 6 水路之設計，

但不同於流道中設計了多層不同方向之繞法，以

觀查流道在不同繞法下對翹曲值之影響。



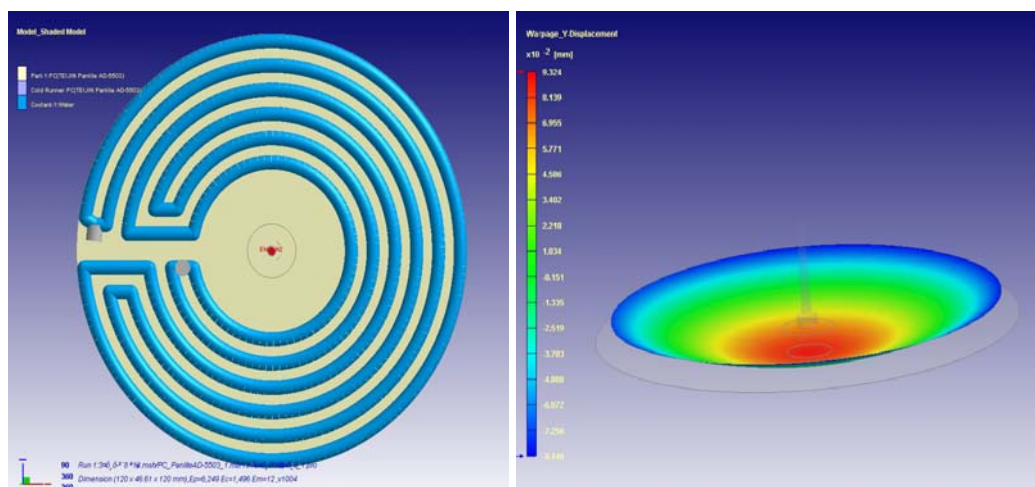
Warp=+0.04778mm

圖 6.5 單水路第五組水路之水路圖、翹曲圖

2. 雙水路：

1. 6 水路一直徑：4mm，繞法 1：如圖 6.6，此種水路為雙進雙出之 6 水

路，且直徑為 4mm，此繞法有反向回流之設計，為繞法 1。

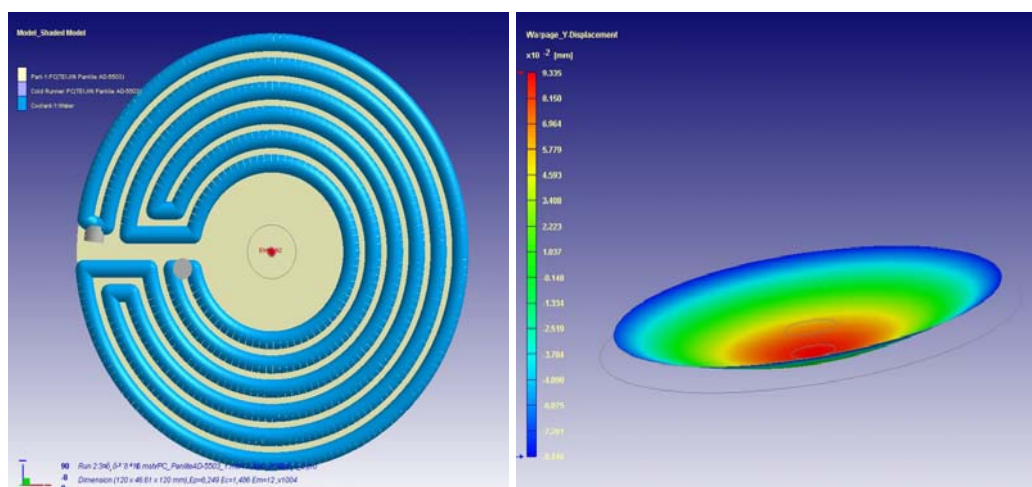


Warp=+0.17764mm

圖 6.6 雙水路第一組水路之水路圖、翹曲圖

2. 6 水路一直徑：5mm，繞法 1。如圖 6.7，同樣為雙進雙出之 6 水路設

計，但改直徑為 5mm，同樣為繞法 1 之流道。



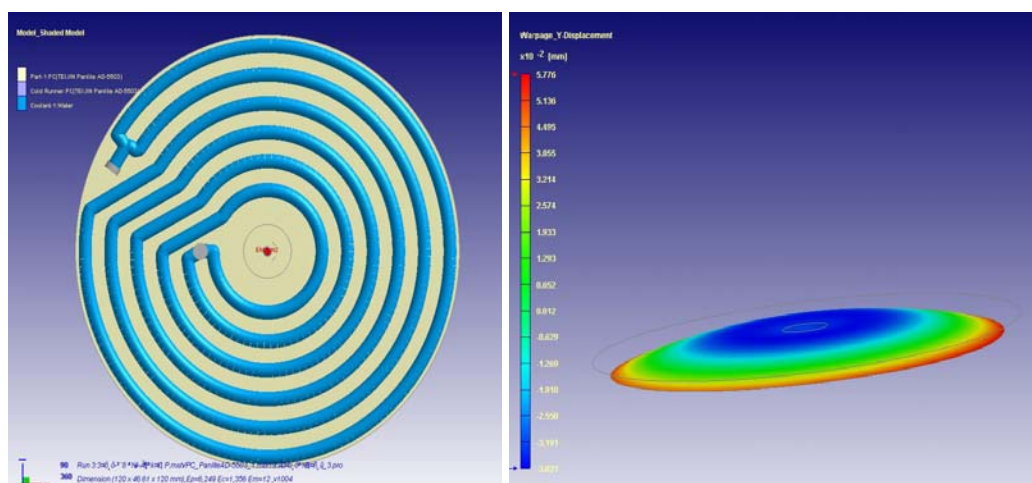
Warp=+0.17781mm

圖 6.7 雙水路第二組水路之水路圖、翹曲圖

3.6 水路一直徑：4mm，繞法 2：如圖 6.8，此種水路同樣為雙進雙出之 6

水路設計，直徑為 4mm，不同為此繞法為流道過

程中皆為順流，無反向流動，設為繞法 2。



Warp=-0.09607mm

圖 6.8 雙水路第三組水路之水路圖、翹曲圖

4. 6 水路一直徑：5mm，繞法 2：如圖 6.9，此種水路同樣為雙進雙出之 6

水路設計，直徑為 5mm，且同樣為繞法 2 之水

路設計，而右側為模擬分析之翹曲值。

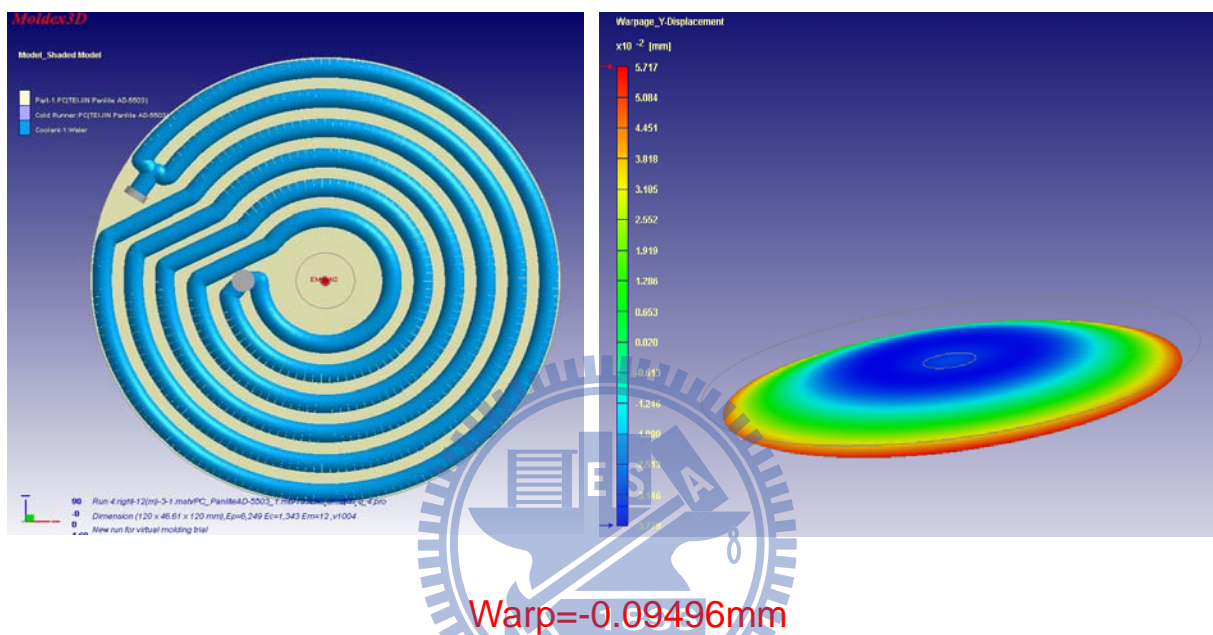


圖 6.9 雙水路第四組水路之水路圖、翹曲圖

3. 內雙外單：

1. 5 水路—內 4 圈雙水路
外 1 圈單水路：深度：8mm，直徑：4mm。

如下圖 6.10，為此組水路之水路設計圖，此種水路為內雙外單之 5 水路設計，直徑為 4mm，利用此種水路設計，查看其雙水路和單水路之排列，對於翹曲值之影響差異度，而下側為電腦模擬分析之翹曲值之偏移分析圖。

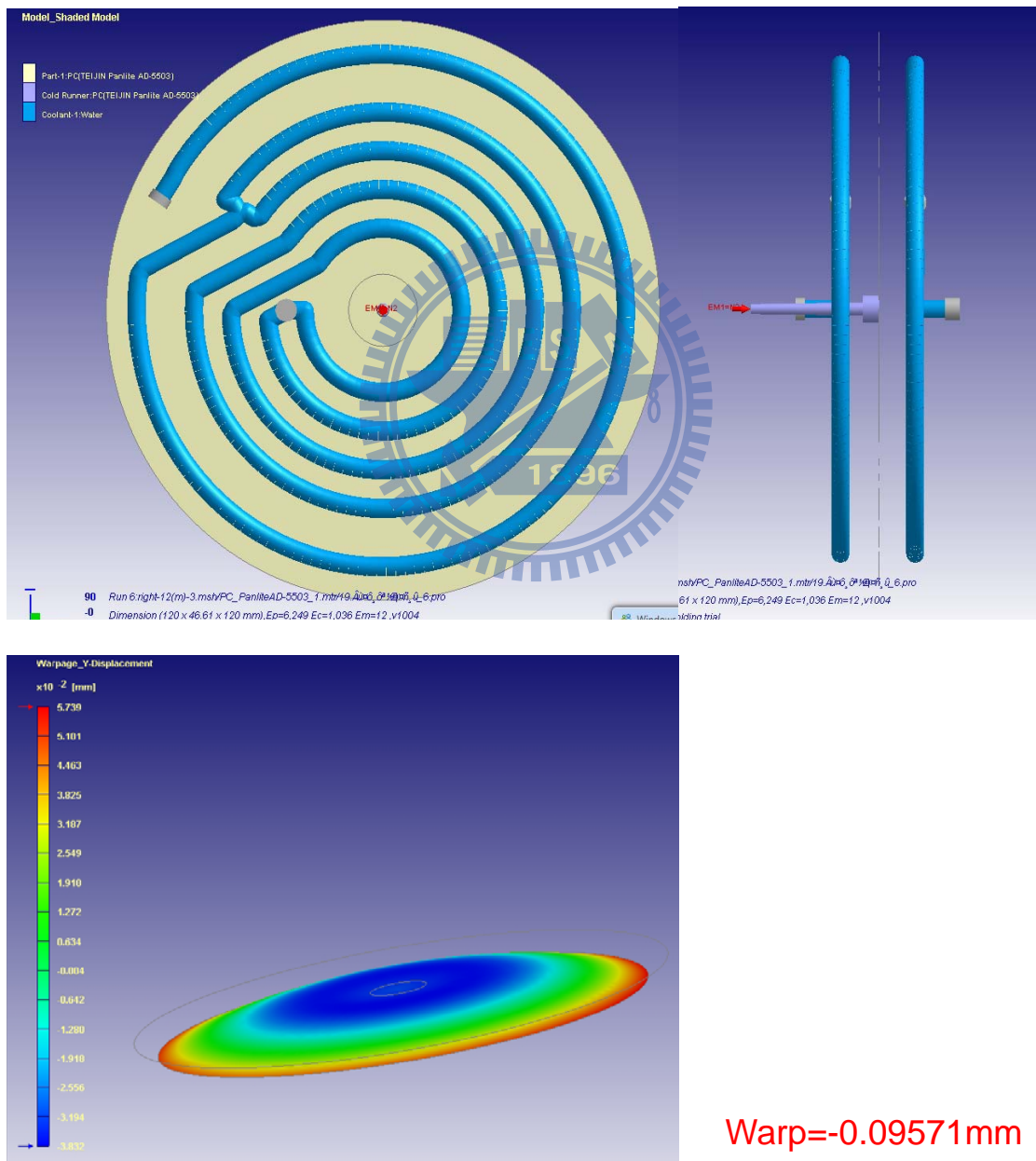


圖 6.10 內雙外單水路第一組水路之水路圖、翹曲圖

2. 5 水路—內 4 圈雙水路：深度：8mm，直徑：4mm。
外 1 圈單水路：深度：4mm，直徑：4mm。

如下圖 50，為此組水路之水路設計圖，此種水路同樣為內雙外單之 5 水路設計，直徑為 4mm，不同在於內 4 圈之水路深度為 8mm，而外 1 圈之水路深度為 4mm，藉此查看水路深度對於翹曲值之影響，而下側為電腦模擬分析之翹曲值之偏移分析圖。

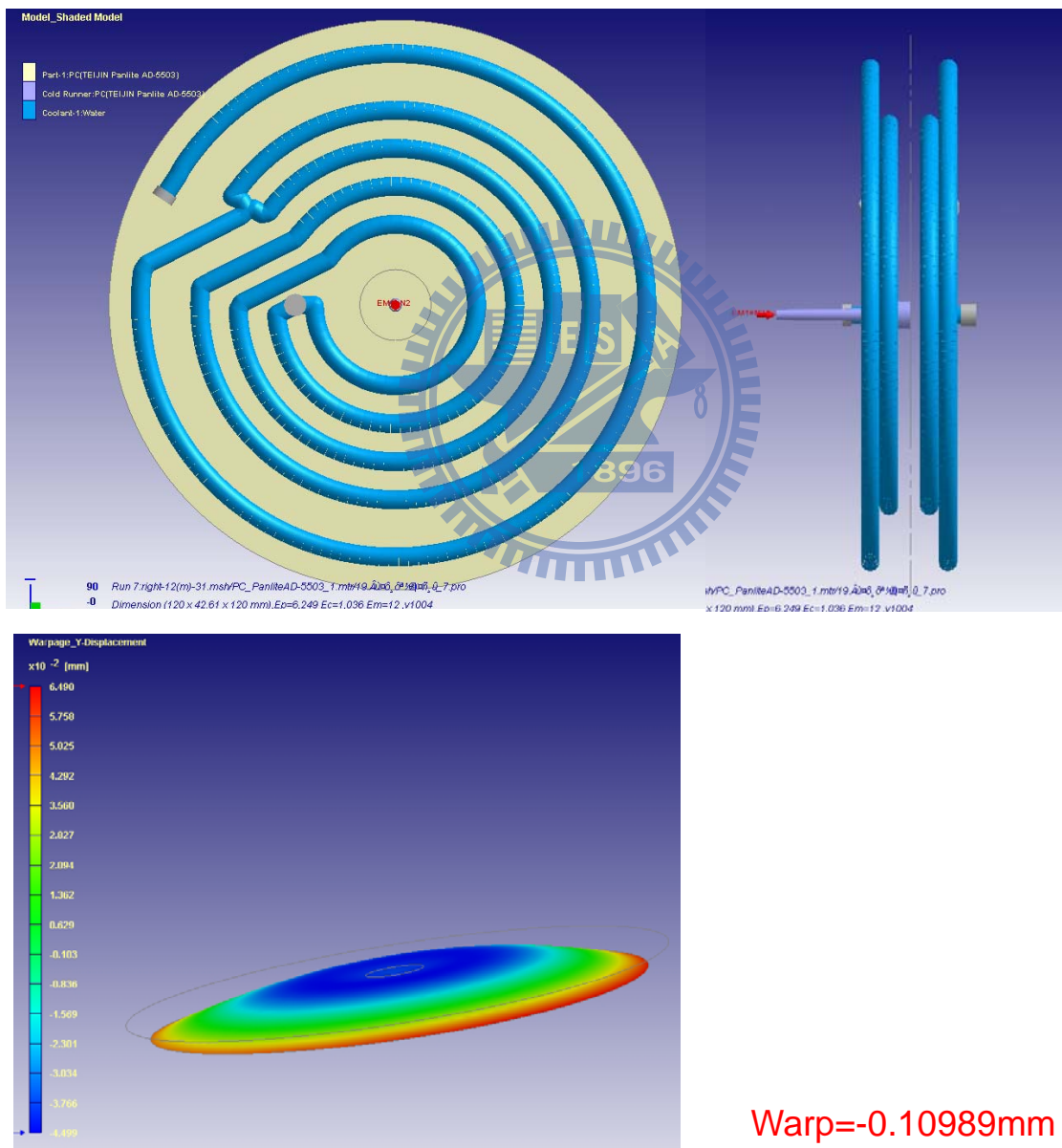


圖 6.11 內雙外單水路第二組水路之水路圖、翹曲圖

表 6.1 固定側、活動側同水路模擬分析翹曲值總整理表

水 路 形 式		翹 曲 值
單 水 路	6 水路—直徑：5mm。	+ 0.05018mm
	6 水路—直徑：4mm。	+ 0.04951mm
	6 水路—直徑：5 → 4mm。	+ 0.05017mm
	6 水路—直徑：4 → 3mm。	+ 0.04951mm
	6 水路—直徑 5 mm，不同繞法。	+ 0.04778mm
雙 水 路	6 水路—直徑：4mm，繞法 1。	+ 0.17764mm
	6 水路—直徑：5mm，繞法 1。	+ 0.17781mm
	6 水路—直徑：4mm，繞法 2。	- 0.09607mm
	6 水路—直徑：5mm，繞法 2。	- 0.09496mm
內 雙 外 單	5 水路—內 4 圈雙水路：深度：8mm，直徑： 外 1 圈單水路	- 0.09571mm
	5 水路—內 4 圈雙水路：深度：8mm，直徑：4mm。 外 1 圈單水路：深度：4mm，直徑：4mm。	- 0.10989mm

由表 6.1 中可知道，以上幾組固定側、活動側同水路之模擬分析實驗，最佳翹曲值為單水路—6 水路—直徑 5 mm，不同繞法，其翹曲值為：
+ 0.04778mm，接下來利用此組水路，實驗改變水路深度之後，對於翹曲值的影響，期望能藉由改變深度，得到比 +0.04778mm 更好的翹曲值。之後再進行縮短 cycle time 實驗，增加機台之生產效率。

6.1.2 · 不同深度比較：

在找尋出較好之水路設計之後，調整其水路深度，而接下之此實驗中，繼續利用不同深度設計，再找出更好之翹曲值，而圖 6.12、6.13、6.14 為水路之繪製圖和其翹曲結果分析圖。

1. 水路深度為 4mm。

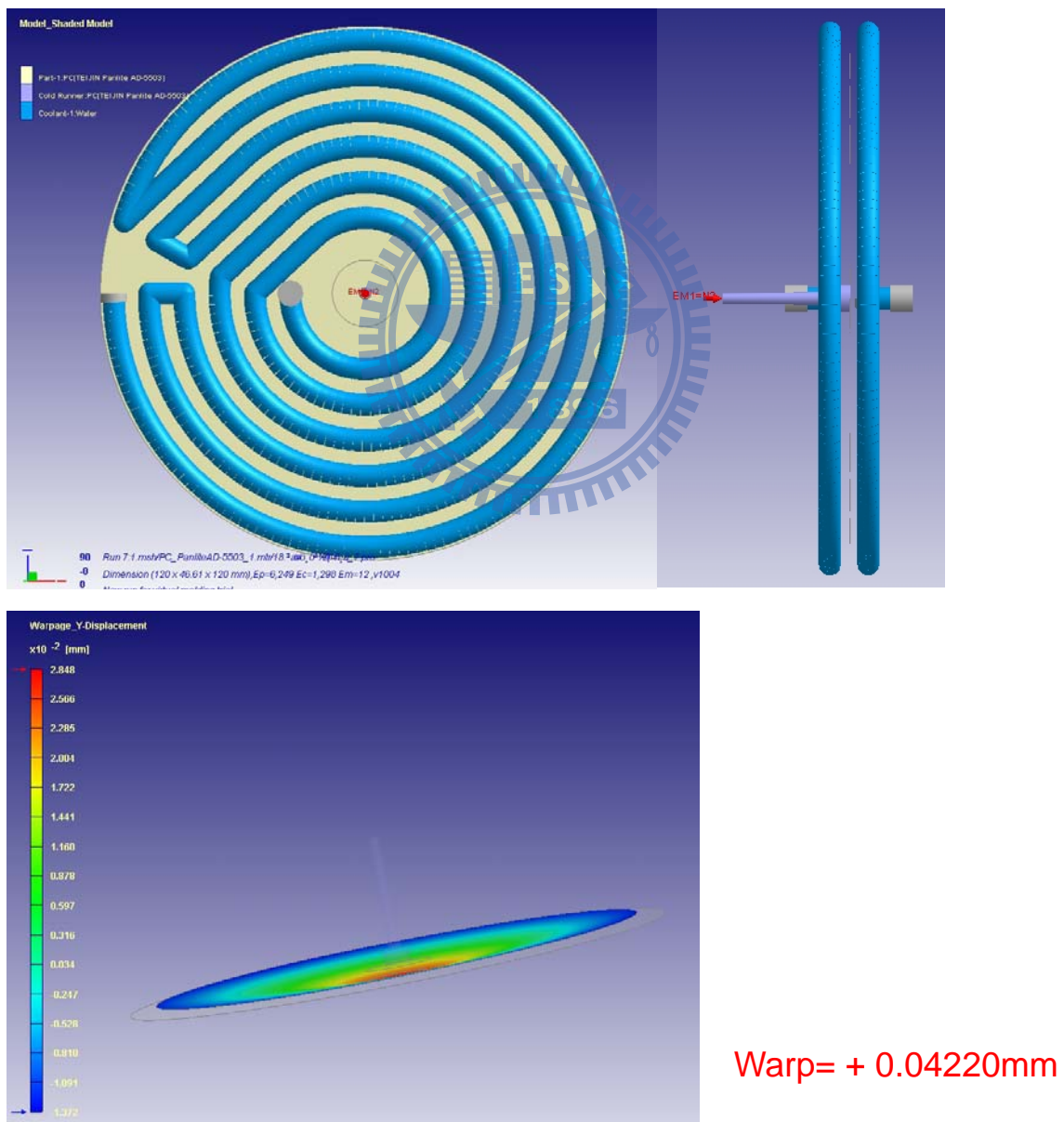


圖 6.12 水路深度為 4mm 之水路圖、翹曲圖

2. 水路深度為 6mm。

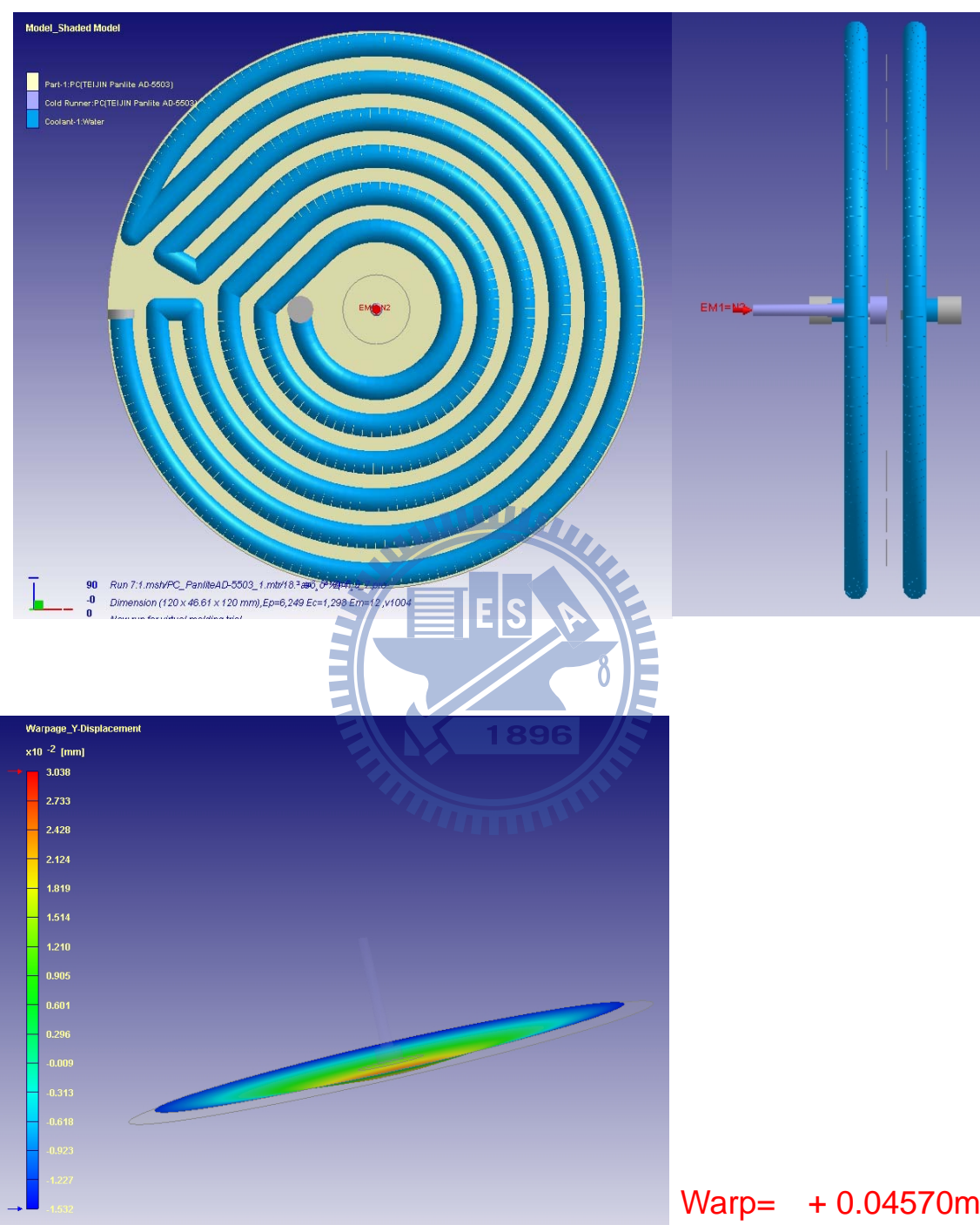


圖 6.13 水路深度為 6mm 之水路圖、翹曲圖

3. 水路深度為 8mm。

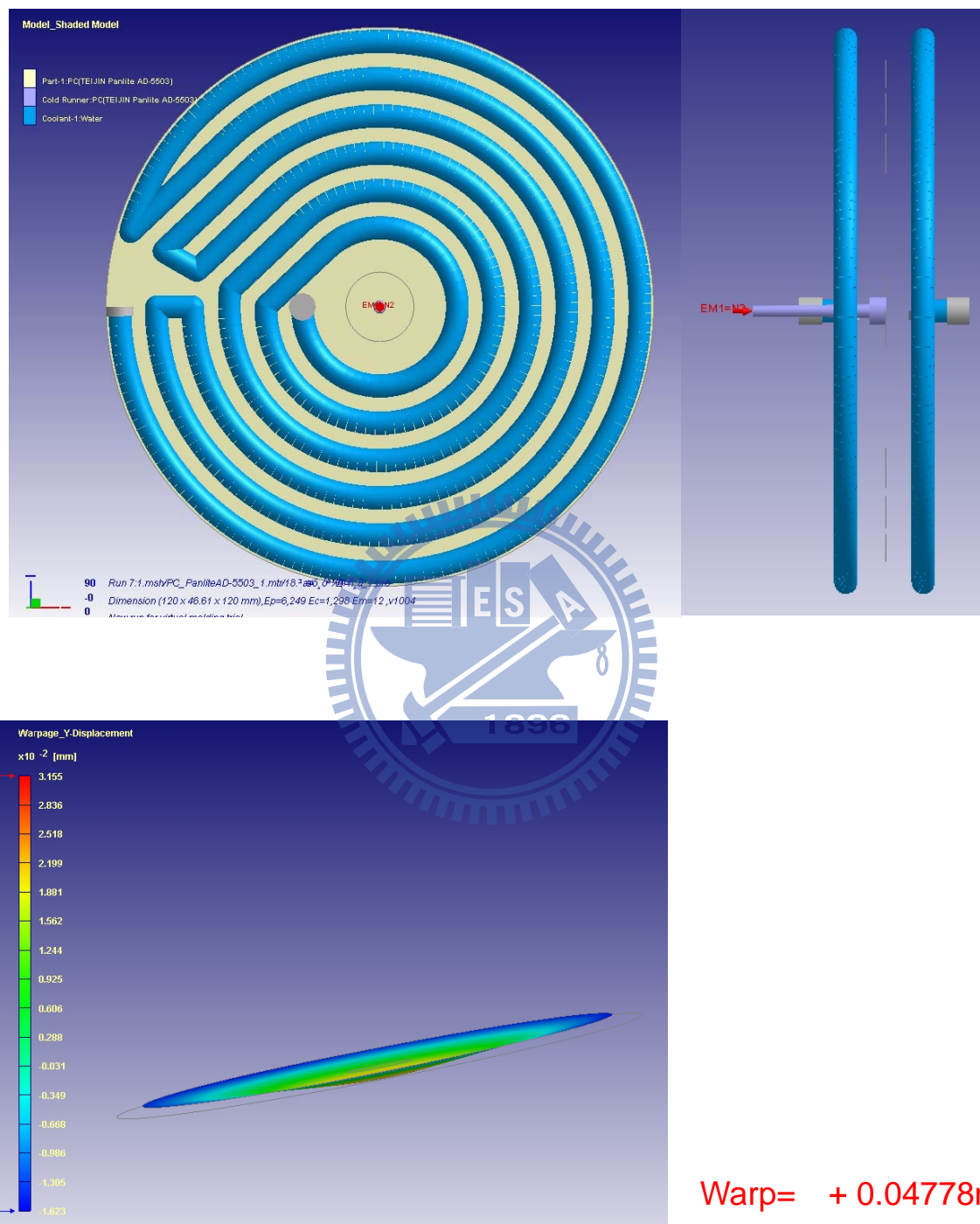


圖 6.14 水路深度為 8mm 之水路圖、翹曲圖

表 6.2 不同水路深度模擬分析翹曲值總整理表

水 路 深 度		翹 曲 值
1	深度為： 4mm。	+ 0.04220mm
2	深度為： 6mm。	+ 0.04570mm
3	深度為： 8mm。	+ 0.04778mm

表 6.2 中可發現，提升光碟片之生產效率，在調降水路深度之後，發現其水路為：單水路—6 水路—直徑 5 mm，不同繞法，且深度為 4mm 時，之模擬分析實驗之翹曲值最好，翹曲值為 **+ 0.04220mm**，而此翹曲值為目前固定側、活動側同水路分析實驗之最佳翹曲值，而接下來將進行固定側、活動側不同水路搭配分析實驗，察看是否有更好之翹曲值。

6-2、固定側和活動側不同水路搭配分析實驗：

實驗水路：

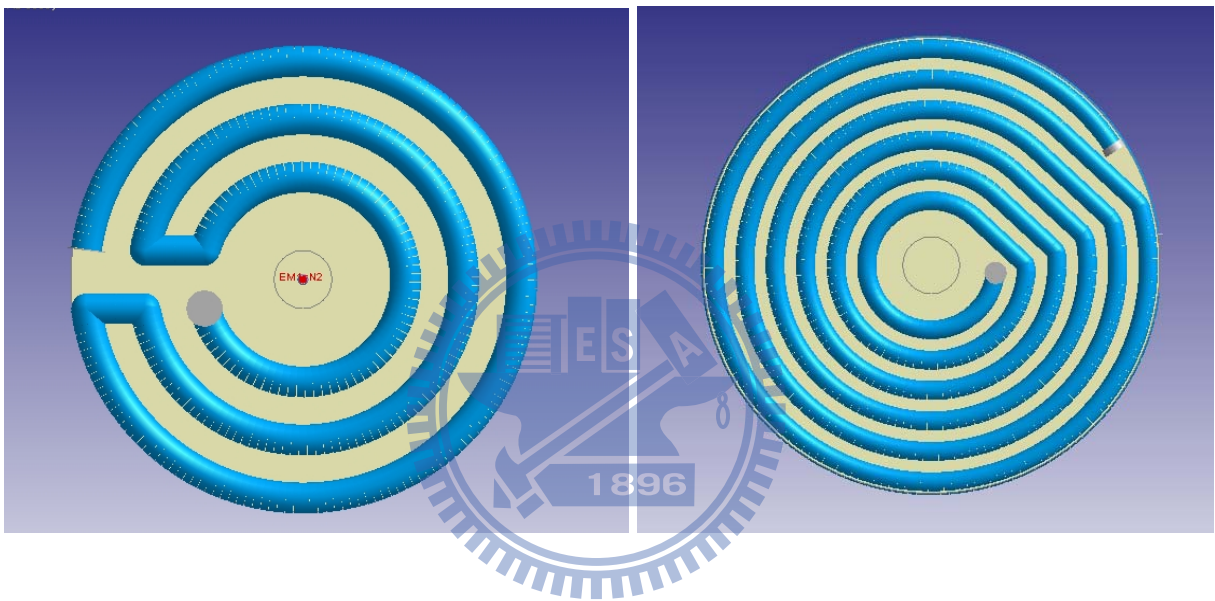
- ①. 單水路 — 3 水路，深度：8mm，直徑：8mm。
- ②. 單水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm。
- ③. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 逆繞。
- ④. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 順繞。
- ⑤. 雙水路 — 4 水路—深度：8mm，直徑：8mm。
- ⑥. 內雙外單水路 — 5 水路—深度：8mm，直徑：4mm。

1	固定側	①. 單水路 — 3 水路，深度：8mm，直徑：8mm。
	活動側	②. 單水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm。

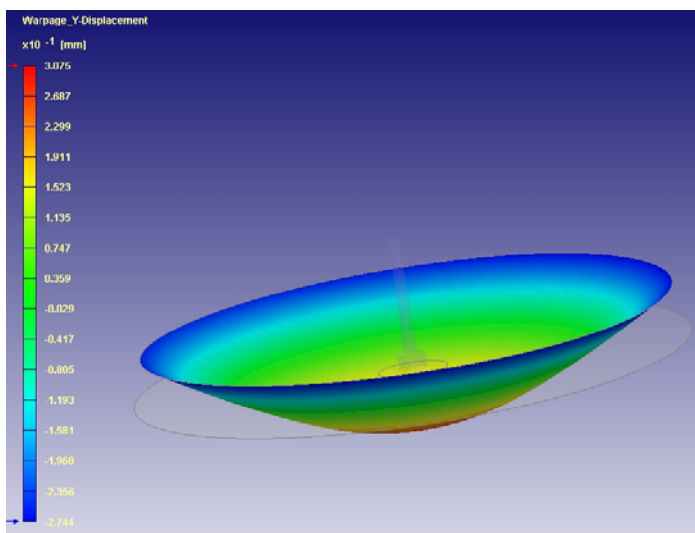
如圖 54 之上左圖，其固定側為①水路，而右圖，為活動側之②水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。

固定側

活動側



翹曲結果：

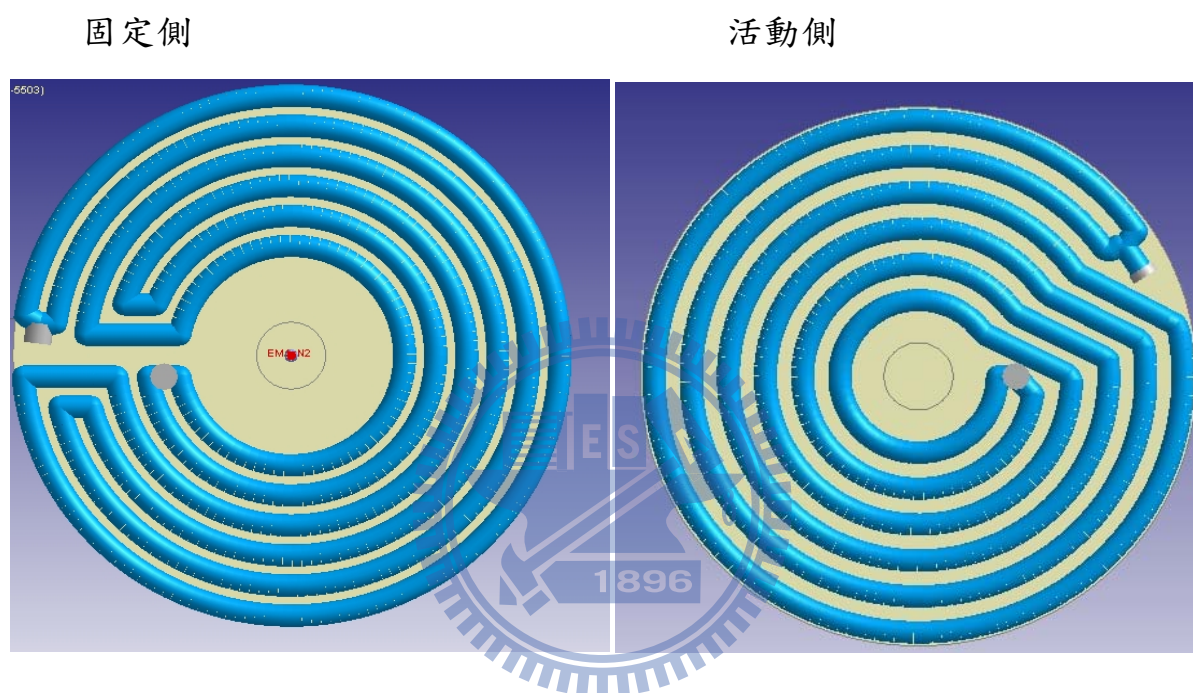


Warp = +0.5819mm

圖 6.15 不同水路搭配第一組實驗之水路圖、翹曲圖

2	固定側	③. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 逆繞。
	活動側	④. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 順繞。

如圖 6.16 之上左圖，其固定側為③水路，而右圖，為活動側之④水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。



翹曲結果：

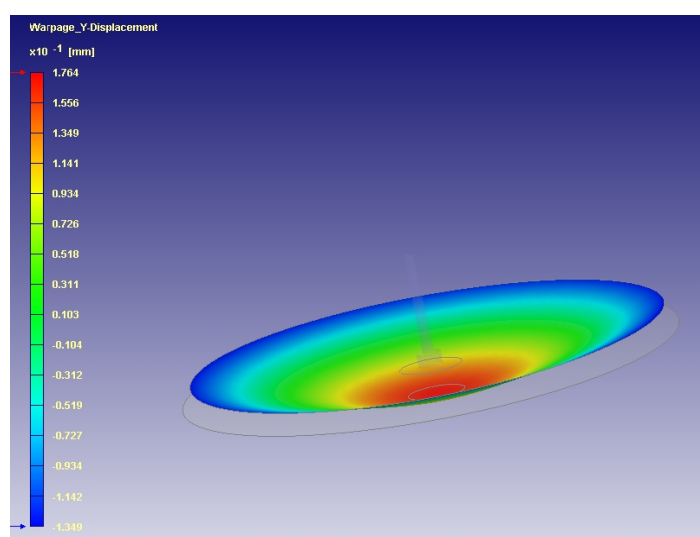
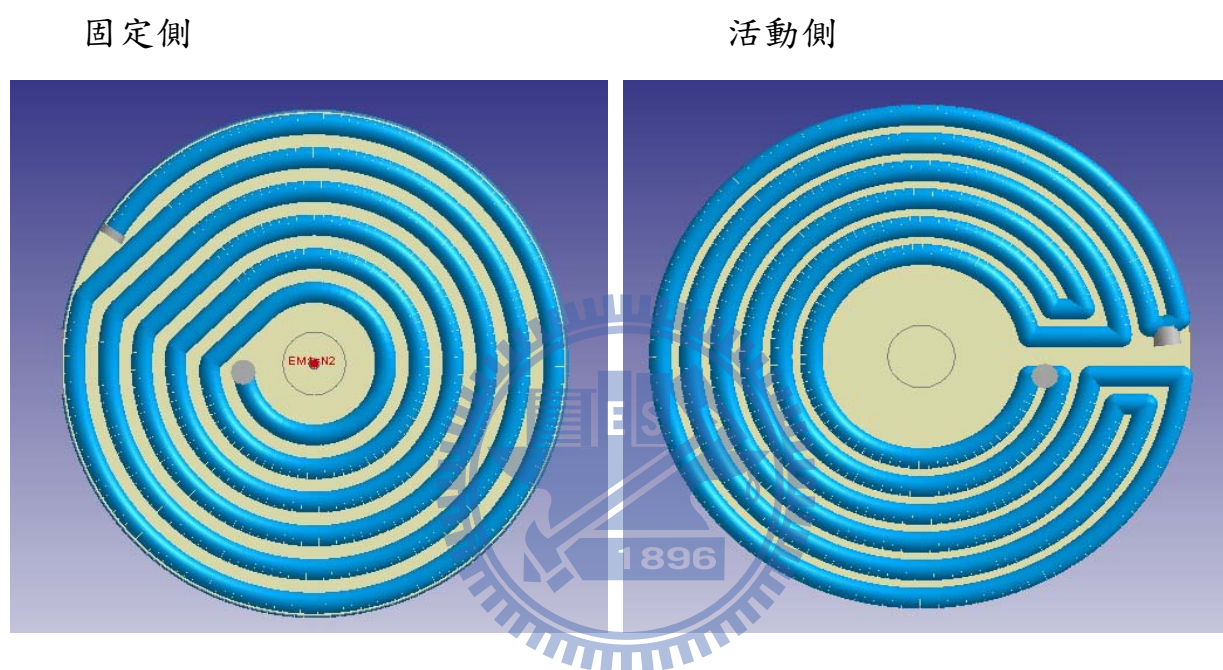


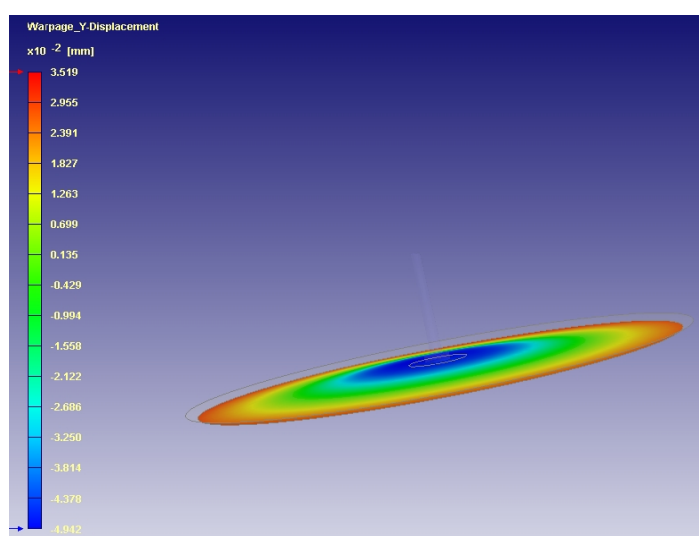
圖 6.16 不同水路搭配第二組實驗之水路圖、翹曲圖

3	固定側	②. 單水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm。
	活動側	③. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 逆繞。

如圖 6.17 之上左圖，其固定側為②水路，而右圖，為活動側之③水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。



翹曲結果：



Warp = -0.08461mm

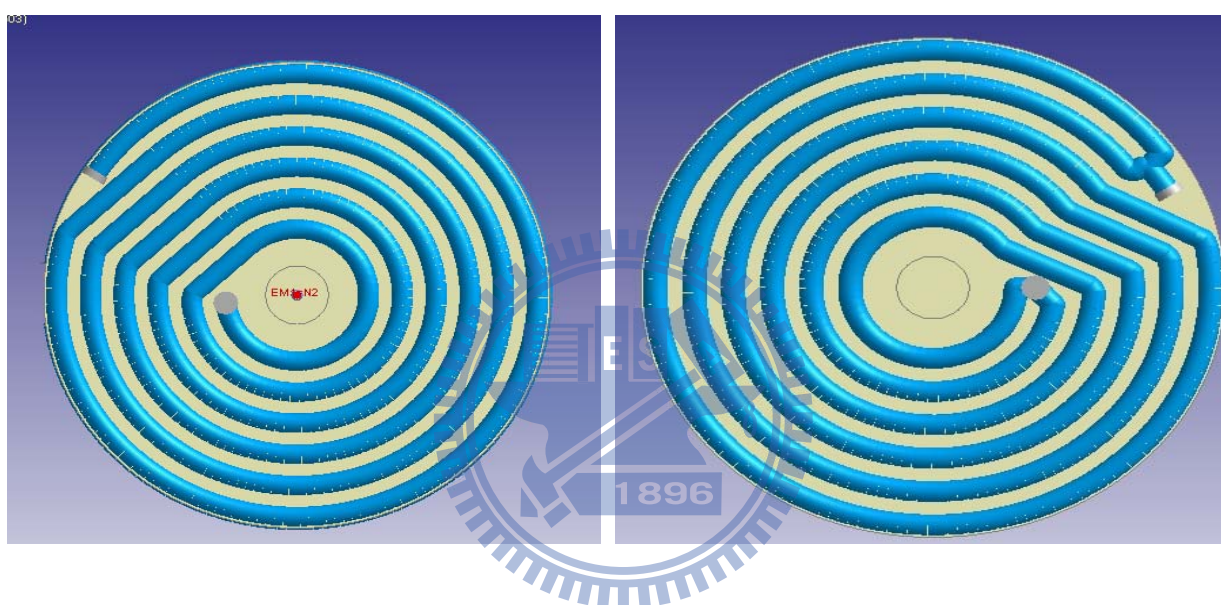
圖 6.17 不同水路搭配第三組實驗之水路圖、翹曲圖

4	固定側	②. 單水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm。
	活動側	④. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 順繞。

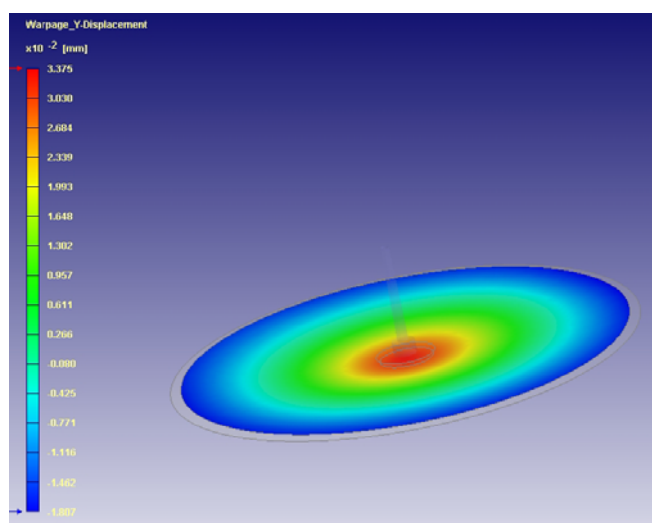
如圖 6.18 之上左圖，其固定側為②水路，而右圖，為活動側之④水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。

固定側

活動側



翹曲結果：



Warp = +0.05182mm

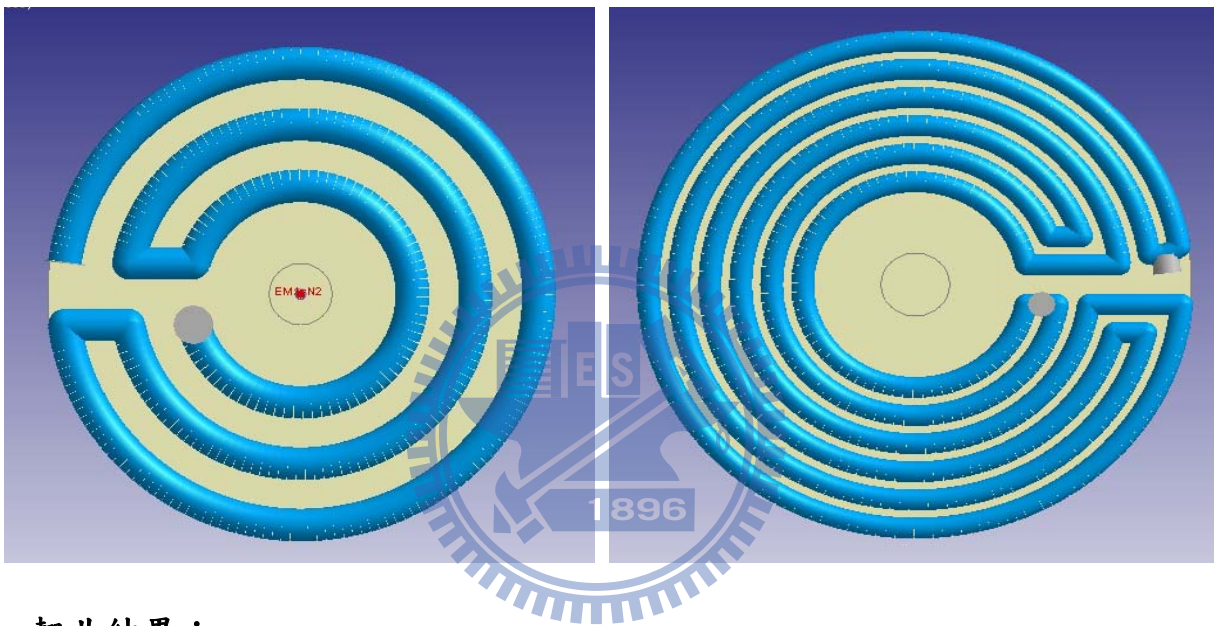
圖 6.18 不同水路搭配第四組實驗之水路圖、翹曲圖

5	固定側	①. 單水路 — 3 水路，深度：8mm，直徑：8mm。
	活動側	③. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 逆繞。

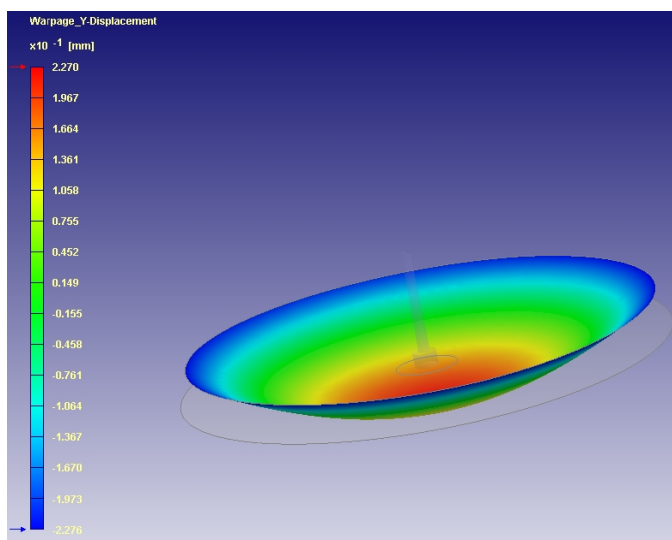
如圖 6.19 之上左圖，其固定側為①水路，而右圖，為活動側之③水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。

固定側

活動側



翹曲結果：

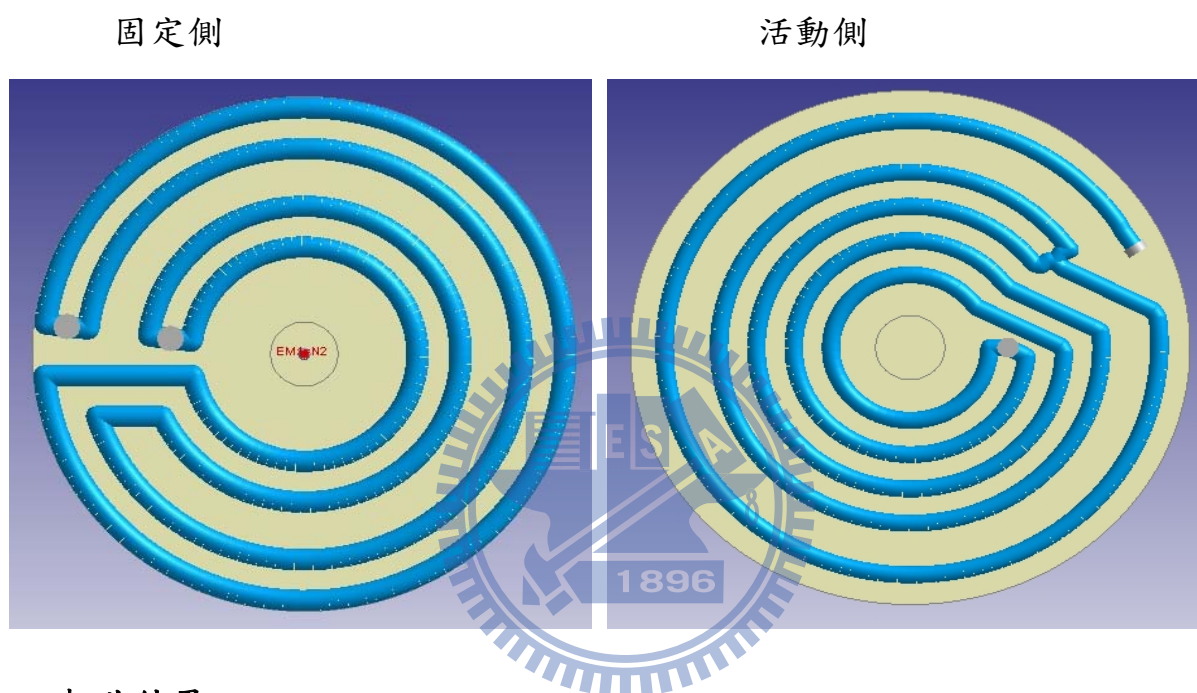


Warp = +0.4546mm

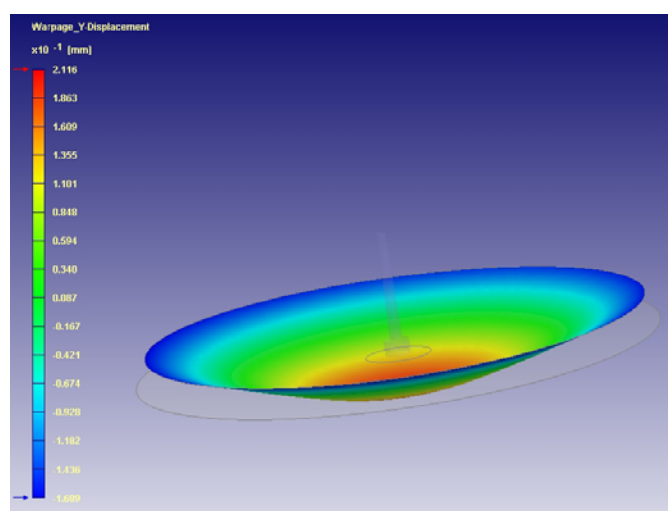
圖 6.19 不同水路搭配第五組實驗之水路圖、翹曲圖

6	固定側	⑤. 雙水路 — 4 水路—深度：8mm，直徑：8mm。
	活動側	⑥. 內雙外單水路 — 5 水路—深度：8mm，直徑：4mm。

如圖 6.20 之上左圖，其固定側為⑤水路，而右圖，為活動側之⑥水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。



翹曲結果：

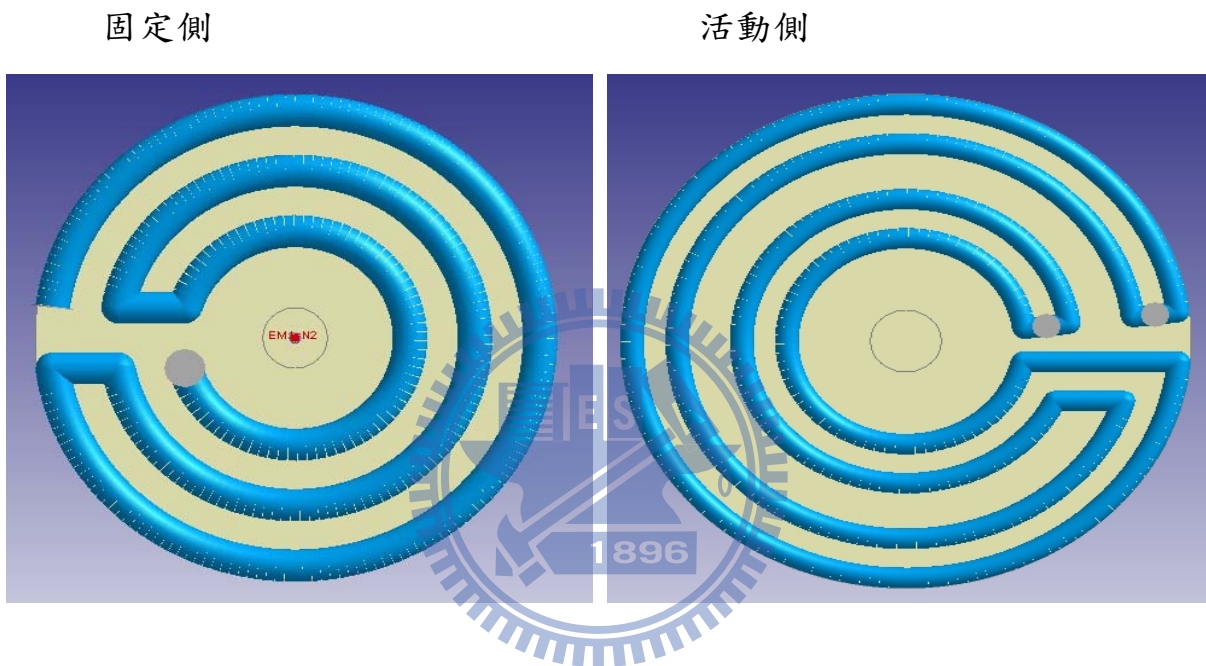


Warp = +0.3805mm

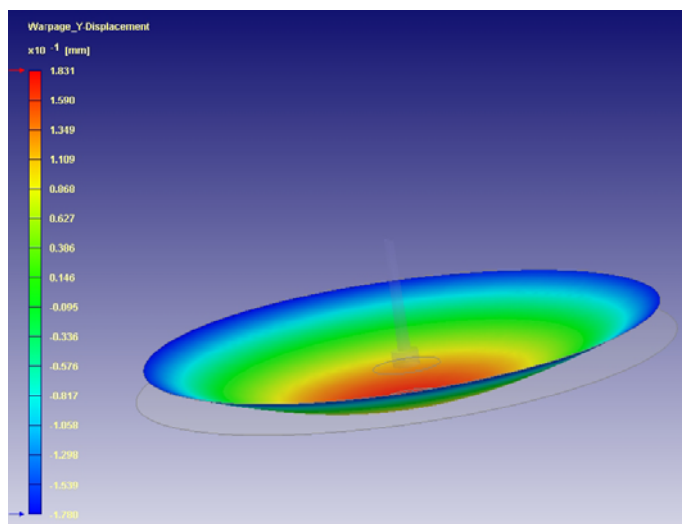
圖 6.20 不同水路搭配第六組實驗之水路圖、翹曲圖

7	固定側	①. 單水路 — 3 水路，深度：8mm，直徑：8mm。
	活動側	⑤. 雙水路 — 4 水路—深度：8mm，直徑：8mm。

如圖 60 之上左圖，其固定側為①水路，而右圖，為活動側之⑤水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。



翹曲結果：

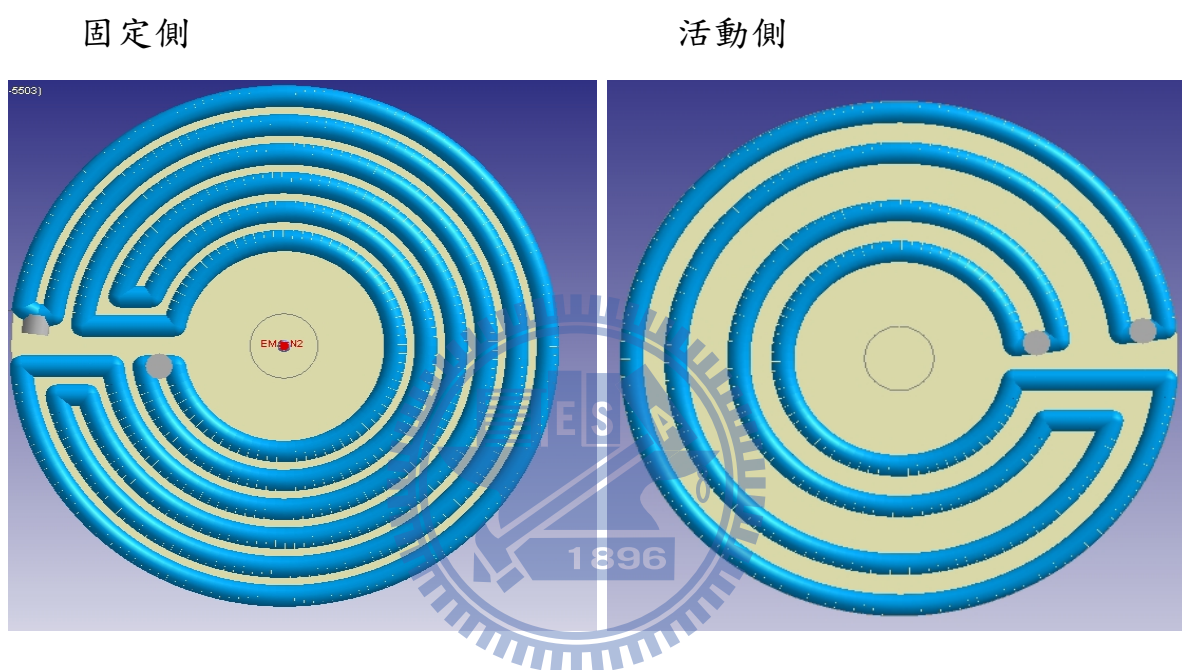


Warp = +0.3611mm

圖 6.21 不同水路搭配第七組實驗之水路圖、翹曲圖

8	固定側	③. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 逆繞。
	活動側	⑤. 雙水路 — 4 水路—深度：8mm，直徑：8mm。

如圖 6.22 之上左圖，其固定側為③水路，而右圖，為活動側之⑤水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。



翹曲結果：

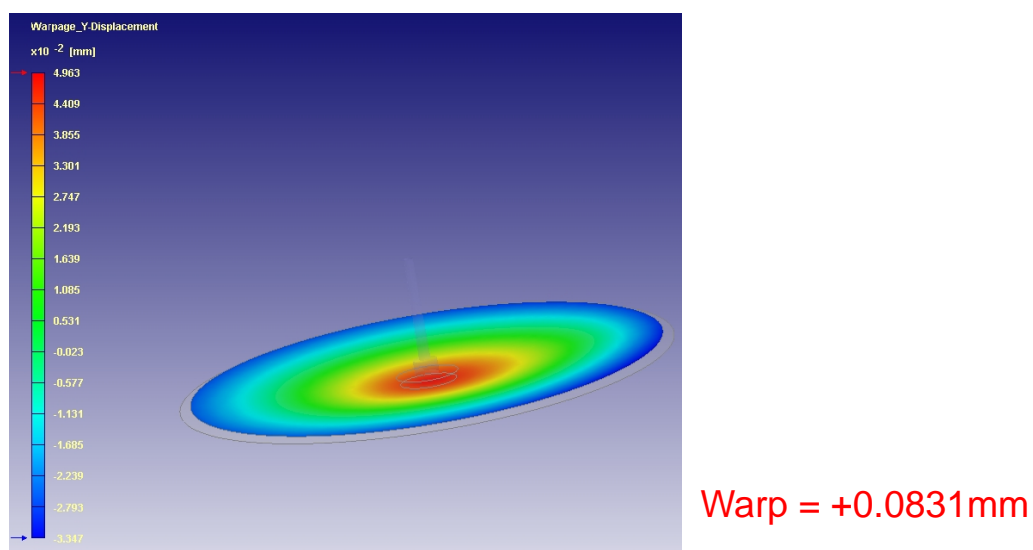
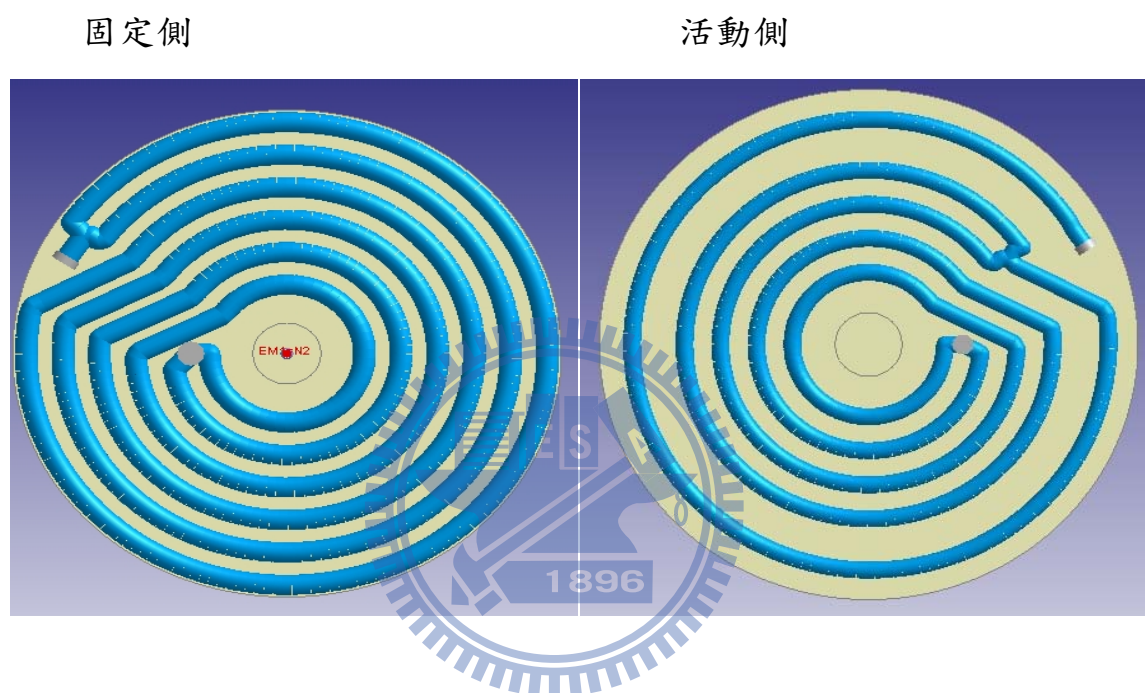


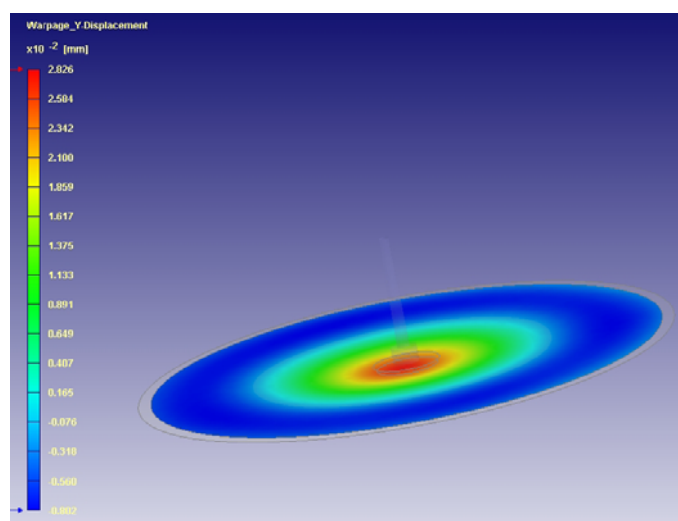
圖 6.22 不同水路搭配第八組實驗之水路圖、翹曲圖

9	固定側	④. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 順繞。
	活動側	⑥. 內雙外單水路 — 5 水路—深度：8mm，直徑：4mm 。

如圖 6.23 之上左圖，其固定側為④水路，而右圖，為活動側之⑥水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。



翹曲結果：

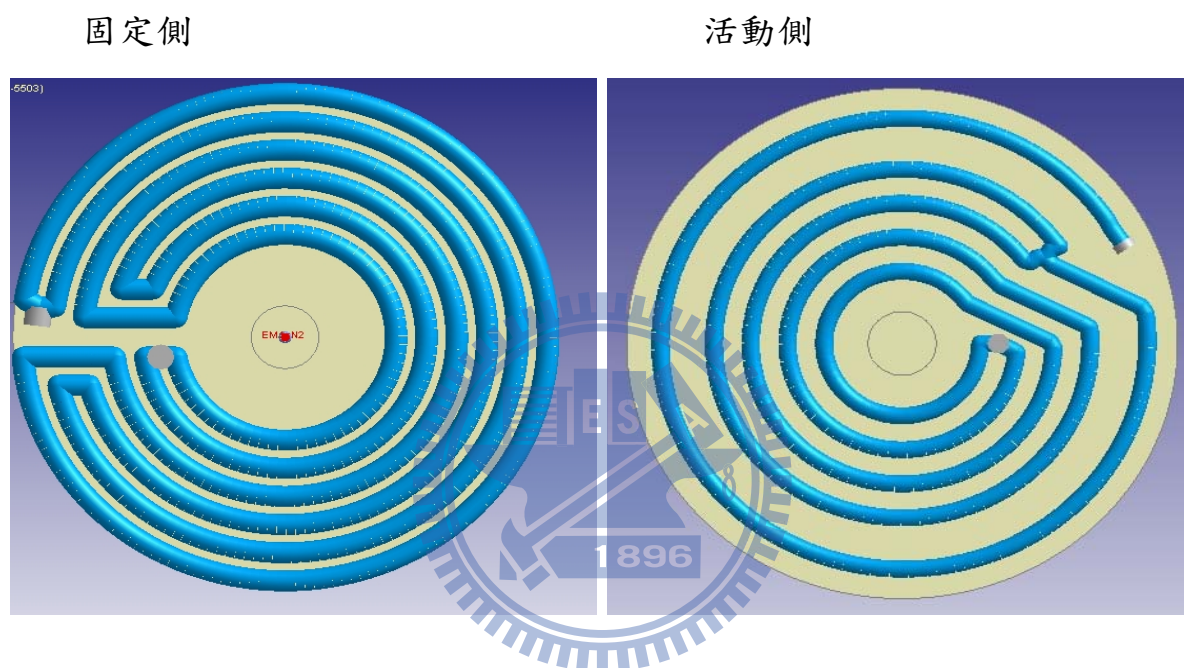


Warp = +0.03628mm

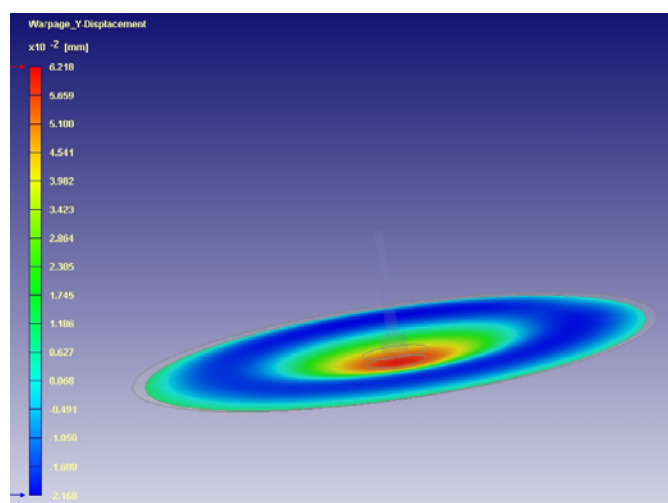
圖 6.23 不同水路搭配第九組實驗之水路圖、翹曲圖

10	固定側	③. 雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 逆繞。
	活動側	⑥. 內雙外單水路 — 5 水路—深度：8mm，直徑：4mm 。

如圖 6.24 之上左圖，其固定側為③水路，而右圖，為活動側之⑥水路，而下圖為此組水路搭配所模擬出來之翹曲分析圖。



翹曲結果：



Warp = +0.08386mm

圖 6.24 不同水路搭配第十組實驗之水路圖、翹曲圖

翹曲結果整理：

表 6.3 不同水路深度模擬分析翹曲值總整理表

實驗組別	水路搭配		翹曲值
	固定側	活動側	
1	①	②	+ 0.5819mm
2	③	④	+ 0.3113mm
3	②	③	-0.08461mm
4	②	④	+0.05182mm
5	①	③	+0.4546mm
6	⑤	⑥	+0.3805mm
7	①	⑤	+0.3611mm
8	③	⑤	+0.0831mm
9	④	⑥	+0.03628mm
10	③	⑥	+0.08386mm

在固定側、活動側不同水路搭配分析實驗下，我們選定六種實驗水路，不同搭配 10 組實驗，結果發現在第九組實驗中，以 固定側：雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 順繞，活動側：內雙外單水路 — 5 水路—深度：8mm，直徑：4mm，所搭配之水路實驗，其翹曲結果為 10 組中之最佳值，其翹曲值為：**+ 0.03628mm**，甚至比固定側、活動側同水路分析實驗之翹曲值 **+ 0.04220mm** 更好。

在確定了模具零件水路之設計最佳化之後，接下去將利用此組固定側：雙水路 — 6 水路—深度：8mm，直徑：5mm — 順繞，活動側：內雙外單水路 — 5 水路—深度：8mm，直徑：4mm，所搭配之水路實驗，進行田口實驗，進一步進行參數最佳化之實驗分析。

6-3 · 田口實驗之參數最佳化：

在田口實驗中，我們選定了 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 為此次實驗使用之直交表，共有八種參數因子，而這八種因子分別為料溫(圖 6.25)、螺桿位置 (2R-P、3R-P) 及射出速度 (1I-V、2I-V) (圖 6.26)、保壓壓力 (P-P) 及保壓時間 (P-T) (圖 6.27)、冷卻時間 (C-T) (圖 6.28) 等八項參數因子，並將這些因子所選定之參數值填入直交表中。以預設值為基準分為三個等級並且將各項成型參數以英文代碼表示方便我們繪成表格，如表 6.4 所示。

6.3.1 田口實驗：電腦模擬分析實驗

選定實驗參數：

1. 第 1 因子：料溫。

Melt Temperature	1	oC
Mold Temperature	127	oC

圖 6.25 田口實驗射出參數：料溫

2. 第 2、3、4、5 因子：螺桿位置、射出速度。

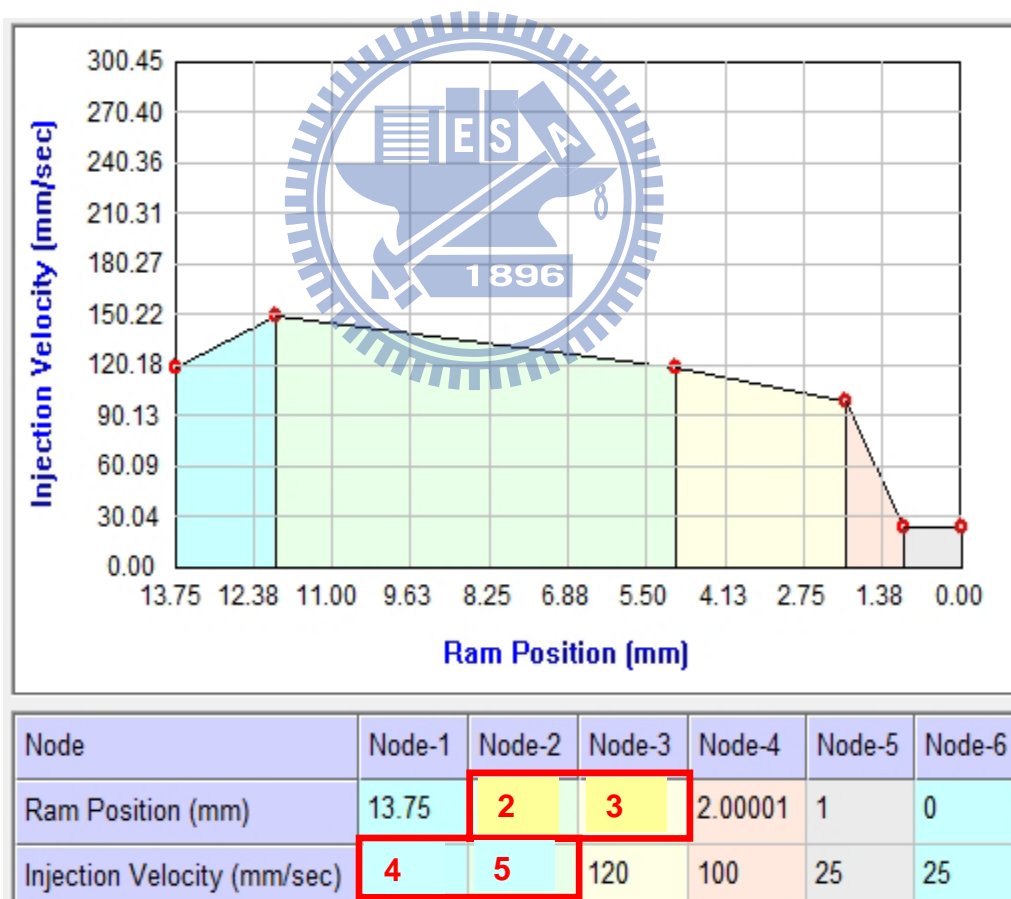


圖 6.26 田口實驗射出參數：螺桿位置、射出速度

3. 第 6、7 因子：保壓壓力、保壓時間。

Section	Section-1
Time (sec)	7
Packing Pressure (MPa)	6

圖 6.27 田口實驗射出參數：保壓壓力、保壓時間

4. 第 8 因子：冷卻時間。

Item	Value	Unit
Air Temperature	25	oC
Eject Temperature	140	oC
Cooling Time	8	sec
Mold-Open Time	0.5	sec

圖 6.28 田口實驗射出參數：冷卻時間

表6.4 控制因子水準配製表

射出成型參數		Lv1	Lv2	Lv3
A	料溫(°C)	330	320	
B	螺桿位置(2R-P)(mm)	8	10	12
C	螺桿位置(3R-P)(mm)	3	4	5
D	射出速度(1I-V) (mm/sec)	80	100	120
E	射出速度(2I-V) (mm/sec)	165	150	135
F	保壓壓力(P-P) (MPa)	165	155	145
G	保壓時間(P-T)(sec)	0.1	0.5	0.8
H	冷卻時間(sec)	3	3.5	4

表6.5 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 各因子直交表

	第一因子	第二因子	第三因子	第四因子	第五因子	第六因子	第七因子	第八因子
	料溫	2R-P	3R-P	1I-V	2I-V	PP	PT	CT
參數 1	330	8	3	80	165	165	0.1	3
參數 2	320	10	4	100	150	155	0.5	3.5
參數 3		12	5	120	135	145	0.8	4
1	330	8	3	80	165	165	0.1	3
2	330	8	4	100	150	155	0.5	3.5
3	330	8	5	120	135	145	0.8	4
4	330	10	3	80	150	155	0.8	4
5	330	10	4	100	135	145	0.1	3
6	330	10	5	120	165	165	0.5	3.5
7	330	12	3	100	165	145	0.5	4
8	330	12	4	120	150	165	0.8	3
9	330	12	5	80	135	155	0.1	3.5
10	320	8	3	120	135	155	0.5	3
11	320	8	4	80	165	145	0.8	3.5
12	320	8	5	100	150	165	0.1	4
13	320	10	3	100	135	165	0.8	3.5
14	320	10	4	120	165	155	0.1	4
15	320	10	5	80	150	145	0.5	3
16	320	12	3	120	150	145	0.1	3.5
17	320	12	4	80	135	165	0.5	4
18	320	12	5	100	165	155	0.8	3

田口實驗分析結果：

如表 6.6 所示，將電腦模擬出之十八組翹曲結果，分別整理於表格中，並利用此翹曲結果，繼續計算出其 S/N 比，再從 S/N 比中求出其最佳之參數。

表6.6 電腦模擬田口實驗結果翹曲值

組別	分析翹曲值
1	+ 0.04654 mm
2	+ 0.04065 mm
3	+ 0.03655 mm
4	+ 0.03658 mm
5	+ 0.04647 mm
6	+ 0.04072 mm
7	+ 0.03807 mm
8	+ 0.04187 mm
9	+ 0.04297 mm
10	+ 0.04162 mm
11	+ 0.03713 mm
12	+ 0.03811 mm
13	+ 0.03712 mm
14	+ 0.03818 mm
15	+ 0.04159 mm
16	+ 0.04100 mm
17	+ 0.03613 mm
18	+ 0.03986 mm

田口實驗之 M.S.D & S/N 比：

田口方法主要的工具是均方偏差(Mean Square Deviation ,M.S.D)和信號對雜音比 (Signal-to-Noise Ratio , S/N 比)。信號雜訊比是用來衡量產品品質的一種統計量度，它可以表示製程或產品的水準及其誤差因素影響的程度。由於選定的品質特性是整體的翹曲量，越小代表品質越佳，因此選定望小特性作為品質的計量法。

MSD 和 S/N 公式定義如下：

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \quad (6-1)$$

$$MSD = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} = (\bar{y})^2 + \sigma^2 \quad (6-2)$$

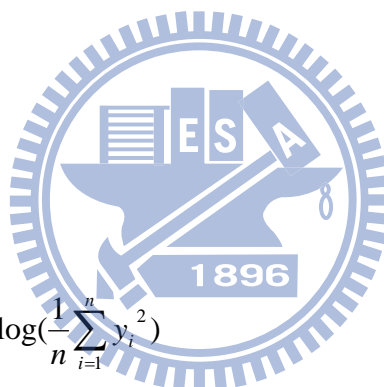
$$S/N = -10\log[MSD] = -10\log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (6-3)$$

y_i 代表第 i 個品質特性；

n 值代表實驗資料數目，因此本研究 n=1；

\bar{y} 為平均值品質特性；

σ^2 為 y 的變異數



實驗之 S/N 比圖表：

如圖 6.29 所示，為此八種參數因子在求得翹曲值之後，利用 S/N 比公式，所求得之 S/N 比，畫成了趨勢圖形，從中找尋出各別參數之 S/N 比最大值，此最大值所代表之參數即為影響翹曲值最大之參數。

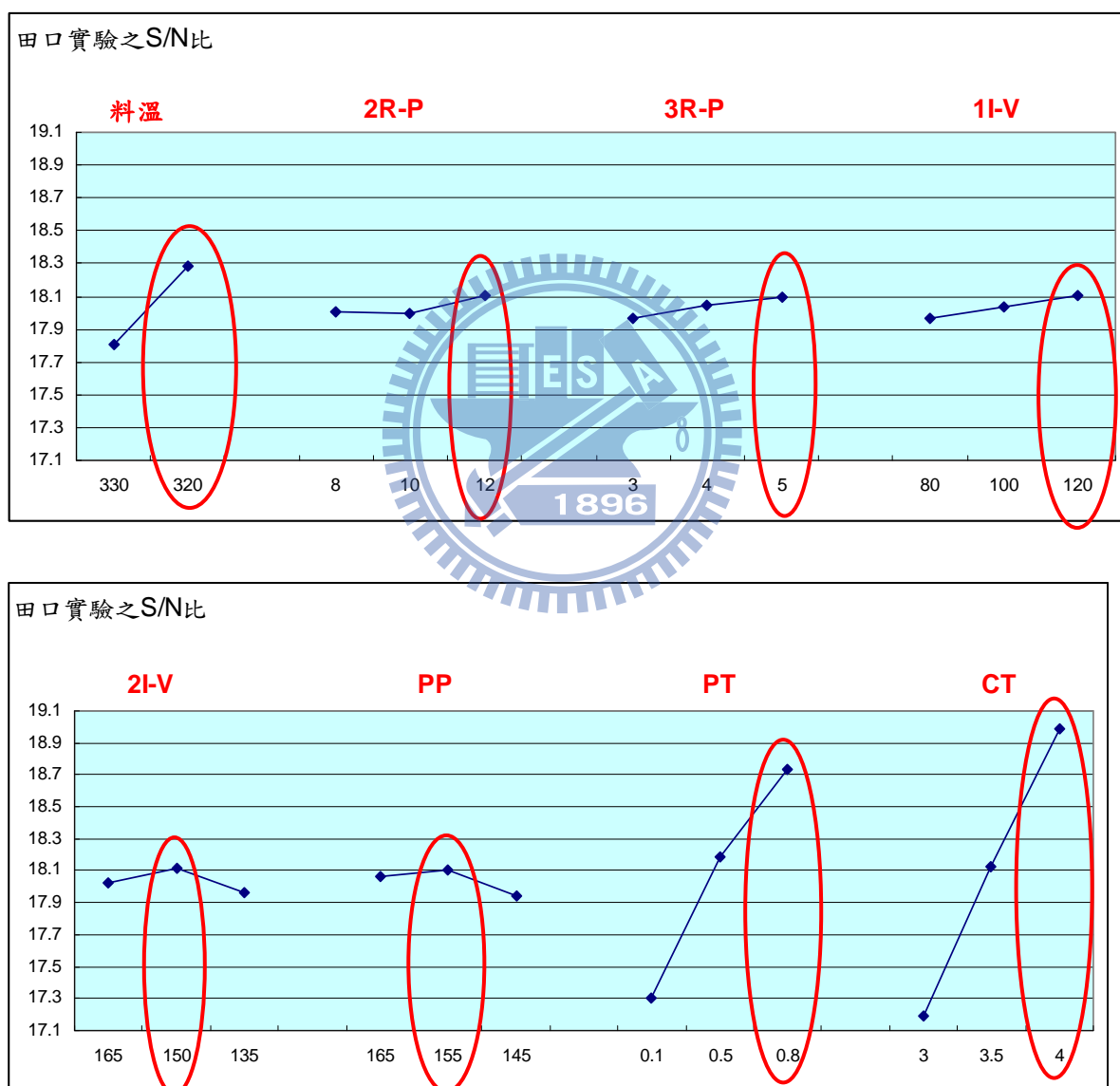


圖 6.29 電腦模擬田口實驗之 S/N 比較圖

S/N 比找出最佳之實驗參數：

Warp value S/N table

模擬	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
S/N	28.174	27.947	27.953	27.950	27.955	27.951	28.35	28.17
Levels	2	3	3	3	2	2	3	3

	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子	第6因子	第7因子	第8因子
	料溫 (℃)	2nd filling position (mm)	3rd filling position (mm)	1st filling velocity (mm/sec)	2nd filling velocity (mm/sec)	Packing pressure (Mpa)	Packing time (sec)	Cooling time (sec)
參數1 ⇒	330	8	3	80	165	165	0.1	3
參數2 ⇒	320	10	4	100	150	155	0.5	3.5
參數3 ⇒		12	5	120	135	145	0.8	4

選定最佳實驗參數，模擬分析第十九組：

利用上述之 S/N 比，找尋出影響最大之各參數值之後，將各別參數因子帶入電腦模擬中，實驗第十九組，設定為參數最佳化之組別，分析是否其選定之參數之實驗翹曲值是否為十八組中最好之翹曲值。而圖 6.30、6.31、6.32、6.33 分別為八種因子之最佳化參數值。

1. 第 1 因子：料溫。

Melt Temperature	320	oC
Mold Temperature	127	oC

圖 6.30 田口實驗射出參數：最佳化料溫

2. 第 2、3、4、5 因子：螺桿位置、射出速度。

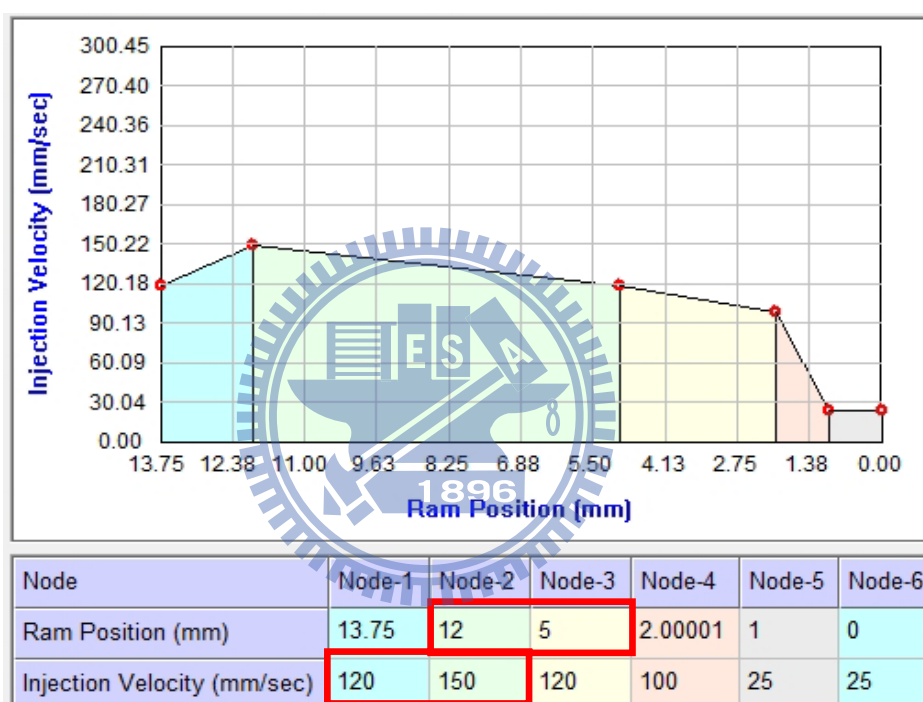


圖 6.31 田口實驗射出參數：最佳化螺桿位置、射出速度

3. 第 6、7 因子：保壓壓力、保壓時間。

Section	Section-1
Time (sec)	0.8
Packing Pressure (MPa)	155

圖 6.32 田口實驗射出參數：最佳化保壓壓力、保壓時間

4. 第 8 因子：冷卻時間。

Item	Value	Unit
Air Temperature	25	oC
Eject Temperature	140	oC
Cooling Time	4	sec
Mold-Open Time	0.5	sec

圖 6.33 田口實驗射出參數：最佳化冷卻時間

第十九組模擬分析結果：

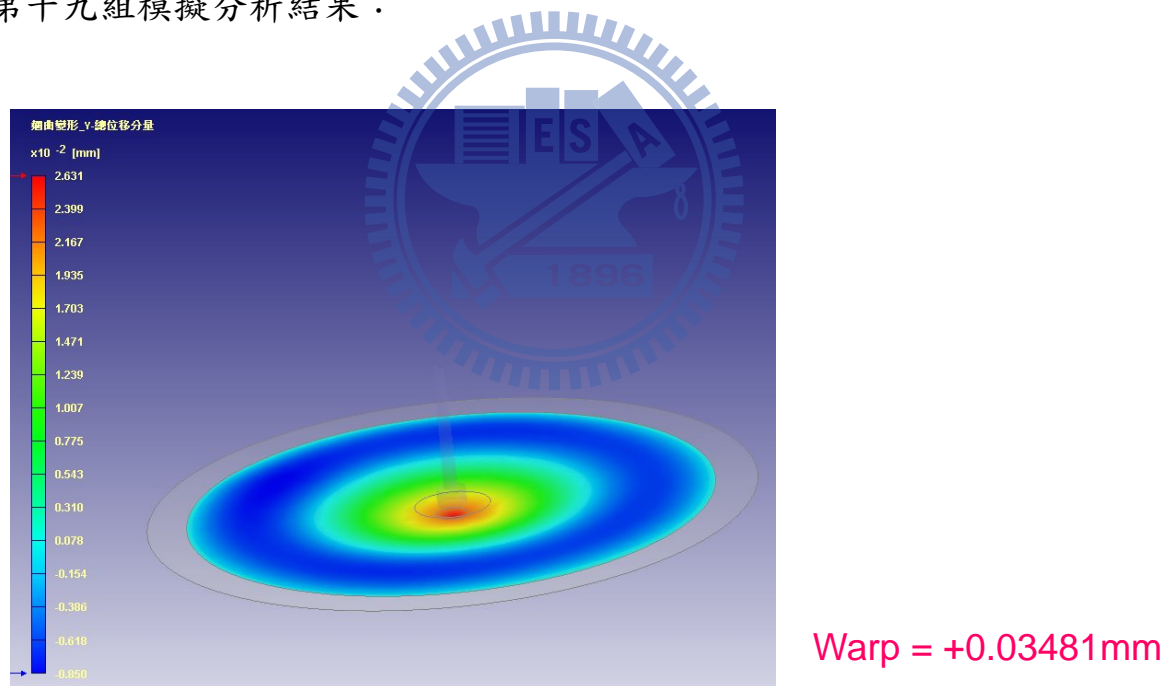


圖 6.34 最佳化射出參數分析結果翹曲圖

利用田口實驗方法，所求出之最佳參數，其翹曲值分析結果如圖 6.34 所示，為 **+ 0.03481mm**，其結果比只進行模具零件最佳之水路設計之翹曲值 **+0.03628mm** 較為好。

依結果可得知，在同時進行模具零件水路最佳化設計和射出參數之最佳化設計，可大大降低射出成品之翹曲值，而在翹曲值之規範範圍內，可以相對減少成形品之 cycle time，進而達成產品的生產效能提升，提升相關產業的競爭力。

在實驗步驟中，先進行同水路之的直徑、深度、水路跑法之實驗分析，再進行不同水路搭配實驗分析，確認了模具零件的最佳化後，即再依田口實驗方法進行參數最佳化的實驗，如：料溫、射出速度、冷卻時間、保壓……，決定可控因子的最佳水準，並預估在最佳水準下之績效，再執行驗證，即進行確認實驗，找出最佳的參數組合，在確認了水路設計最佳化和射出參數最佳化之後，其成形品翹曲值也證實為最低翹曲值，再進而可達成產品的生產效能提升，提升相關產業的競爭力。

6-3.2 · 田口實驗：實際上機實驗

選定實驗參數：

機台田口法實驗，和電腦模擬分析之田口實驗，其選定之參數因子皆為相同，且直交表之選用，比同樣為 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 為實驗所用之直交表。而其控制因子水準配製表同樣如下：

表6.7 控制因子水準配製表

射出成型參數		Lv1	Lv2	Lv3
A	料溫(°C)	330	320	
B	螺桿位置(2R-P)(mm)	8	10	12
C	螺桿位置(3R-P)(mm)	3	4	5
D	射出速度(1I-V) (mm/sec)	80	100	120
E	射出速度(2I-V) (mm/sec)	165	150	135
F	保壓壓力(P-P) (MPa)	165	155	145
G	保壓時間(P-T)(sec)	0.1	0.5	0.8
H	冷卻時間(sec)	3	3.5	4

機台實際田口實驗結果：

表6.8 機台實際田口實驗結果翹曲值

組別	分析翹曲值
1	+ 0.4841 mm
2	+ 0.6315 mm
3	+ 0.0516 mm
4	+ 0.0568 mm
5	+ 0.9435 mm
6	+ 0.7506 mm
7	+ 0.1389 mm
8	+ 0.8662 mm
9	+ 0.3138mm
10	+ 0.9930 mm
11	+ 0.0523 mm
12	+ 0.1579 mm
13	+ 0.1764 mm
14	+ 0.1679 mm
15	+ 0.8368 mm
16	+ 0.4329 mm
17	+ 0.0496 mm
18	+ 0.2569 mm

機台實際田口實驗之 S/N 比圖表：

如圖 6.35 所示，為此八種參數因子在求得翹曲值之後，利用 S/N 比公式，所求得之 S/N 比，畫成了趨勢圖形，從中找尋出各別參數之 S/N 比最大值，此最大值所代表之參數即為影響翹曲值最大之參數。

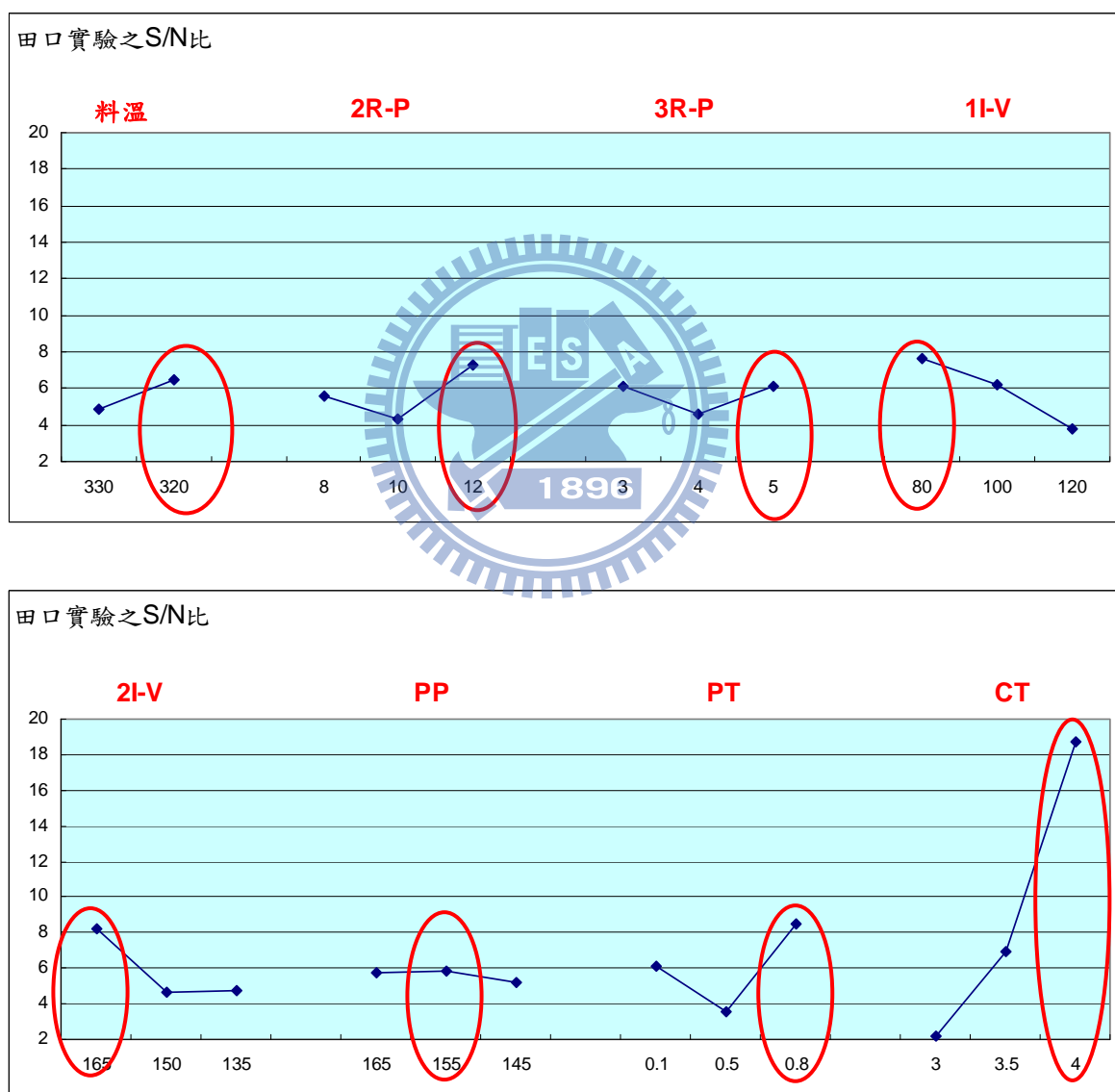



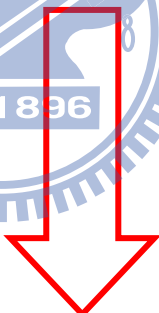
圖 6.35 機台實際田口實驗之 S/N 比較圖

Warp value S/N table

實作機台	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
S/N	6.47	7.28	6.15	7.60	8.17	5.79	8.46	18.71
Levels	2	3	3	1	1	2	3	3



	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子	第6因子	第7因子	第8因子
	料溫 (℃)	2nd filling position (mm)	3rt filligg position (mm)	1st filling veolcity (mm/sec)	2nd filligg velocity (mm/sec)	Packing pressure (Mpa)	Packing time (sec)	Cooling time (sec)
參數1 ⇒	330	8	3	80	165	165	0.1	3
參數2 ⇒	320	10	4	100	150	155	0.5	3.5
參數3 ⇒		12	5	120	135	145	0.8	4



選定最佳實驗參數，機台實驗第十九組：

	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子	第6因子	第7因子	第8因子
	料溫 (℃)	2nd filling position (mm)	3rt filligg position (mm)	1st filling veolcity (mm/sec)	2nd filligg velocity (mm/sec)	Packing pressure (Mpa)	Packing time (sec)	Cooling time (sec)
19	320	12	5	80	165	155	0.8	4

表6.9 最佳實驗參數結果翹曲值

Warp value(mm)								
半徑位置	23	28	33	38	43	48	53	58
實驗片 1	0.0026	0.0125	0.0158	0.0256	0.0298	0.0325	0.0358	0.0483
實驗片 2	0.0031	0.0183	0.0205	0.0286	0.0322	0.0357	0.0423	0.0476
實驗片 3	0.0023	0.0127	0.0236	0.0259	0.0335	0.0352	0.0435	0.0501

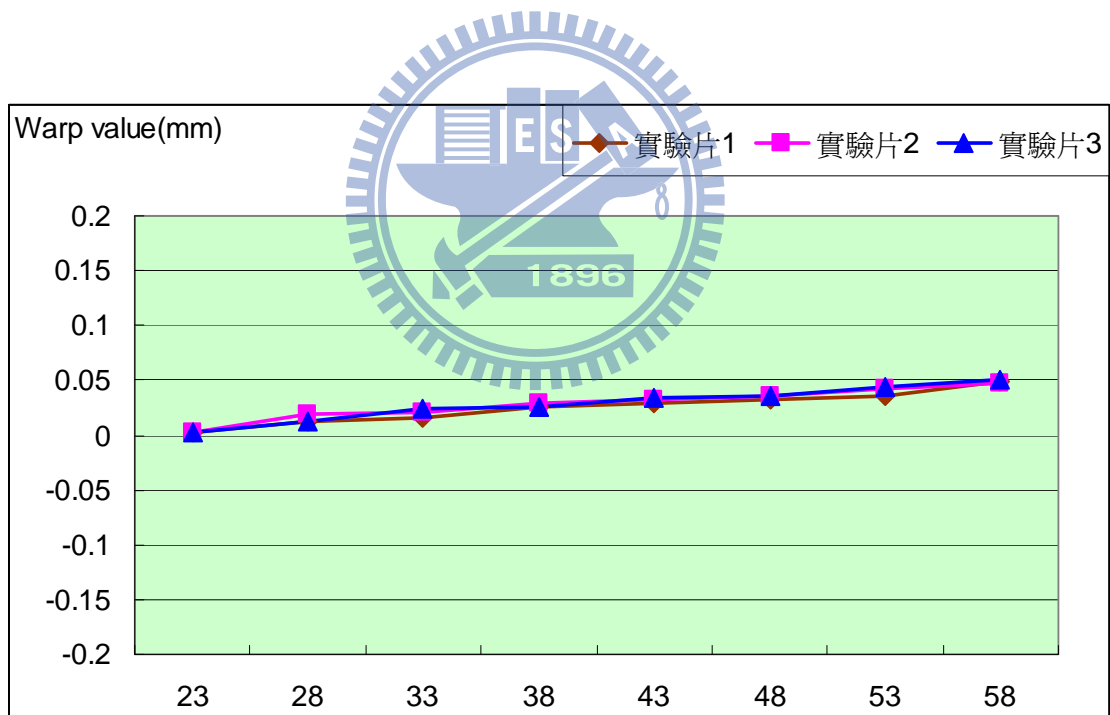


圖 6.36 實際上機實驗之碟片測試翹曲圖

在本計畫的研究中，最後利用了田口實驗法，針對了八種射出參數因子，去找尋能影響光碟片翹曲值之最佳射出參數，而不管是電腦模擬實驗或是實作機台實驗，在找尋到最佳的八組射出參數之後，實驗第十九組，在電腦模擬實驗所得之碟片翹曲值為 **+ 0.03481mm**，而實作機台實驗之碟片翹曲值在 **+ 0.0476 ~ +0.0501mm**，都同樣比前面直交表內十八組實驗所得之翹曲值還要好。

而在此次的田口實驗，由第十九組之最佳翹曲值，可證實電腦模擬所選定之參數，的確為最佳之射出參數值，另一方向也可以從實作機台實驗可得知，其田口實驗法則是值得深信之實驗方法。



6-4・薄殼產品之案例分析：

在上述之研究分析過程中，學習了相關於模流軟體之應用，而找尋出模具水路設計之最佳化和射出參數最佳化，也從中學得了射出模擬分析之知識和經驗，因此將所學得之相同的方法套用在較複雜的薄殼件中，開始進行在研發過程中，產品模具未開發前，即先進行產品之特性分析，如隨身碟外蓋、手機、話機薄殼等。

圖6.37是由SolidWorks所繪製出之隨身碟外蓋之產品模型，在完成隨身碟外蓋之3D模型之後，將圖形繪入Moldex-3D，開始進行此模型下一階段的模流分析及分析出產品之翹曲值大小，而此產品外觀為複雜薄殼，尺寸為 $59 \times 22 \times 5\text{mm}$ ，厚度為 2mm 。

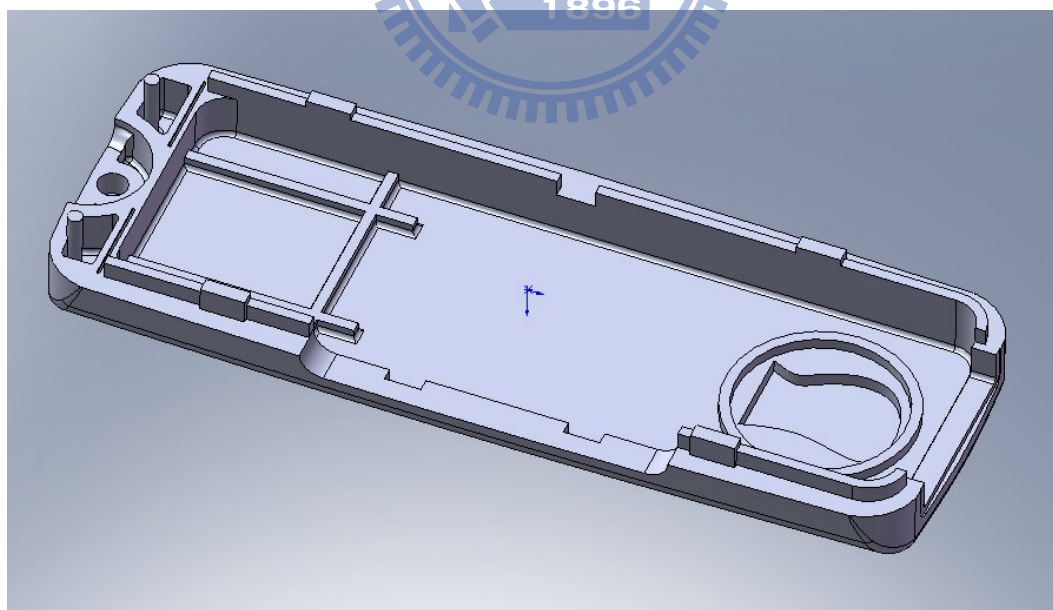


圖 6.37 薄殼產品：隨身碟外蓋

而在模擬軟體中，我們所選用之材料為 PC-Makrolon-2205。如表6-10

所示為此PC料之材料特性表[32]。

表 6.10[32] PC-Makrolon-2205 材料特性

性能	測試條件	數值	單位
熔融指數(MVR)	300℃ , 1.2kg	35	cm ² /10 min
玻璃轉化溫度	10℃/ min	145	℃
熱變型溫度	1.80MPa	124	℃
密度		1190	Kg/m ²
透光率	1mm	89	%
抗拉強度	1 mm/min	2400	MPa
成型收縮率	60x60x2; 500bar	0.65	%
導熱性	23℃	0.20	W/(m·k)
熱膨脹係數，流動方向	23 to 55 °C	0.65	10 ⁴ /K
熱膨脹係數，垂直接流動方向	23 to 55 °C	0.65	10 ⁴ /K
液料溫度		280	℃
模具水路溫度		80	℃
射出速度		200	mm/s

在繪入模擬軟體後，開始繪製模穴情形和水路流道設計。在產品製程上，如圖6.38，採用一模四穴之模具設計，以增加其生產效率，而在水路流道設計上，採用直管圖形水路，直徑為7mm，如圖6.39，固定側為八水路設計，特別在液料流道左右各增加一水路，加強其散熱效率，而活動側則為六水路之冷卻水路設計。

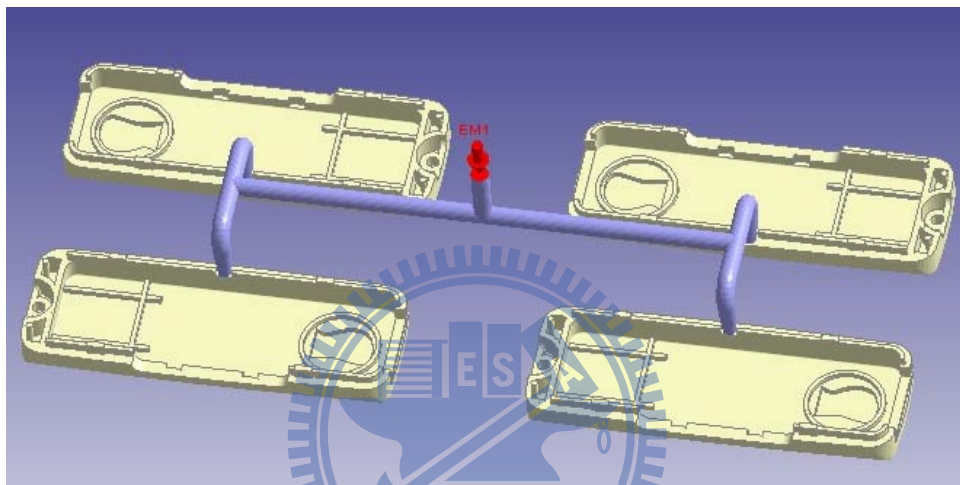


圖 6.38 一模四穴之模穴設計

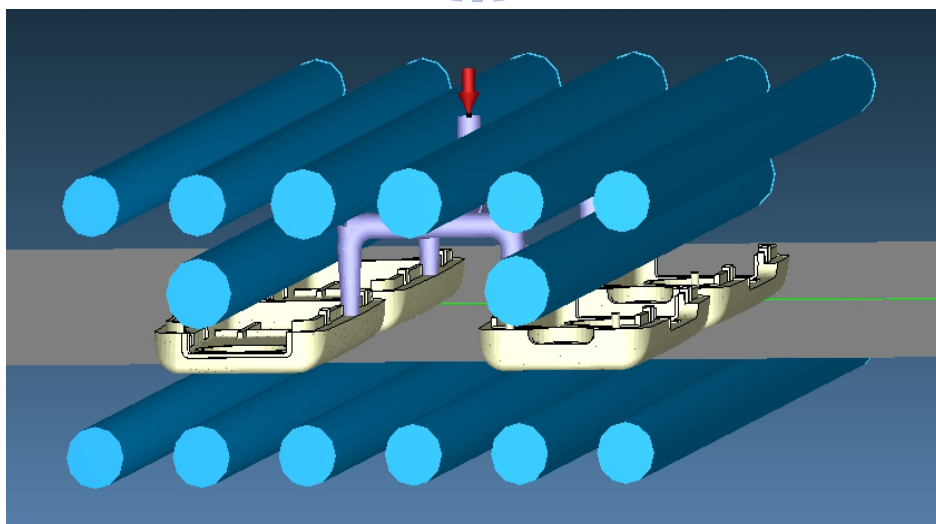


圖 6.39 冷卻水路設計

在參數的設定上，選用了料溫、射出速度、螺桿位置、保壓時間、保壓壓力、水路溫度和冷卻時間來做為分析此薄殼產品之射出參數。

1. 料溫：如圖 6.40 所示，參數中將數值設定為 300°C。

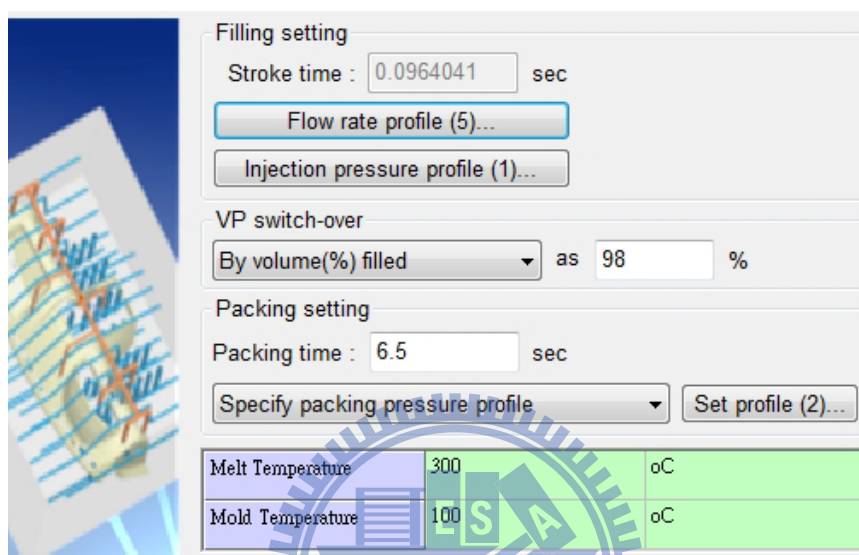
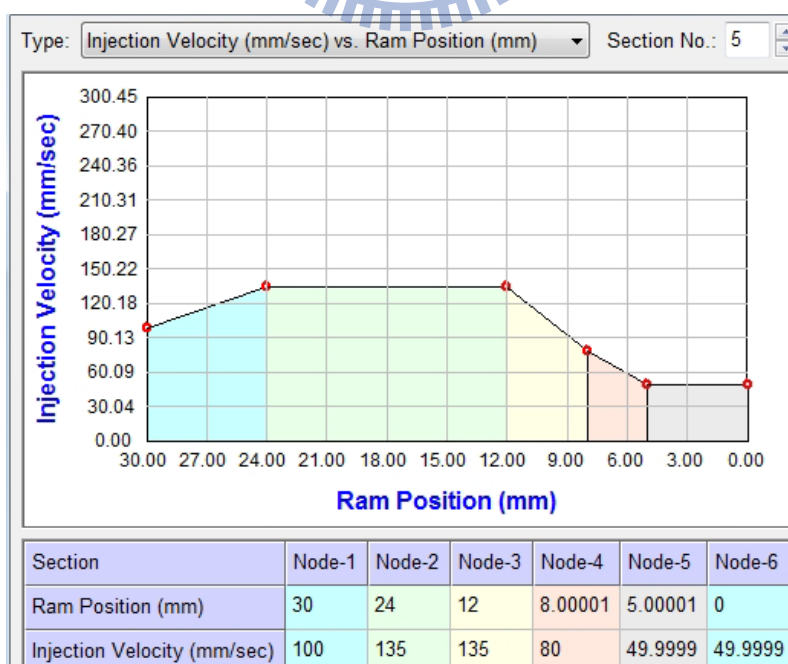


圖 6.40 料溫

2. 射出速度、螺桿位置：如圖 6.41 所示，其中射速最高為 135mm/sec。



3. 保壓時間、保壓壓力：如圖 6.42 所示，保壓時間設定為 6.5sec，而保壓壓力設定為 120MPa。

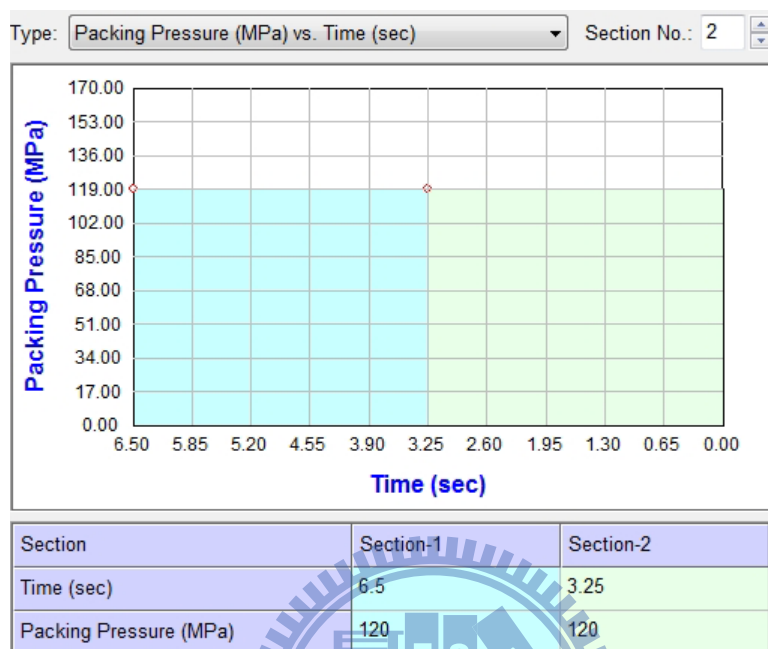


圖 6.42 保壓時間、保壓壓力

4. 水路溫度：如圖 6.43 所示，固定側之水溫設定為 100℃，而活動側水路為 90℃，此設定為防止熱集中活動側而造成翹曲值變大。

Cooling channel					
Channel ID	T (oC)	Q (cm^3/sec)	Matter	D (mm)	Re
4 (Group 4)	100	120	Water	7	78232.9
5 (Group 5)	100	120	Water	7	78232.9
6 (Group 6)	100	120	Water	7	78232.9
7 (Group 7)	90	120	Water	7	69810.6
8 (Group 8)	90	120	Water	7	69810.6
9 (Group 9)	90	120	Water	7	69810.6

Apply current setting to all Apply current setting to group

圖 6.43 水路溫度

5. 冷卻時間：如圖 6.44 所示，所設定之冷卻時間為 4.5sec，而相對變動之 cycle time 即為 11.59sec。

[Cooling]	
Cooling Time (sec)	4.5
Mold-Open Time (sec)	0.5
Eject Temperature (oC)	120
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	11.5964
Mesh file	top(m)-2pcs(m)-1.mde

圖 6.44 冷卻時間

各模擬結果之分析情形：

1. 液料流動情形：圖 6.45 為液料在模穴內之流動情形和所需時間，由圖也可看出此產品為飽模狀態，無短射情形發生。

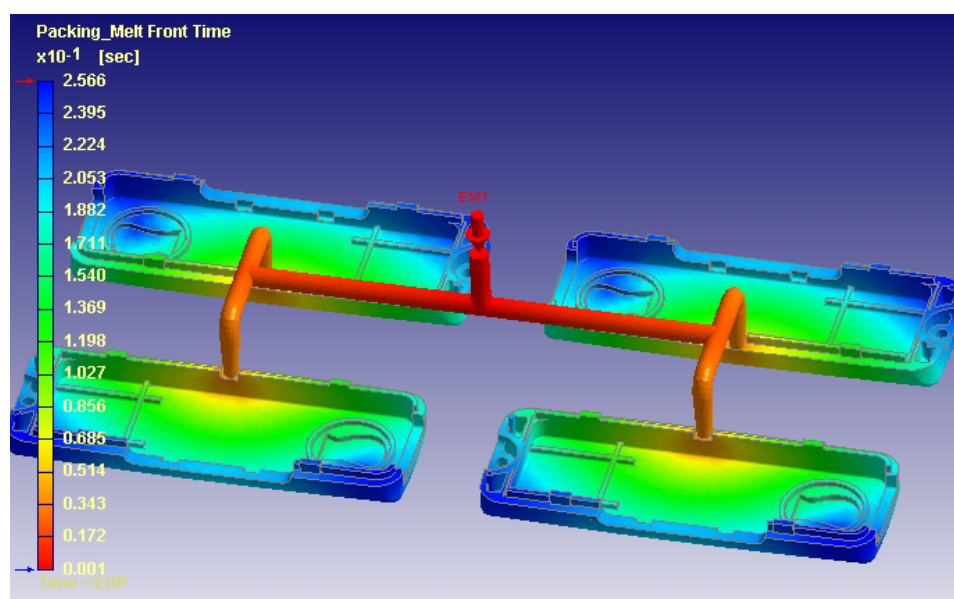


圖 6.45 液料流動情形

2. 水路散熱效率：圖 6.46 為水路之散熱效率分析，而其散熱之效率是由顏色之不同來表示水路散熱之差異性。

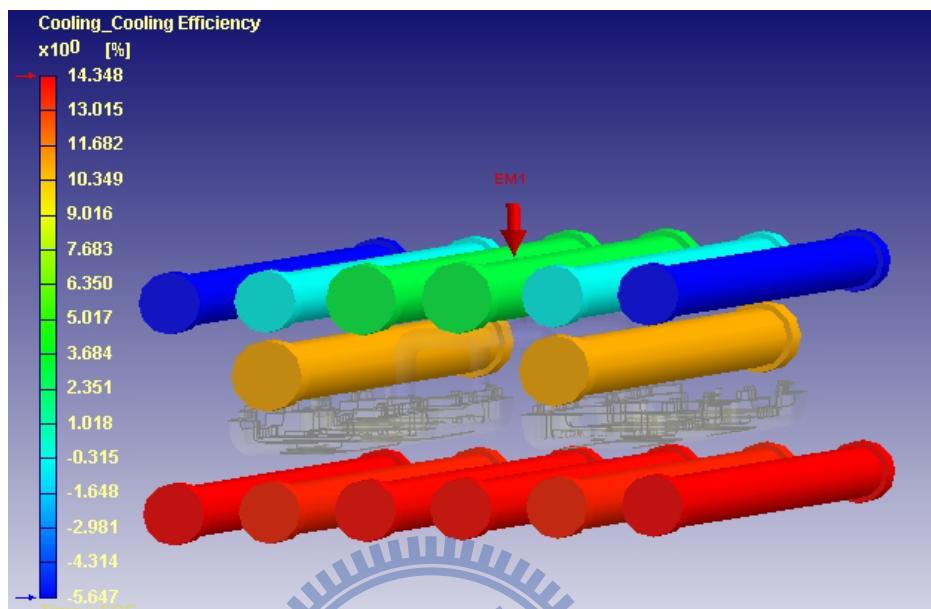


圖 6.46 水路散熱效率

3. 體積收縮率：圖 6.47 為產品冷卻後之體積收縮率，由圖中產品所分佈之顏色對照數值表，即可知道產品之體積收縮率之大小。

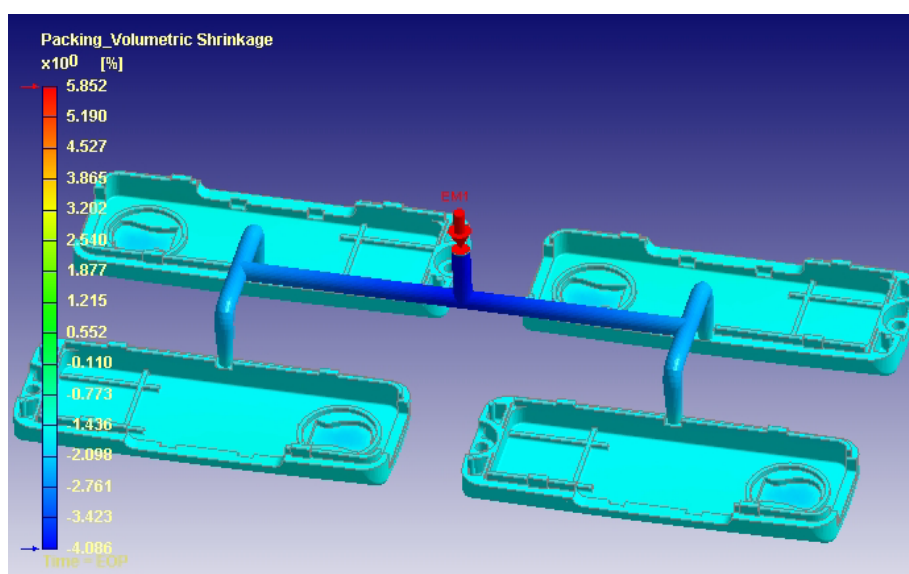


圖 6.47 體積收縮率

4. 翹曲分析結果：

產品之翹曲公差範圍為 $\pm 0.1\text{mm}$ ，而此數值也同時為分析結果之總翹曲值不可大於 0.1mm 。如圖 6.48 為分析後之翹曲值結果。

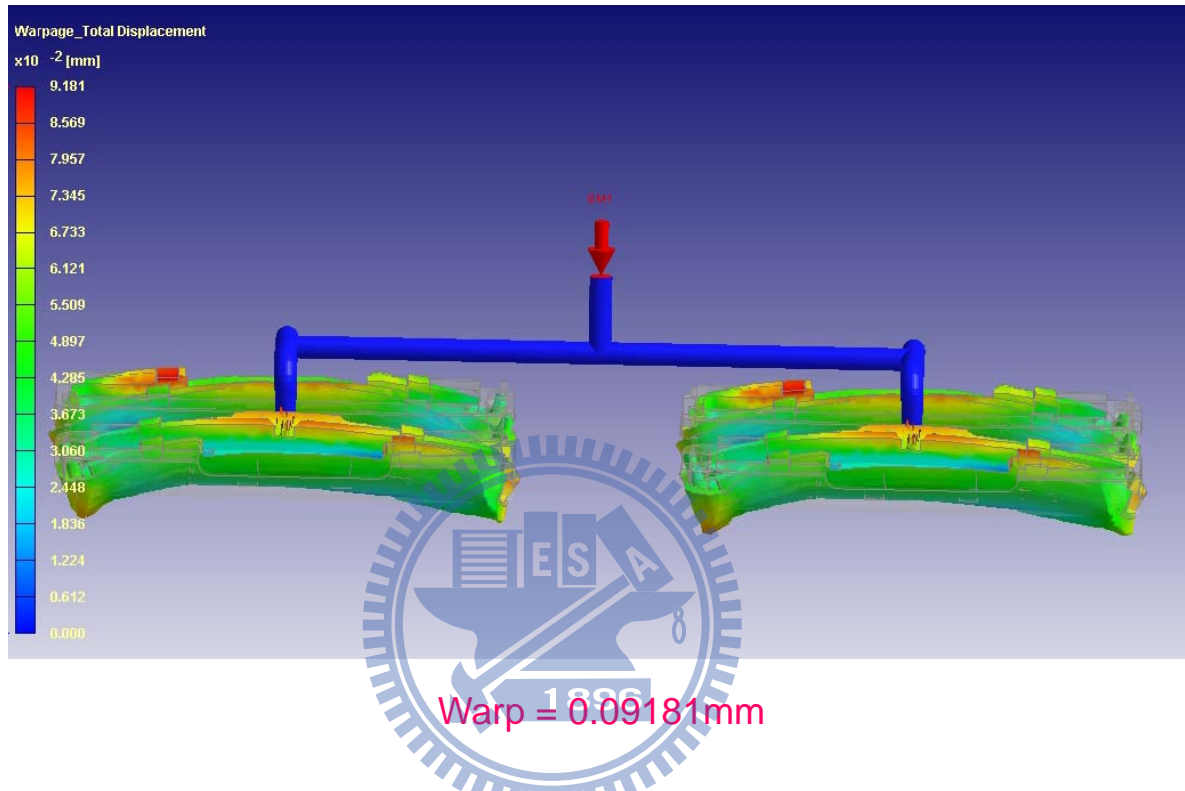


圖 6.48 翹曲分析結果

而圖中成形品之翹曲偏移位置雜亂不一，為總位移放大 100 倍之偏移情形，而實際分析結果，其翹曲值為 0.09181mm ，在規範之公差範圍 $\pm 0.1\text{mm}$ 範圍內，固此產品之模擬結果為可接受之模擬結果，而 cycle time 為 11.59sec ，固定此 cycle time 為生產效率所需之時間。

保壓壓力對於翹曲、偏位的影響：

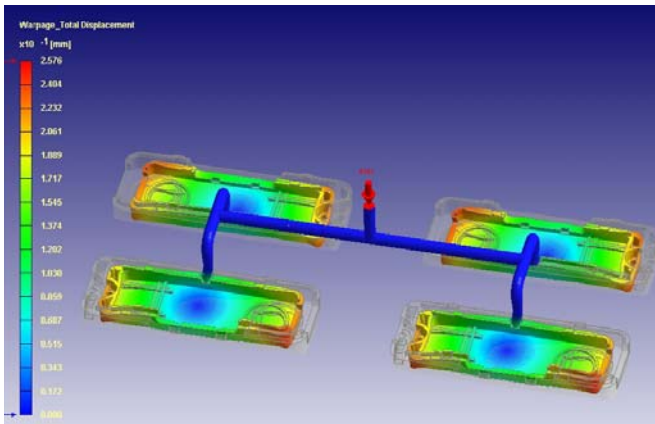
由高倍數光碟片之實驗結論中，也了解到其實保壓壓力的大小，保壓的壓力太大，則產品之翹曲會呈現過飽和而膨脹的情形，而如果保壓壓力太小，則產品之翹曲會呈現液料不足而收縮的現象。所以，在薄殼產品裡，也同樣針對保壓壓力對於翹曲值和產品偏位量做分析。

在本論文之實驗中，我們設定了五組之保壓壓力，而其他之射出參數如同上述之參數數值，如表 6.11，而經由模流軟體分析後之結果，也在表 6.11 裡面，而從圖 6.49 中也可發現到，在保壓壓力為 120MPa 時，翹曲值為最小值 0.09181mm，而將保壓壓力降低其壓力值，產品偏位呈現收縮現象，而翹曲值也變大，而反之將保壓壓力增加其壓力值，產品偏位呈現過飽和而膨脹的情形。

表 6.11 保壓壓力實驗分析翹曲值之結果表

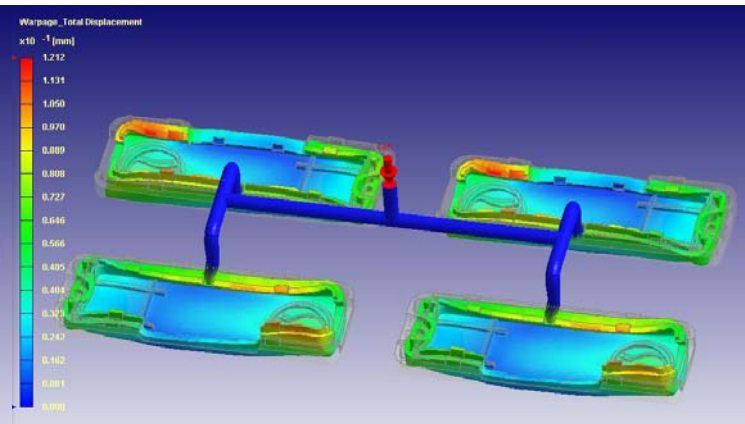
組別	保壓壓力(MPa)	偏位現象	翹曲值(mm)
1	80	收縮	0.2576 mm
2	100	收縮	0.1212 mm
3	120	微彎曲	0.09181 mm
4	140	膨脹	0.1031 mm
5	160	膨脹	0.2049 mm

1. $P = 80 \text{ MPa}$



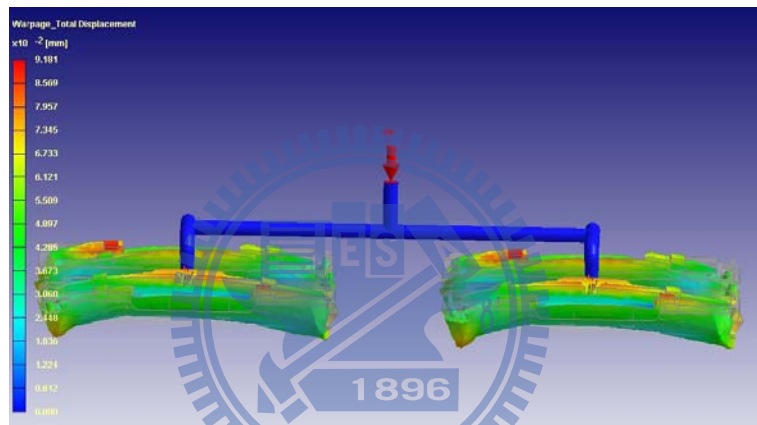
收縮現象，warp= 0.2576mm

2. $P = 100 \text{ MPa}$



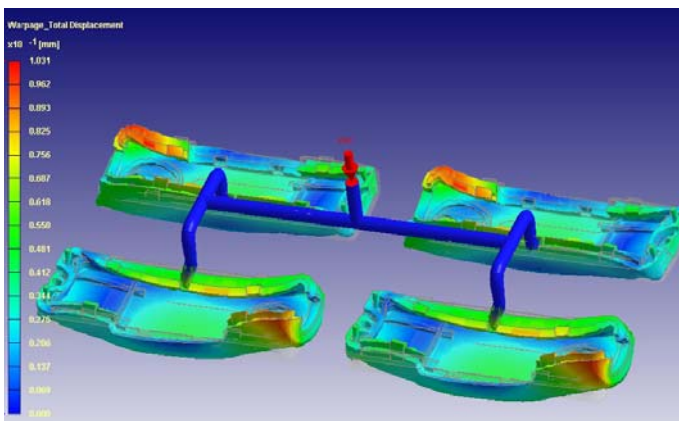
收縮現象，warp= 0.1212mm

3. $P = 120 \text{ MPa}$



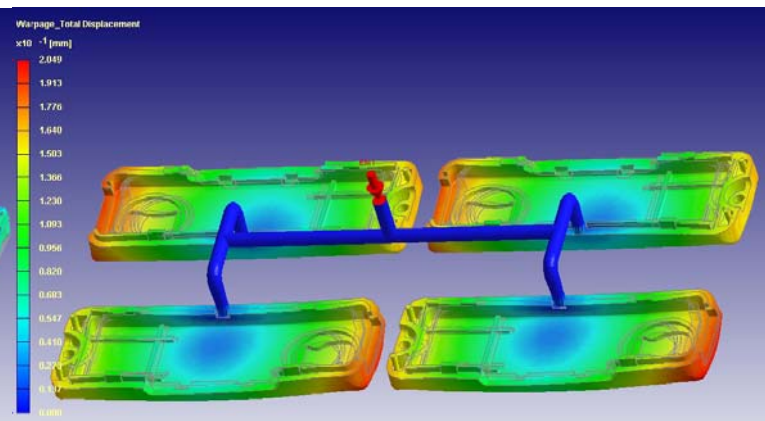
微彎曲現象，warp= 0.09181mm

4. $P = 140 \text{ MPa}$



膨脹現象，warp= 0.1031mm

5. $P = 160 \text{ MPa}$



膨脹現象，warp= 0.2049mm

圖 6.49 保壓壓力對於翹曲偏位之分析結果圖

七、結論與未來預定目標

7.1 結論

由以上的研究實驗內容得知，本論文是先利用射出模流結果配合實際修改機台之零件或參數等做比較，觀察其碟片在電腦模擬結果和實驗上機的結果所呈現的變化關係，確認電腦模擬分析結果之可信度，再利用電腦模擬軟體，找尋出模具零件之水路設計最佳化，在找尋出水路最佳化之後，再進一步利用田口實驗法，找尋出射出之最佳化參數，在確認了水路設計和射出參數的最佳化後，期待能在生產方面找出更好的製程參數，改善光碟片在生產過程中所遇到的問題，對參與之人員得以學習到相關模流分析軟體之應用，以期在未來針對薄殼件之射出產品，有更精確的研究。

實驗結論如下：

1. 在本論文研究中，初步之實際上機實驗和電腦模擬實驗比較中，執行了兩組的比較實驗，分別是 改變模具溫度比較、改變 cycle time 比較，且在此兩組實驗的結果中發現，不管是改變模溫或是改變 cycle time，其電腦模擬和實際上機實驗之結果，其趨勢是相同的，只在於數據上有些許的差異。由此兩次之比較實驗足以看出對於實際上機，電腦模擬有其一定程度上的可信度和分析效果。
2. 在水路設計的分析實驗中，從一開始的同水路分析中，由不同直徑比較→不同深度比較，先找尋出此實驗之最佳翹曲值，再進行不同

水路搭配實驗，進而找尋出在不同水路搭配時之翹曲值，反而比同水路分析有更好的翹曲值，此結果也說明了在實際上機生產時，利用不同水路搭配使用於固定側和活動側，所得出碟片翹曲值會比同水路更好。

3. 分析實驗所知不同水路搭配設計的分析與模擬結果，可歸納發現採用固定側採用雙水道式 6 水路，而活動側採用為單水道式 6 水路，而深度為 8mm，此種新型水路設計的作用效果最佳，即其所射出成形產品的翹曲值最小，此種水路為目前本研究歸納的樣式中所發現最佳之水路設計。此外，本研究也完成了模具組件之水路設計最佳化的參數分析與歸納。接下來利用較佳的參數規劃與水路類型，搭配田口實驗設計法，進行射出參數最佳化實驗，而結果也如我們所預期的，找尋到最佳的射出參數組合，本研究進行水路的最佳化和射出參數最佳化的探討，可幫助業界製作碟片或相關薄殼產品時，獲得更小的翹曲值與更有競爭力的碟片產品製造品質。
4. 在利用田口實驗得到本研究所要的最佳碟片翹曲值後，本研究同樣利用實際上機實驗，使用相同之參數因子，製作實作機台之田口實驗，用同樣方法找尋最佳之射出參數組合，也同樣的得到最佳的碟片翹曲值，證實了其田口實驗法是的是確值得相信的實驗法則。
5. 利用不同的保壓壓力值來分析翹曲結果和偏移量，而結果發現，保壓壓力對於翹曲值，確實有很強之影響力，當找尋到最適合之保壓

壓力時，其翹曲值可為最小之翹曲量，但若選定之保壓壓力不夠產品所需時，其偏移量呈現收縮現象，而翹曲值變大；若反之，保壓壓力大過於產品所需時，偏移量呈現膨脹現象，翹曲值同樣變大。

6. 以模具溫度來說，溫度提高會使充填時間增加、充填壓力降低。壓力降低可以使產品品質提升，但是模具溫度提高會使翹曲變形量增加，容易使產品變形，模具壽命減少。
7. 由實驗中可看出，當碟片兩邊的模溫不同時，模溫較高的碟片表面所吸附的熱量較多，而此時將模具打開，使碟片兩邊表面同時接觸室溫，則結果是模溫高的表面，也就是吸附熱量較多的碟片表面，其應力大，翹曲變化量大。而且，將兩邊模溫的溫差值越大，其應力越大，翹曲變化量也越大。
8. 對於此次的研究內容中，依造實驗步驟得以找尋出零件設計和參數的最佳化，對於射出工程方面和模流分析之學術研究，是有很大的助益的，更能利用模流分析作出正確之模擬分析，減少時間和金錢上的花費。
9. 在本研究裡，利用舊有的水路，再進行設計改善水路的變化，利用模擬軟體為工具，去分析水路在設計上對於光碟片翹曲的影響。我們可以以經驗為主軸，再利用學校所學的理论，透過電腦模擬軟體為工具，幫助我們快速的解決所遇的問題，提升產業的競爭力。

7.2 未來預定目標

雖然我們目前已經針對光碟片之研究內容較獲得初步的成果，而對於水路設計和最佳射出參數之選定，也有了些許之實驗成果和經驗，然而更深入探討，距離我們的要找尋更合乎薄殼產品之最佳參數和零件設計，還有一段路要走，有很多困難等著我們克服。

1. 研究經驗承接：

我們可以利用本論文研究之學習成果，建立模具零件設計之分析過程，也可同時建立電腦模擬教學之示範內容，以使學校日後在軟體教學上能方便授課，而經驗也可順利傳承下去。

2. 對於薄殼產品之研究：

除了光碟片之外，還有很多薄殼產品還有很多設計端的問題是很值得研究，我們可以將此研究所獲得之成果，如：射出速度、保壓壓力、保壓時間、水路溫度、料溫等等，能影響其光碟片的翹曲變化之成果，套用在別的薄殼產品，如：導光板等，再利用同等方法，去找尋出其對於翹曲之影響程度，以利找出最佳之射出參數，解決薄殼件之問題。

參考文獻

- [1] CD 光碟片產品演進歷程與規範，工研院經資中心，ITIS2000 年 6 月。
- [2] DVD 光碟片產品演進歷程與規範，工研院經資中心，ITIS2002 年 11 月。
- [3] E. O. Neill, C. Biles, Timothy J. Gornet, Kenneth Davis, Allen Yi, “The Benefits Of Solid Modelling In The Plastics Injection Moulding Industry”, Factory 2000 - The Technology Exploitation Process, Fifth International Conference on (Conf. Publ. No. 435),1997.
- [4] S. C. Chen, Y. C. Chen, N. T. Cheng, Ming-Shyan Huang, “Simulation Of Injection-Compression Mold-Filling Process”, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 25, NO. 7. pp. 907-917, 1998.
- [5] M. C. Huang, C. C. Tai, “The Effective Factors In The Warpage Problem Of An Injection-Molded Part With A Thin Shell Feature.”, J Mater Proc Technol, 2001.
- [6] M. C. Song, Z. Liu, M. J. Wang, T. M. Yu, D. Y. Zhao, “Research On Effects Of Injection Process Parameters On The Molding Process For Ultra-Thin Wall Plastic Parts.”, Journal of Materials Processing Technology 187-188(2007) 668-671, 2006.
- [7] C. H. Wu, Y. R. Pan, “The Study Of Injection/Compression Liquid Composite Molding”, Kaohsiung University of Applied Sciences, Da-Yeh University, Taiwan, 2007.
- [8] Babur Ozcelik, Ibrahim Sonat, “Warpage And Structural Analysis Of Thin Shell Plastic In The Plastic Injection Molding”, Gebze Institute of Technology, Department of Design and Manufacturing Engineering, 41400 Gebze-Kocaeli, Turkey, 2007.
- [9] M. H. Tsai, K. L. Ou, C. F. Huang, H. C. Cheng, Y. K. Shen, C. Y. Chang, C. H. Wu, J. H. Chen, P. J. Guan, “Study On Micro-Injection Molding Of Light Guiding Plate By Numerical Simulation.”, International Communications In Heat And Mass Transfer 35(2008)1097-1100,2008.
- [10] Masahiko TSUKUDA, Eiichi ITO, Morio TOMIYAMA, Shinya ABE, Shigeru FURUMIYA, Eiji OHNO, “50GB Read Only Memory Disc With Dual Layer Structure”, Storage Media Systems Development Center, Matsushita Electric Industrial CO., Ltd.,2002.
- [11] 周文祥，“C-MOLD 射出成型模具設計”，文京圖書有限公司，1999。
- [12] 林信隆，“塑膠射出成形”，機械技術出版社，2000。

- [13] Z. Tadmor, C. G. Gogos, "Principles Of Ploymer", John Wiley And Sons, New York, 1979.
- [14] W. H. Darnell And E. A. J. Mol, "Solds Conveying In Extrudates.", SPEJ, 1956.
- [15] 鄭璧瑩, "射出成型水路設計備忘錄 2008。", 交大 CIDMLab, 2008。
- [16] 蕭冠信, "工程塑膠成型用模具設計重點", 高分子工業第 131 期, 2007。
- [17] 郇懷恩, "塑膠機類--超高速射出成型簡介", 技術專欄。
- [18] Goyal et al. "used the White Metzner visco-elasticity model to simulate the disc mould-flow model for central pouring.", 1998。
- [19] 徐仁輝, "模具概論", 文京圖書有限公司, 1999。
- [20] 模具概論相關網站, <http://www.tyai.tyc.edu.tw/dm/course39.html>
- [21] 邱來發, 王總守, 陳德禎, "模具製作的基礎知識", 全華科技圖書, 2001。
- [22] 鐘清章, "田口式品質工程導論", 中華民國品質管制學會, 1990。
- [23] 塑膠、模具與模流分析相關網站, <http://www.vopco.com/cae/right.htm>
- [24] 柯朝塗, "高職機械類科 CAE 課程規劃與教材發展", 台灣師範大學工業教育研究所碩士論文。
- [25] 李坤河, "筆記型電腦觸控板按鍵之 CAE 分析", 國立台灣科技大學機械工程系碩士學位論文, 2005。
- [26] 楊萬象, "電腦輔助工程的重要工具 - 有限元素分析", CAD 與自動化, 9 月號, 第 110-115 頁, 1992。
- [27] 陳韶光, "有限元素求解技巧 - 求解方法之效能考量", 自動化科技, 第 119 期, 第 63-73 頁, 1994。

- [28] 楊功琪、陳珮君、蔡孟錫，“模流分析的世界”，龍華技術學院機械系。
- [29] 羅壬成，“模流分析與射出成型控制參數的優化”，國立交通大學工學院精密與自動化工程學程碩士論文，2006。
- [30] 科盛科技股份有限公司，“Moldex-3D 使用手冊”，科盛科技股份有限公司，2002。
- [31] 科盛科技股份有限公司，“Moldex-3D 模流分析技術與應用”，全華圖書股份有限公司，2007。
- [32] Global Innovations - Polycarbonates, “ISO 特性表，PC-Makrolon-2205.”, Bayer MaterialScience AG, D-51368 Leverkusen, 2009.

