

國立高雄應用科技大學  
模具工程系碩士班

碩士論文

射出壓縮製程應用於大尺寸超薄導光板精密成  
型之研究

**A Study on Fabrication of Large-area and Thin Light Guided Plates  
using Injection-Compression Molding Technology**

研究生：李乙玄

指導教授：黃俊欽 教授

中華民國一百年七月

射出壓縮製程應用於大尺寸超薄導光板精密成型之研究

**A Study on Fabrication of Large-area and Thin Light Guided Plates  
using Injection-Compression Molding Technology**

研究生：李乙玄

指導教授：黃俊欽 教授

國立高雄應用科技大學  
模具工程系碩士班  
碩士論文

**A Thesis  
Submitted to  
Institute of Mold and Die Engineering  
National Kaohsiung University of Applied Sciences  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Engineering  
in  
Mold and Die Engineering**

**July 2011  
Kaohsiung, Taiwan, Republic of China**

中華民國一百年七月



# 射出壓縮製程應用於大尺寸超薄導光板精密成型之研究

研究生：李乙玄

指導教授：黃俊欽教授

國立高雄應用科技大學模具工程系碩士班

## 中文摘要

本研究的主要目的在於探討開發大尺寸超薄型導光板的射出壓縮成型技術，以長 299.5mm、寬 173.4mm、厚 0.5mm 之 13.3 吋導光板為例，成型塑料為光學級壓克力(PMMA)，對大尺寸導光板而言，澆口設計將決定熔膠進入產品時的分布情況，因此本研究主要分別探討，以模流分析探討澆口形狀設計對導光板成形時的特性，接著以田口實驗計畫法找出澆口設計尺寸的最佳化，再以射出壓縮成型實驗中，探討射出壓縮成型的製程條件對導光板厚度及應力痕的影響。結果顯示扇形加膜狀澆口能使熔膠進入澆口時有較小的橫向壓力差及溫差，同時比衣架型澆口減少約 80%的體積；而在澆口尺寸最佳化實驗中發現，變更第二次導流厚度的貢獻度最高，其次為第一次導流厚度。在射出壓縮實驗中發現，可動側模板進行壓縮動作時，模穴內的熔膠會產生二次流動，造成產品形成應力痕。適度提高膠溫及配合螺桿多段射出，可以有效降低應力痕的產生。在射出壓縮過程中，壓縮啓始位置對導光板厚度的影響很明顯，適當的壓縮啓始位置可以避免可動側模板在充填過程中被撐開，才能確保導光板的厚度尺寸不致於過厚。而提高模溫可降低充填壓力，避免熔膠冷卻太快，均有助於壓縮動作，使導光板的厚度能符合模穴的設計尺寸。

關鍵字:射出壓縮成型、平板薄件、導光板、澆口設計

# A Study on Fabrication of Large-area and Thin Light Guided Plates using Injection-Compression Molding Technology

Student : yi syuan li

Advisors : Dr chung ching huang

Institute of Mold and Die Engineering,  
National Kaohsiung University of Applied Science

## ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate injection-compression molding can be conducted for manufacturing large size and ultra thin light guide plate (LGP). For large size LGP, uniform pressure distribution is important requirement during cycle time. Hence, gate structure plays significant role to control even pressure distribution inside of cavity. Three designs of gate structure, which are fan gate, fan and film gate, and principle of the coathanger manifold, were optimized by mold-filling program for producing polymethyl methacrylate light guide plate with length of 299.5 mm, width of 173.4 mm, and thickNess of 0.5 mm in this study. Then, the appropriate gate structure was optimized to get better gate dimensions by using Taguchi method. The injection-compression molding generates more uniform pressure distribution than traditional injection molding. Melt and mold temperature cause significantly shrinkage for large size and ultra thin LGP. Therefore, influence of molding conditions on the cavity pressure history, residual stress distribution, and the part thickNess was identified

by experiments.

The numerical results show that the fan and film gate structure produced the smallest difference of internal pressure and the lowest variation of temperature of these gate structures at near gate location. Besides, numerical Taguchi results show that thickNess of film structure of fan and film gate influences significantly on the internal pressure distribution. So, the fan and film gate reduces a decrease in volume and it is 20% volume of the principle of the coathanger manifold gate. From the experimental results, we found that stress mark arises during compression stage. And high mold temperature and injection speed reduce the stress mark. The mold temperature and a predefined compression position are important keys which affect significantly the plastic part thickNess. Through this study, the fan and film gate structure is applicable for manufacturing large size and ultra thin light guide plate using the injection-compression molding process. The influences of the mold temperature, the injection speed, and the predefined compression position on plastic part quality are considered in this research.

Key word : Injection-compression, LGP (Light Guide Plate) , Thin-walled product, Gate design

## 誌 謝

兩年的研究所生活將告一段落，回顧這兩年的研究生涯可說是多采多姿。這段期間很感謝陪著我一起成長、學習、互相鼓勵求進步與指導我的夥伴們。

首先非常感謝我的指導教授 黃俊欽教授。老師的學術涵養與待人處事態度是值得我們學習的榜樣。在老師的細心指導與經驗分享，讓我除了在學識上增長外也讓我累積了不少現場經驗，並且很感謝老師的在論文上的指教讓論文內容上可以更加的完備，而在生活上也對我非常關心照顧。還要感謝口試委員王珉玫教授、鐘文仁教授、黃聖杰教授與 李輝煌教授，四位口試委員對於論文的審查以及口試期間所給予諸多寶貴的意見和指正，促使本論文更加完善。

其次我要感謝我的家人，在我遇到挫折與瓶頸時給我鼓勵與開導，並且這兩年來的支持與包容，讓我充滿信心往前邁進。

最後要感謝成功學長、坤霖學長、威斑學長、裕峰學長、耀俊學長、君達學長在研究期間的指導與協助。感謝同窗好友試閔、鈺鈞、宏偉與一帆的互相鼓勵與打氣，讓這兩年的研究生涯充滿回憶。也感謝學弟妹晨鋒、易承、文旺、宗模這段期間的分擔實驗室事務。

碩士這段期間，受到很多人的照顧與教導，真的很感謝你們，讓我受益良多並且讓我茁壯、專業領域更加踏實。

# 目錄

中文摘要 .....	i
ABSTRACT .....	ii
誌謝 .....	iv
目錄 .....	v
表目錄 .....	vii
圖目錄 .....	viii
第一章 緒論 .....	1
1.1 前言 .....	1
1.2 背光模組簡介 .....	2
1.3 導光板簡介 .....	4
1.4 研究動機 .....	7
1.5 文獻回顧 .....	8
1.6 論文架構 .....	12
第二章 基本原理 .....	16
2.1 射出成型(injection molding, IM) .....	16
2.3 薄壁射出成型製程簡介 .....	20
2.3.1 薄壁成形的問題及解決方法 .....	21
第三章 模具設計分析 .....	29
3.1 射出壓縮成型模具設計 .....	29
3.2 導光板澆口形狀設計 .....	32
3.2.1 澆口形狀設計及模流分析 .....	33
3.2.2 三種澆口型式結果比較 .....	35
第四章 實驗方法與檢測 .....	59
4.2 實驗材料與設備 .....	59
4.3 澆口尺寸最佳化實驗 .....	60
4.3.1 澆口尺寸因子設計 .....	60
4.3.2 定義尺寸最佳化指標 .....	61
4.4 田口實驗計畫法 .....	61
4.4.1 簡介 .....	61
4.4.2 步驟 .....	62



4.4.3 品質特性與種類.....	62
4.4.4 選擇直交表.....	64
4.4.5 計算 S/N 比.....	64
4.4.6 交互作用(Interaction).....	65
4.4.7 變異數分析(Analysis Of Variance, ANOVA).....	65
4.4.8 最佳因子組合與最佳理論值.....	67
4.5 射出壓縮成型實驗.....	68
4.5.1 射出壓縮成型模式.....	68
4.5.2 射出壓縮成型參數設計.....	68
4.6 光學及厚度檢測.....	69
第五章 結果與討論.....	84
5.1 田口實驗對導光板澆口設計最佳化探討.....	84
5.2 射出壓縮成型實驗探討.....	85
5.2.1 應力痕的形成與對策.....	87
5.2.2 探討不同射出速度達到目標厚度之成形視窗.....	88
第六章 結論.....	100
6-1 結論.....	100
6-2 未來研究發展.....	101
參考文獻.....	102
作者簡介.....	104

## 表目錄

表 1-1 導光板微結構製造方式技術比較表 .....	13
表 3-1 澆口設計模擬分析參數設定 .....	37
表 3-2 澆口設計體積比較 .....	37
表 3-3 澆口 9 點壓力量測值及壓力差 .....	38
表 3-4 澆口 9 點溫度量測值及溫差 .....	38
表 3-5 澆口設計結果比較 .....	39
表 4-1 GH-1000S 光學級壓克力 (PMMA) 物性表 .....	70
表 4-2 射出機合模規格 .....	71
表 4-3 射出機塑化射出規格 .....	71
表 4-4 四個控制因子之直交表 .....	72
表 4-5 四個控制因子之回應表 .....	72
表 4-6 四個控制因子之誤差統合表 .....	73
表 4-7 四個控制因子之變異數分析表 .....	73
表 4-8 射出壓縮成型參數配置 .....	74
表 4-9 射出壓縮成型變更參數設計 .....	74
表 4-10 射出壓縮成型變更參數設計 .....	75
表 4-11 射出壓縮成型變更參數設計 .....	75
表 4-12 量測點規格標準 .....	76
表 5-1 田口氏實驗計畫法因子與水準表 .....	89
表 5-2 田口實驗 9 點量測結果及壓力差 .....	89
表 5-3 信號雜音比 .....	90
表 5-4 品質特性的因子反應表 .....	90
表 5-5 變異數分析表 .....	90
表 5-6 田口橫向壓力均勻性比較 .....	91
表 5-7 螺桿射出速度與切換點對照 .....	91

## 圖目錄

圖 2-1 結晶性與非結晶性塑膠的分子示意圖.....	24
圖 2-2 塑膠分類圖.....	24
圖 2-3 射出成形程序示意圖.....	25
圖 2-4 射出成型法與射出壓縮成型法模具內熔膠壓力分布示意.....	26
圖 2-5 壓力控制模式.....	26
圖 2-6 位置控制模式.....	26
圖 2-7 射出壓縮成形程序示意圖.....	27
圖 2-8 噴泉流效應.....	28
圖 3-1 導光板尺寸圖.....	39
圖 3-2 第一種射出壓縮模具示意圖.....	40
圖 3-3 第二種射出壓縮模具之示意圖.....	40
圖 3-4 冷澆道偏心模具示意圖.....	41
圖 3-5 熱澆道模具示意.....	41
圖 3-6 冷卻管徑與管距之設置關係.....	41
圖 3-7 冷卻水路配置圖.....	42
圖 3-8 頂出位置配置圖.....	42
圖 3-9 黏度曲線圖.....	43
圖 3-10 黏度 PVT 曲線圖.....	43
圖 3-11 扇形澆口.....	43
圖 3-12 扇形澆口平均速度分佈.....	44
圖 3-13 扇形澆口充填結束壓力分佈.....	45
圖 3-14 扇形澆口充填結束溫度分佈.....	45
圖 3-15 扇形澆口體積收縮分佈.....	46
圖 3-16 扇形澆口翹曲總變形放大 10 倍分佈.....	46
圖 3-17 扇形加膜狀澆口.....	47
圖 3-18 扇形加膜狀澆口平均速度分佈.....	48
圖 3-19 扇形加膜狀澆口充填結束壓力分佈.....	48
圖 3-20 扇形加膜狀澆口充填結束溫度分佈.....	49
圖 3-21 扇形加膜狀澆口體積收縮分佈.....	49
圖 3-22 扇形加膜狀澆口翹曲總變形放大 10 倍分佈.....	50
圖 3-23 衣架模結構示意圖.....	50
圖 3-24 衣架型澆口示意圖.....	51

圖 3- 25 衣架型澆口平均速度分佈.....	52
圖 3- 26 衣架型澆口充填結束壓力分佈.....	53
圖 3- 27 衣架型澆口充填結束壓力分佈.....	53
圖 3- 28 衣架型澆口體積收縮分佈.....	54
圖 3- 29 衣架型澆口翹曲總變形放大 10 倍分佈.....	54
圖 3- 30 壓力與溫度九點量測方式.....	55
圖 3- 31 九點量測壓力曲線.....	55
圖 3- 32 九點量測溫度曲線.....	56
圖 3- 33 模具加工圖.....	57
圖 3- 34 模具實體圖.....	58
圖 4- 1 研究流程圖.....	76
圖 4- 2 日鋼射出成形機.....	77
圖 4- 3BM7 六軸輝度計.....	77
圖 4- 4 田口實驗流程圖.....	78
圖 4- 5 扇形加膜狀澆口熔膠流動路徑.....	79
圖 4- 6 澆口尺寸設計變更因子.....	79
圖 4- 7 澆口壓力量測值示意.....	80
圖 4- 8 品質特性因子(魚骨圖).....	80
圖 4- 9 射出壓縮機台 B3 模式.....	81
圖 4- 10 13.3 吋背光模組.....	81
圖 4- 11 5 點量測法示意圖.....	82
圖 4- 12 13 點量測法示意圖.....	82
圖 4- 13 光學輝度量測示意圖.....	83
圖 4- 14 中間厚度(點 5~6)及四邊厚度(點 1~4)量測點.....	83

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

隨著平面顯示器(Flat Panel Display)在科技不斷提升的時代與品質不斷精進，從早期的陰極射線管(Cathode Ray Tube, CRT)發展至今的液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)、電漿顯示器(Plasma Display Panel, PDP) 及薄膜電晶體液晶顯示器 (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD)等，其產品特性皆以輕、薄、短、小、省電、高亮度、高品質、高解析度為導向，其中以薄膜電晶體液晶顯示器技術最受注目，在政府積極推動及各廠商積極投入與量產實績下，從小尺寸之彩色手機、PDA 到大尺寸之平面電視應用，顯示著高品質顯示器的時代已經來臨。

薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)為市場主流，其 TFT-LCD 顯示原理為由背光模組發出之光源照射在偏光板上，當光線在穿過偏光板後會產生偏極化現象，使每一個光線分子在能量、相位、頻率和方向上的特性都相同，偏極化的光線繼續傳遞至液晶層，此時將玻璃基板上的電晶體施以電流通過而產生電場變化，造成液晶分子偏轉，改變偏極化光線的偏光角度，因上偏光板僅允許特定偏光角度的光通過，所以不同的偏光角度的光所造成的光線強度會不同，藉此控制每個畫素 (Pixel)的明暗狀態，如圖 1-1 所示，其結構包括：背光模組(Backlight module)、偏光板(Polarizing Sheet)、透光電極(Transparent Electrodes)、配向膜(Alignment Layer)、液晶(Liquid Crystal)、彩色濾光片(Color Filter)及間隔裝置(Spacer)等零組件所組成。

由於液晶面板本身不具發光特性，必須藉助背光模組提供充足的亮度與分佈均勻的光源，使面板達到顯示的功能。而背光模組為僅次於彩色濾光片之 LCD 面

板第二大關鍵零組件，據科技市場研究機構 Display Bank 表示，LED、LCD TV 在近期呈現非常驚人的成長態勢，面對市場需求激增，2011 年恐引發 LED、LCD 及 TV 用導光板及原材料供不應求的問題，預估 LED LCD TV 在 2011 年的市場規模將達 7,800 萬台的規模，其中具 Slim Design 優勢的 EDGE 型 LED LCD TV 的需求將持續提升。另外，未來原材料的整體供應狀況也會持續緊湊，因此使得導光板廠商針對(1)薄型化、(2)高輝度化及(3)新製程/新材料方面的開發，亦會持續投入。

[1]

## 1.2 背光模組簡介

背光模組是LCD模組中的一個重要零件，其主要提供LCD面板均勻、高亮度的光線來源，基本原理係將常用的點或線型光源，透過導光板將有效光轉換成高亮度且均一輝度的面光源。一般而言，背光模組依光源位置不同可分為側光式(Edge Lighting)與直下式(Bottom Lighting)兩種，如圖1-2所示，分別應用於不同尺寸的液晶面板與光學產品上。直下式背光模組一般用於大型液晶面板，例如：LCD TV、LCD Monitor，其設計是整體結構不含導光板且光源放置於背光模組正下方，但直下式對注重輕薄化的光學產品而言是不適用的。而側光式背光模組常用在輕薄形數位產品，例如：Notebook、手機、PDA...等，其設計是光源搭配導光板應用，可大大地減少背光模組的厚度與重量，使光學產品擁有輕量、薄形、窄框化、低耗電等特色。側光式背光模組構造包含發光源、導光板(LGP)、增亮膜(BEF稜鏡片)、擴散板(Diffuser)、反射板、偏光膜、塑膠框等構成，如圖1-3，各組件功能分述如下：

### (1) 發光源(Light source)

具備亮度高及壽命常等特色，目前主要有冷陰極螢光管(CCFL: Cold

cathode fluorescent lamp)、發光二極體(LED Light emitting diode)等二種，其中冷陰極燈管具有高輝度、高效率、壽命長、高演色性等特性，加上圓柱狀外形因此很容易與光反射元件組合成薄板狀照明裝置，故目前以冷陰極螢光管為主流，但一般相信未來將以白光發光二極體為應用趨勢。

## (2) 燈反射照(Lamp Reflector)

當光源為冷陰極螢光管可收集所有由燈管發出的光，使其導向進入導光板中；而當光源為LED時，可固定LED Bar，增加其機構性。

## (3) 導光板(light guide plate)

應用於側光型背光模組，是影響光效率的重要元件，以PC及PMMA為材料用射出成型或射出壓縮成型法製成。背光模組的光源，藉由導光板(LGP)引導成平面出光，再經擴散片均勻化作用及稜鏡片的聚光作用，使其在出光平面具有高亮度及高均勻性的光學品質。導光板的導光性能取決於表面的微米級結構設計，有V溝、點狀、柱狀等不同型式，其尺度在數微米( $\mu\text{m}$ )至數十微米，配合不同疏密的設計，能夠破除光線在導光板內部的全反射現象，使進入導光板的光線能夠均勻地由出光面的法線方向射出，提供顯示器面板所需的足夠光源。

## (4) 反射板(Reflector)

一般側光式背光模組的反射板放置於導光板底部，將自底面漏出的光反射回導光板中，防止光源外漏，以增加光的使用效率；而直下式背光模組則是置於燈箱底部表面或黏貼於其上，將經擴散板反射之光束由燈箱底部再次反射回擴散板，以便再次利用。

## (5) 擴散板(Diffuser)

擴散板、擴散片之功能為提供液晶顯示器一個均勻的面光源，一般傳統的擴散膜主要是在擴散膜基材中，加入一顆顆的化學顆粒，作為散射粒子，而現有之擴散板其微粒子分散在樹脂層之間，所以光線在經過擴散層時會不斷在兩個折射率相異的介質中穿過，在此同時，光線會發生許多折射、反射與散射的現象，如此便造成了光學擴散的效果。

#### (6) 增亮膜(BEF稜鏡片)

光自擴散板射出後其光的指向性較差，因此必須利用稜鏡片來修正光的方向，其原理藉由光的折射與反射來達到凝聚光線、提高正面輝度的目的，以增加光線自擴散板射出後的使用效益，增亮膜使能整體背光模組的輝度提高60%-100%以上。主要以多元酯(polyester)或聚碳酸酯(polycarbonate)為材料，其表面結構一般為為稜形柱體或半圓柱體。目前3M公司為全球獨家供應商，擁有多項相關專利，通常一部背光模組會使用兩片增亮膜，彼此方向垂直，將光集中增加輝度。

### 1.3 導光板簡介

導光板的主要功能在於導引光線方向，以提高面板的輝度並控制面板亮度的均勻性，其原理是在平面上以微細之微結構分佈來破除光線的全反射，造成擴散效果，使整個背光模組之光線柔和且輝度均勻，導光板的成形好壞對背光模組影響甚鉅，是影響光效率的關鍵零組件之一。導光板依外型可分為楔型與平板型，楔型導光板一般用於筆記型電腦、手機、PDA 等要求輕薄化的產品上，而平板型導光板則是適用於桌上型電腦、監視器等大尺寸產品。但由於輕、薄、短、小及降低成本的潮流使然，筆記型電腦、手機、PDA 等中小尺寸用的楔型導光板轉變



成均一厚度的平板型導光板，而外型的轉變將影響導光板的成形難易，此一發展趨勢將是未來的關鍵技術。一般厚度的導光板可利用射出成形搭配適當的成形條件來製造，此時的充填較不會產生明顯的翹曲變形與過大的殘留應力，但隨著薄形化的發展趨勢，導光板的厚度越做越小，成形的難度也越來越高，因此各種成形缺陷便一一顯現出來。在導光板微結構的製造方面，其擴散效果可藉由印刷式與非印刷式來達成，其技術比較如表 1-1 所示，以下為微結構的各類製程簡介。

### 1. 印刷式

導光板是先利用射出成形的方法將光學級壓克力(PMMA)射出成表面光滑的楔形板或是平板，再利用高反射率且不吸收光的材料如  $\text{TiO}_2$  和  $\text{SiO}_2$ ，在導光板底面以網板印刷方式將圓形或方形之擴散點印上，並經由烘烤使其固化，當光源(例如發光二極體或冷陰極燈管)照射到導光板的擴散點後則會產生散射象，因此控制網點上的分佈以及大小即可達到均勻引導光源之目的，但因出光的散射角較大及印刷點亮度對比較高，必須使用較厚的擴散板覆蓋及稜鏡片集光達到光學與外觀的要求。

### 2. 非印刷式

非印刷式導光板大多採用射出成形的方式，將微結構的設計，直接加工至模仁上，使導光板與微結構在射出時一體成形，此技術可透過模仁上設計的微結構形狀及深寬比，達到控制出光角度的目的，如此可提高微結構之精密程度，減少光傳播過程中之損失率，有效提高液晶顯示器的輝度和均勻度，並且簡化傳統先裁板後印製網點的製程，加快生產速度，以達到降低成本的效果。此技術適用於中小尺寸之液晶顯示器，而精密光學模具開發技術與精密射出成形技術便成為技術瓶頸之所在。目前非印刷式的微結構之大小、分佈製作方法有：

微精密加工法、化學蝕刻法、光微影法、內部擴散法，以下為各類技術的簡介。

(1) 微精密加工法:

主要是以鑽石超精密加工的方式切削出 V 型槽的結構，一般的模具鋼材採用不銹鋼 420 系列的鏡面鋼 STAVAX 來加工，或是在化學鍍鎳的模具鋼表面、鈹銅等軟質金屬切削，藉由 V 型槽兩側的反射鏡面來破壞全反射，使光源由導光板正面射出，由 V 型槽之寬度及深度控制出光面之光學強度及性質。切削方式的優點為輝度的提高及製造方便，另外在出光面亦使用切削的方式製造與稜鏡片結構相似的鏡面結構，更能增加輝度，但在均一性上仍待加強。

(2) 化學蝕刻法:

以感光性油墨或乾膜光阻塗佈於鏡面處理之模具鋼上，利用光學微影製程的曝光與顯影後，將圖形轉移至油墨或乾膜光阻上，再以蝕刻液(氯化鐵溶液)進行蝕刻，而蝕刻的深度以時間的長短控制，但是蝕刻的網點大於印刷的網點，全反射被破壞的程度不如印刷式，輝度亦不如印刷成型的導光板，化學浸蝕之速度與均勻性無法良好控制，因化學性蝕刻而影響光學表面，模具鋼容易氧化生鏽且不易保養，光阻膜之附著性不佳而剝落造成圖樣蝕刻缺陷。

(3) 光微影法:

利用光學微影製程曝光、顯影後，可得到柱狀微結構，再經由熱迴流製程，使得柱狀微結構受到高溫烘烤轉變成半圓狀，然後鍍上導電層並電鑄，即可得到具有擴散點的模仁，以模具射出形成擴散點(Dot)，亂射面的設計，能有效破壞光源之全反射，並控制光源射出導光板面之角度分布及網點數量的多寡，對光源作有效率的控制。

(4) 內部擴散法:

在壓克力的材料內加入具擴散性質的顆粒材料如 PMMA 在射出成型時直接射入導光板模具內部，利用濃度的不同對光源作有效率的射出調制。優點為均勻分布在導光板並降低光源仍留在導光板內損耗的可能且製造方便，但技術未成熟。

#### 1.4 研究動機

因應近年來資訊及電子產品的市場蓬勃發展，產品功能不斷的提升，對於液晶顯示器而言，應用於側光式LED背光設計的導光板，爲了要同時達到大型化、薄型化的要求，並且符合成本、面積、厚度等條件的大型超薄導光板，遂漸成爲LED背光LCD TV供應鏈中，備受重視的關鍵零組件之一。傳統射出成形在針對薄件產品需使用高射速、高射壓進行充填，導致在薄件導光板的成形上有充填不易、過大殘留應力與嚴重翹曲變形的問題，若是充填面積與流長比變大時，此問題將更爲嚴重，此時具備射出與壓縮兩種成形方式的射出壓縮成形便衍生而出，並廣泛應用於薄殼產品與光學產品。

在模具設計部分，由於導光板成形製造的成敗有賴於良好的模具設計，其中澆口設計決定熔膠在模穴內的流動情形，不合適的澆口設計將會使導光板在成形上有壓力較大、溫度分佈不均與收縮不均等問題，理想的澆口設計，可使熔膠同時進入產品，並且使熔膠在模穴內流動所損失最少的能量。故本研究針對模具中的澆口設計改善熔膠在模穴內的流動方向與平衡性來獲得好的品質。

在製程方面，則進一步使用射出壓縮成型的成型方式。射出壓縮成形結合了射出成形與壓縮成形，在一般射出成形製程中加入壓縮閉模的製程。此種方式爲讓模具不完全閉模，使熔膠在模穴內流動空間增加，可降低充填模穴所需之射出壓力，讓整個充填過程在比較低的壓力環境下完成，接著利用鎖模機構閉鎖模具，

由模仁或模壁向模穴內熔膠施加均勻閉合壓力，對內部熔膠進行擠壓，使其均勻完整充填模穴，以壓縮動作來完成模穴充填，讓模穴內熔膠可以得到均勻壓力分佈，使得產品達到消除收縮不均、降低殘留應力與改善翹曲變形的效果。

本研究主要在於探討優化澆口設計並利用射出壓縮成型技術改善傳統射出成形所需的高射速、高射壓所造成的收縮不均、翹曲等問題。探討製程條件對導光板厚度的影響，提高導光板精度。本論文研究流程如圖1-4。

## 1.5 文獻回顧

在背光模組中，導光板為一影響色彩顯現的關鍵性元件，其發展有逐漸朝向薄件成形的趨勢，因為薄件成形而產生的充填不易、過大殘留應力與翹曲等問題一直存在著，為了克服成形缺陷，各界已有相當多針對製程方面及模具澆口設計的研究。以下分為針對射出壓縮成形及模具澆口設計兩種文獻探討

### 1. 射出壓縮成形

Chen 等人[2]在 1996 年模擬射出壓縮成型結果發現壓縮的速度是影響成型壓力最重要的因素，在適當的壓縮速度可使成型壓力比傳統射出低，因而殘留應力也可隨之降低，也發現射出壓縮成型成品在充填完成後溫度分布也較均勻。

簡惠民[3]在 2002 年針對楔型板的厚度差異來比較不等行程射出壓縮成形、射出壓縮成形及射出成形，探討三種成形方式對楔型板之平面度、殘留應力及表面微結構轉寫性的影響。實驗結果，不等行程與等行程射出壓縮成形的成品平面度都優於射出成形，且光彈量測發現射壓的殘留應力較小。

Liyong[4]在 2003 年，探討微結構成型的模擬分析，發現若以傳統 2.5D 中央面的分析方式將會很大的誤差，其進行厚度方向的 2D 流場分析，發現在微結構的充填結果與完整的 3D 模擬分析類似。但導光板表面的微結構數目甚多，以 2.5

吋導光板為例，表面 V-溝的數目可達數佰至數仟條，若以完整的 3D 模擬分析，將導致網格過於龐大，甚至無法執行。

Dan Barrows[5]在 2003 年以厚度為 0.5mm 與 1mm 的物件，探討射出壓縮壓對流動長度、充填壓力與殘留應力的關係，其結果顯示，射出壓縮成型可提高流動長度與降低充填壓力，且能有效地降低成品內部的殘留應力。

Wu[6]以楔型導光板在 2003 年，探討射出成型與射出壓縮成型製程，以變更成形參數：射出速度，熔膠和模具溫度，保壓壓力，保壓時間和冷卻時間，比較兩種成形方式。發現以射出壓縮成型時，楔型導光板會得到較大的收縮量。

Shen 等人[7]在 2004 年以 2.5D(mid-plane)與 3D 模型，分析楔型板件在射出成型時的充填行為，發現使用 3D 模型所產生的結果，在壓力分佈與充填行為都與實驗結果相近。

黃彥文[8]在 2004 年以 2.2 吋、厚度為 0.6mm 平板型導光板，探討射出成型與射出壓縮成型對翹曲變形、光學性質及殘留應力的影響。實驗結果顯示，射出壓縮成型能有效降低殘留應力與翹曲量，且其光學性質亦優於射出成型。

楊明峰[9]在 2007 年以六吋、厚度為 1mm 的導光板為例，探討射出成型與射出壓縮成型對翹曲的影響，發現模穴內的溫度差異與壓力不均是影響導光板產生翹曲的主要原因，使用射出壓縮成型可有效消除澆口附近的殘留應力，因此對於導光板的翹曲變形有顯著的改善。

李俊賢[10]在 2007 年針對 17 吋大尺寸導光板進行射出壓縮成型法對其 V 溝槽微結構轉寫品質之探討。並以田口式品質工程法評估對製程參數與導光板品質之關係，結果顯示，提高模具溫度與模具壓縮可提高導光板轉寫高度，其轉寫高度從 78.25% 提升至 82.38%，並使原本大尺寸導光板整體平均轉寫高度改善 5.3%。

王建智[11]在 2008 年以六吋導光板為例，發現在平面度實驗中搭配田口法，可得知塑料溫度為最重要的控制因子，而對光學輝度最重要的因子為模具溫度，微結構的轉寫率為近澆口>遠澆口，是因為壓力不易傳遞至遠澆口而容易產生收縮情形，造成遠澆口轉寫率較差。

## 2. 澆口設計

Lam 和 Jin[12]在 2001 年指出較佳的澆口位置能在充填過程中將模穴同時間充填完成，且可改善模穴內壓力與溫度不均情形；在文中指出流動路徑標準偏差(Standard Deviation Flow Path Length,SDL)適合等厚度模穴澆口最佳化及填充時間標準偏差(Standard Deviation Filling Time,SDT)適合非等厚度模穴澆口最佳化。

Zai 與 Gu[13]在 2002 年，利用數值模擬與最佳化方法，以一 20 \*20(cm)之正方形平板，以融膠流動至充填末端的時間差最小為最佳化目標，即充填到平板四角的時間一致，比較從產品中心進澆與偏離產品中心進澆，從研究結果發現，當澆口位置在產品中心時可得到較平衡的充填時間(熔膠充填至平板四個角落的時間差為 0.01s)、也可降低模內最大壓力(約降低 60%)。

Kim[14]在 2003 年等人提出塑膠產品中澆口的位置，在射出過程容易造成流動阻力增加使融膠在澆口的位置停滯並凝固，造成塑件短射現象產生，改變澆口位置以改善融膠停滯於澆口位置現象，但該文僅針對少數澆口位置進行模擬並從中挑選最佳之澆口位置。

Zhai 與 Gu[15]在 2003 年指出填充階段融膠流動的不平衡是影響塑件翹曲變形的一個重要因素。文中以最大射出壓力為約束條件，以充填平衡與澆口數目最少為目標，證明利用遺傳演算法(Genetic Algorithm Method,GA)進行澆口最佳化設

計與實際模擬相符合。

Shen[16]等人在 2003 年指出填充階段的流動平衡、溫度差、壓力分佈與摩擦熱是影響塑件翹曲的重要因素。文中結合基因演算法與充填分析，求解澆口位置最佳化；指出該方法不但適合單澆口位置最佳化，也適用於多澆口位置最佳化。

洪慧倫[17]等人在 2010 年以一 20mm\*20mm\*1mm 的薄件平板為例，以模流分析探討不同澆口設計之充填時壓力損失及翹曲變形量的影響，另外探討澆口設計寬度及高度對微溝槽成行率與成品平面度的品質影響，結果顯示壓力損失小可以提高微溝槽的充填率，寬度 30%與高度 70%的澆口設計能有效改善原來成品品質。



## 1.6 論文架構

本文分為六章以下分別簡述之

### 第一章 緒論

簡介平面顯示器 TFT-LCD 液晶顯示器以及背光模組在 TFT-LCD 上的應用，及介紹背光模組的結構與種類，並針對導光板的相關文獻做探討，最後說明本論文的研究動機。

### 第二章 成形理論

首先介紹射出成型、射出壓縮成型及薄殼射出成型等原理，並探討高分子材料在射出壓縮成形中的成型特色。

### 第三章 模具設計

本章探討導光板的模具設計流程與成型分析，根據導光板之特徵來規畫整體模具的設計，並利用模流分析軟體針對三種不同澆口設計進行澆口最佳化分析。

### 第四章 成形實驗與檢測

本章介紹論文的實驗流程、設備與實驗方法，且針對導光板做射出壓縮成型實驗探討、最後進行輝度及尺寸精度檢測等。

### 第五章 結果與討論

分別針對實驗與模流分析之結果進行探討，利用模流分析找出不同澆口形狀對澆口設計之最佳化結果，接著探討製程條件對導光板厚度的影響。

### 第六章 結論與未來發展

本章為將實驗結果做一整理與分析、總結實驗之結論，並提出對於未來相關研究之建議與展望。



表 1-1 導光板微結構製造方式技術比較表

	生產方式	優點	缺點
印刷式	利用射出成型法，成型後的壓克力內面利用印刷方式，印出形狀	可輕量化 可改善微細的光 可任意設計構造、形狀	需要印刷模具費用
非印刷式	利用精密模具技術，直接在模具上產生精密溝槽或球狀，產生光線均勻分布的效果	高效率、低成本 可達輕量化 可任意設計構造形狀	初次費用高 需耗模具開發時間
擴散式	在壓克力材料上加入異質高分子聚合物，以內部擴散方式，使導光板發光	不用印刷	改善較困難 須花費較多的時間 調配添加量的比例

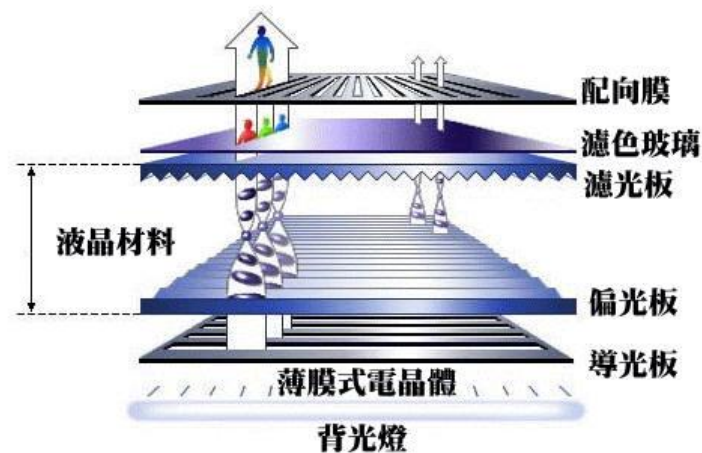
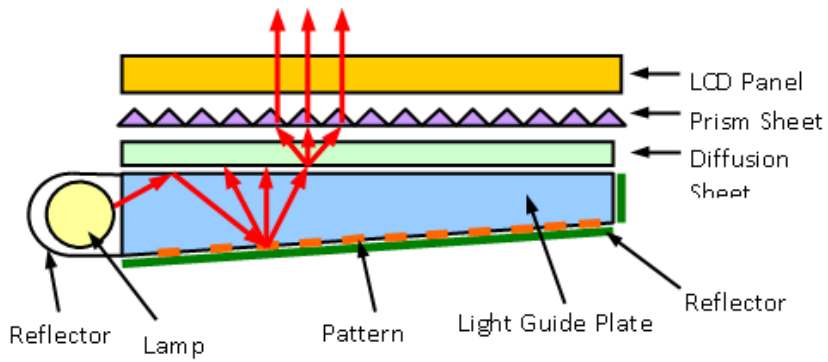
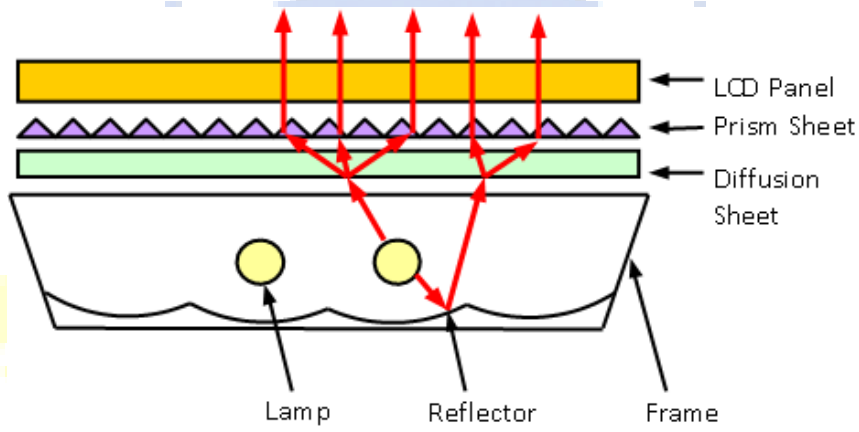


圖 1- 1TFT-LCD 的顯示原理



(a) 側邊光源背光模組



(b) 直下式背光模組

圖 1-2 背光模組種類

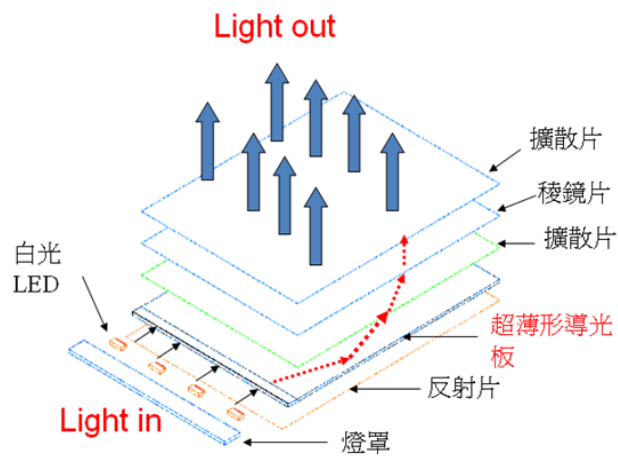


圖 1-3 背光模組結構圖

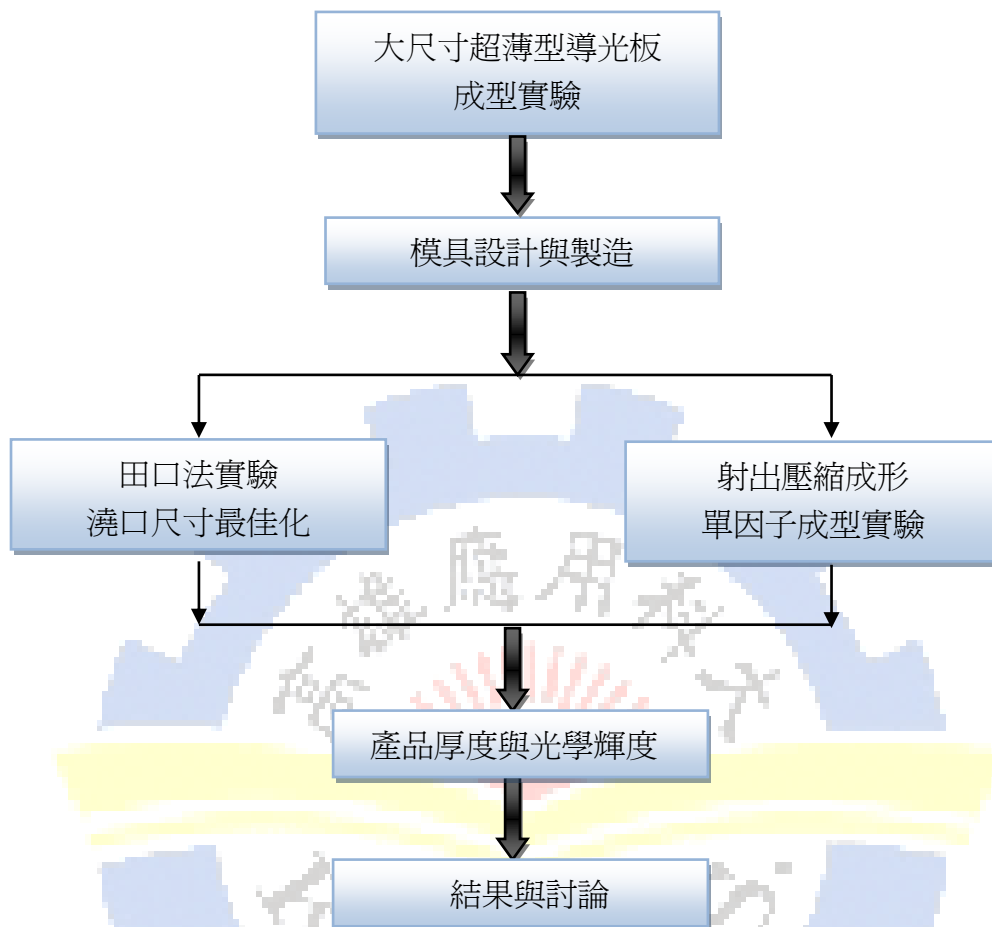


圖 1-4 論文研究流程

## 第二章 基本原理

塑膠是由分子量非常大的有機化合物所組成，是一種人造的高分子化合物，是由原料的單體(monomer)化合物經聚合而成的聚合物(polymer)，一般而言由分子結構和交聯情形，塑膠原料可大分為兩大類：「熱塑性塑膠」(Thermoplastic)及「熱固性塑膠」(Thermosetting)。熱塑性塑膠，係指塑膠受熱即軟化，將其冷卻後則固化成型，若再次加熱則又會變成熔融的狀態，而可進行再次的塑化成型，可反覆成形使用的塑膠，稱做熱塑性塑膠。熱塑性塑膠又可以分為結晶性塑料(Crystalline Plastic)與非結晶性塑料(Amorphous Plastic)，結晶是指分子規則排列集成者，一般來說排列規則的部分為結晶部份，排列不規則的部分為非結晶部份，如圖2-1所示。非結晶性之塑膠其透明度甚高如苯乙烯(PS)、壓克力(PMMA)和聚碳酸酯(PC)等，屬於結晶性之塑膠則有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚醯胺(PA)等。相反的，熱固性塑膠則是加熱到一定溫度後變成固化狀態，即使繼續加熱也無法改變其狀態，以圖2-2說明各種業界常用之塑膠的分類。

高分子加工技術的應用有壓縮成形(compression molding)、轉移成形(transfer molding)、押出成形(extrusion molding)、射出成形(injection molding)、吹入成形(blow molding)、熱成膜(thermo forming)、射出壓縮成型(injection compression molding)、輪壓成形(calendering molding)...等。以下針對本研究所應用的射出成形與射出壓縮成型做進一步的介紹。

### 2.1 射出成型(injection molding, IM)

射出成型廣泛應用於塑膠成品的成形法，由於塑膠成形成容易，具有極佳尺寸精度、良好的尺寸穩定性、可成型複雜外型、生產率高，故成為現今塑膠製品熱門成型方式之一，其原理是利用螺桿將顆粒狀塑料加熱成熔融態，在足夠的溫度

條件下，成爲流體的狀態，再以高壓將熔融塑料注入模穴內，在經過冷卻使熔融塑膠固化後，開模將成品頂出。一般而言，塑化的溫度在200°C左右，工程塑膠可能高達300°C，利用此方式，可以達到精密且均質的製程目的，射出成型有預塑、充填、保壓、冷卻、頂出五個主要的階段如圖2-3所示，分別說明如下：

#### 1. 預塑

又稱爲計量階段，塑膠原料在料筒中完成烘乾後，即流入料管內加熱熔化，經過加熱片與螺桿的旋轉進料造成塑膠摩擦生熱，使塑膠達到玻璃轉移溫度而成爲熔融狀態，此時螺桿(或柱塞)後退，在螺桿(或柱塞)前端形成一空間，將熔融塑膠暫時儲存，當準備好這些動作後，將射座向模具移動，使噴嘴與注道襯套互相接合，預備射出。

#### 2. 充填階段

在可塑化狀態下的熔融塑料，因螺桿前進的推擠壓力而往模穴進行射出動作，直到充滿整個模穴的過程。此階段因決定成品外觀、結晶度及分子配向性，所以塑料的流動係數便顯得更加重要。若塑料流動性差的話，可能導致短射現象，但若塑料流動性佳的話，有可能因爲成形壓力過大而產生毛邊，因此在射出成形前，須先了解塑料的物理性質。

#### 3. 保壓階段

當塑料充滿模穴時，模穴內部的壓力還是須保持在高壓狀態，此動作是爲了提高模穴內的塑料密度達到適當程度，使熔融塑料繼續以高壓擠入，以補償因冷卻所造成的收縮。此階段決定成品的輪廓外形，只是可能因爲壓縮過度而發生毛邊或損壞模具，故須注意保壓壓力的調整。

#### 4. 冷卻階段

成品的冷卻動作在保壓階段便已開始，保壓結束後，澆口雖已冷卻，但成品尚處於高溫，因此以模具內的冷卻水路帶走熱量，惟因冷卻須維持一段時間，直到成品硬化到足以承受頂出而不變形。此階段會影響產品的翹曲變形與平均厚度，故須設計適當的冷卻水路，以使產品達到均勻冷卻。

## 5. 開模與頂出階段

成品完成冷卻後，射出機便開始進行開模動作，但因成品冷卻收縮的關係，須以頂出機構來使成品與模穴分離。此階段須注意頂出機構的設計，因不均勻的頂出會導致成品嚴重變形。

## 2.2 射出壓縮成形

射出壓縮成形(Injection-Compression Molding)為一結合了射出成形與壓縮成形的新成形技術，而此一新成形技術目前已廣泛應用於需高精度尺寸及考慮光學性質的光學產品，如：薄形導光板、光學鏡片與 DVD 光碟等。

其成形方式主要是在一般射出成形製程中加入壓縮閉模的製程，亦即在充填前，模具並不完全閉鎖，而在公母模間會產生壓縮行程(Open Distance)，當部份塑料注入模穴後，再利用鎖模機構閉鎖模具，由模仁或模壁向模穴內熔膠施加均勻閉合壓力，以壓縮成形來完成模穴充填。圖 2-4 為傳統射出成型與射出壓縮成型模具內融膠壓力分布示意圖，模具內的熔膠壓力在射出成形時澆口附近為高壓，在成形品末端壓力減低，兩個部份之間存在很大的壓力差，而在射出壓縮成型時因可動側模板進行整體壓縮，使熔膠受到全面而均等的壓縮力，使得模具內壓力差較小。此種成形方式不但可以降低充填模穴所需之射出壓力，且由於加壓使得整個成形製程可在低壓環境下完成，且模穴內熔膠可得到均勻壓力分佈，使得產品可達到消除壓力分佈不均、降低殘留應力與改善翹曲變形的效果，以達到光學產

品的要求。

在射出壓縮成形中，可動側模板的位置控制將直接影響射出階段的模穴厚度、流動阻力，以及成品的殘留應力；而在壓縮階段中，可動側模板的壓縮速度直接對應熔膠的保壓及流動，將會影響成品的收縮與翹曲變形。可動側模板的控制模式可分為兩種模式：壓力控制模式與位置控制模式，其控制方式如下所述：

#### (1) 壓力控制模式

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，利用射出壓力迫使模具打開，以使模穴空間加大，且同時降低流動阻力，等到射出動作結束後，再使可動側模板移動進行壓縮動作，如圖 2-5 所示。

#### (2) 位置控制模式

當模板進行合模動作時，預先定位至某一位置，以預留較大的模穴空間，此時進行射出動作擠入熔融塑料，並以低壓方式進入模穴，待成品充填至一定程度後，再進行壓縮動作，如圖2-6所示。

因位置控制模式較易調整壓縮條件，以探討出影響最大的因子，因此本研究採用位置控制模式來進行射出壓縮實驗，而射出壓縮過程主要分為四個階段，如圖 2-7 所示：

#### (1) 充填階段

當可動側模板定位至壓縮行程位置時，開始進行充填動作，此時由於模穴空間變大，造成流動阻力降低，因此不需以過大的射出壓力來進行充填動作，這也是射出壓縮能降低射出壓力的主要原因。

#### (2) 壓縮階段

充填至預定體積後，可動側模板開始進行壓縮閉模動作，此時充填動作持續進行，而模穴中的塑料則受到均勻壓縮，直到閉模動作結束才停止。在此壓縮過程中，等待壓縮時間、壓縮時間、壓縮距離與壓縮速度皆需搭配適當，否則將會發生模具損毀、溢料與毛邊過大等問題。

### (3) 保壓&冷卻階段

當塑料壓縮至產品厚度後，進行保壓動作，以補償因冷卻所造成的收縮，故可將保壓視為前冷卻階段。保壓結束後，產品尚處於高溫狀態，須藉由冷卻系統將產品整體溫度均勻冷卻，而產品整體溫度到達頂出溫度時，冷卻動作才算完成。

### (4) 開模&頂出階段

產品均勻冷卻後，進行開模動作，並利用頂出機構將產品頂出模穴，順利取件。當設定頂出速度與頂出力量時，須注意是否會造成因頂出機構的設計，因不均勻的頂出會導致成品嚴重變形。

## 2.3 薄壁射出成形製程簡介

傳統的射出成形是以射出件之完整為主要目標，此時的研究重點主要是針對調整射出成形參數來避免發生短射(Short Shot)缺陷，且因傳統塑件大多採用泛用型塑膠(例如：PP、PS、ABS 等)，其價格較便宜，再加上對產品重量及厚度的變化並不敏感，所以早期業界並未重視薄殼射出成形。然而，近年隨著電子資訊、通訊產品的快速發展，造就了光電產業的蓬勃發展，亦使得薄殼射出成形廣泛地應用於塑膠工業上，其遍及產業包含光電、3C、汽機車、五金家電產品等，因 3C 產品強調的是可攜帶性，所以產品本身必需秉持「輕、薄、短、小」的目標，且尚需顧慮到尺寸精確性、分子定向、翹曲、凹痕、殘留應力及光學性質等現象，這些現象都是造成影響產品的品質、精度及外觀的重要因素，除此之外，產品外殼



亦要隨著流行而做不同的設計變更，故薄殼塑件的發展自然成為趨勢。

薄壁的表示法：不能只以產品的厚度來看，還有考慮材料究竟能夠以多薄的範圍內流動(不是只局部的薄壁)的必要。此時，表示材料的流動性或是在模具內流動的流長比，流長比即為流動的長度(L)與壁厚(t)的比值  $L/t$ ，流長比不僅能表示所用的材料本身的流動性，還會因射出壓力與溫度條件而改變，所以只能做為大致的基準。關於薄壁的定義有下列兩種：

- (1) 成品的壁厚需小於 1mm(0.04 in)，且表面積需大於  $50\text{cm}^2(8\text{in}^2)$ 。
- (2) 流動長度(L)與壁厚(t)的比值  $L/t$  為 100~150 或更大。[18]

由此兩項定義可發現，薄殼射出成形的困難度很高，主要是因為流路變薄，而造成材料充填不易，但薄件射出成形卻依舊蓬勃發展，主要是因為具有以下優點：(1).成品重量減輕、(2).成品體積小型化、(3).節省材料成本、(4).縮短成形週期時間，提高產能。

### 2.3.1 薄壁成形的問題及解決方法

由於產品設計有朝向薄形化的發展趨勢，使得從早期 5mm 厚度的結構發泡，到 2mm 的傳統射出成形，甚至最新已發展到 13.3 吋的 0.5mm 超薄形導光板。因為厚度縮減的關係，使得塑料使用量大大地減少，以成本面來考量的話，合乎節省成本的效益。除此之外，由於成品厚度變薄，冷卻時間也明顯地縮短，而冷卻時間約佔成形週期的 70%。但在成形上。

#### 1. 充填速度與外觀不良

充填的樹脂接觸模壁開始冷卻固化，一邊形成固化層一邊進行充填。於是在薄壁成形時就容易發生流痕、縫合線或充填不足等成形不良的現象。圖 2-8

表示充填過程中模具內稱作噴泉流(Fountain flow)的流動狀態。

## 2. 射出壓力與產品變形

在薄壁成形時，通常需要高射出壓力，使成品在近澆口部分與遠澆口部份之間產生大的壓力差。此壓力差會使成品翹曲或扭曲等因內部壓力變化而出現的成形不良原因。

## 3. 充填完畢時的過充填及撐模現象

薄壁成形品多用高速充填，由於噴嘴、流道、澆口等處的剪切發熱使樹脂升溫、樹脂因黏度降低，而流動性提高使樹脂過度充填等原因，此外當高速充填使模穴內壓力升高，也可能造成模具因熔膠壓力過大造成變形或是模板被撐開，發生溢料或充填變形的問題。

在薄殼射出成形中，當模穴內的厚度越來越薄時，固化層所佔的比例將隨之昇高，一但固化層增加，塑料與模壁間的流動阻抗也會隨之提升，將會造成充填無法完成，導致成品有短射現象，以下針對薄殼成形提出幾個改善方法：

### (1) 多點進澆系統(Multiple Gates)

以增加進澆數目來提高充填的效率，就改善短射缺陷來看，的確是一個可行的辦法。但若是採用了多點進澆系統的話，勢必會免不了結合線的問題，此時就要看產品是否有承受撞擊與壓力的顧慮，不然能盡量避免結合線的產生的話，對產品的結構強度是最好的設計。

### (2) 提高射出壓力

射出壓力的設定主要是控制油壓使足以推動螺桿達到所設定的射出率要求。由於塑料的流動受到厚度縮減的限制，造成極大的剪切率，因而產生剪稀薄現象，使得黏度下降，流動性提升。另一方面，因剪切率提昇的關係，使得

充填流動具有剪切加熱的效果，材料快速流動會使固化層不至於迅速成長，如此一來，流動阻抗將大大地減少，對射出充填將有所幫助。

(3) 提高射出速度

射出速度需視產品幾何形狀、澆口尺寸、澆口位置及熔膠溫度而定。當成形薄件時，高射出速度能使產品避免短射缺陷，但卻也造成了翹曲、噴痕、澆口斑點等表面局部瑕疵，所以如何調整不同的射出率來獲得最佳成品，便是模具工程師需花費耐心與時間來探討的。

(4) 提高塑料溫度

提高塑料溫度將有助於薄殼充填，因塑料隨著溫度的上昇，其黏度會下降，因此充填便較容易。然而塑料溫度並不能無限制地提高，當塑料溫度超過某一限度時，塑料會因此產生劣解(Degradation)，且高溫的塑料較不易冷卻，對模具設計與產品外觀都是極大的困擾。

(5) 提高模具溫度

提高模具溫度主要是使塑料溫度與模壁間的溫差縮小，固化層的生成也因此減緩，使得流動阻抗變小，利於充填。但若是模具溫度太高，會因熱漲而導致產品尺寸不精準，且產能下降。

(6).選擇黏度低且機械性質良好的材料

薄殼射出成形模具與傳統射出成形模具相比較的話，前者因一開始就受到許多條件所限制，因此在設計模具時需注意幾項重點：(1).設置快速加熱系統、(2).提高模具剛性、(3).良好的排氣設計、(4).適當的澆口設計、(5).設計成熟澆道系統

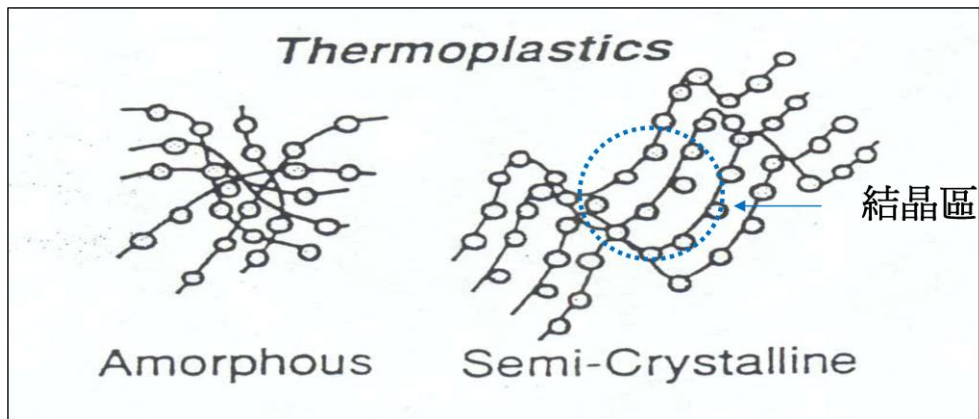


圖 2-1 結晶性與非結晶性塑膠的分子示意圖

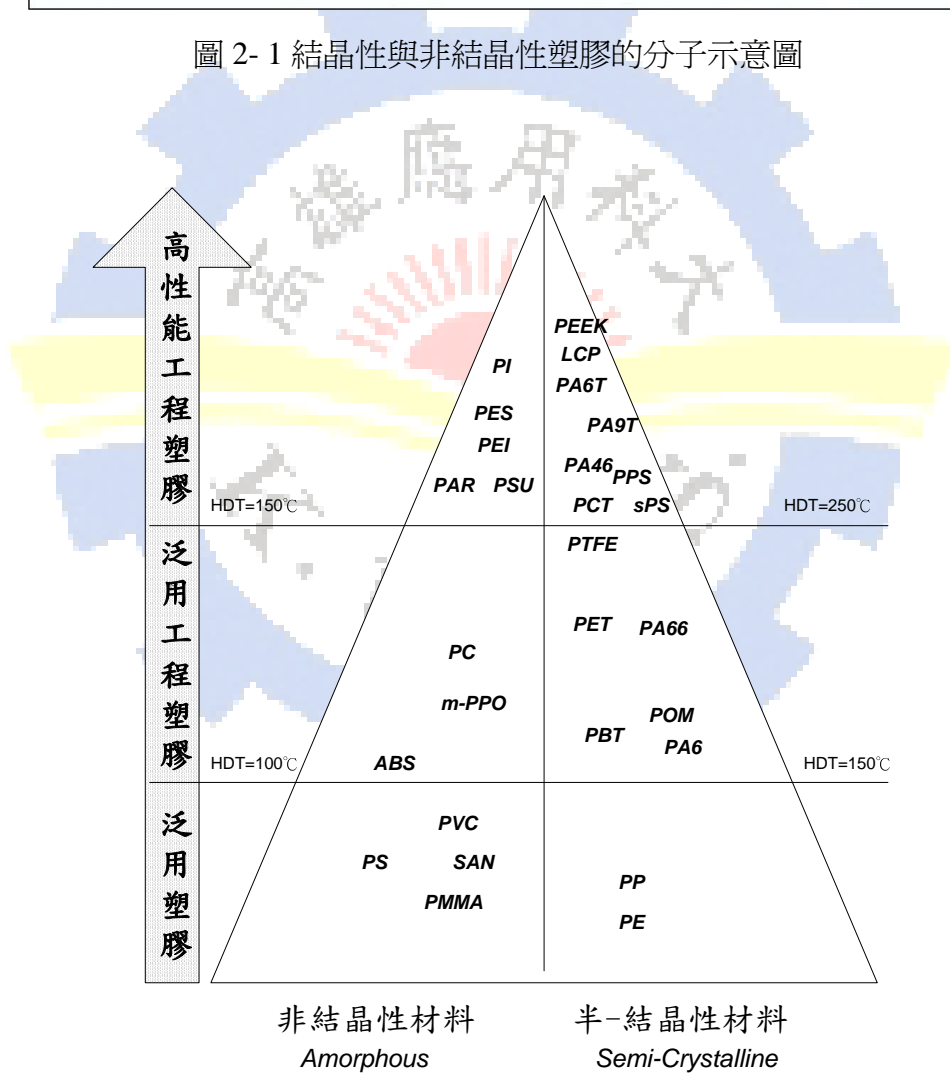


圖 2-2 塑膠分類圖

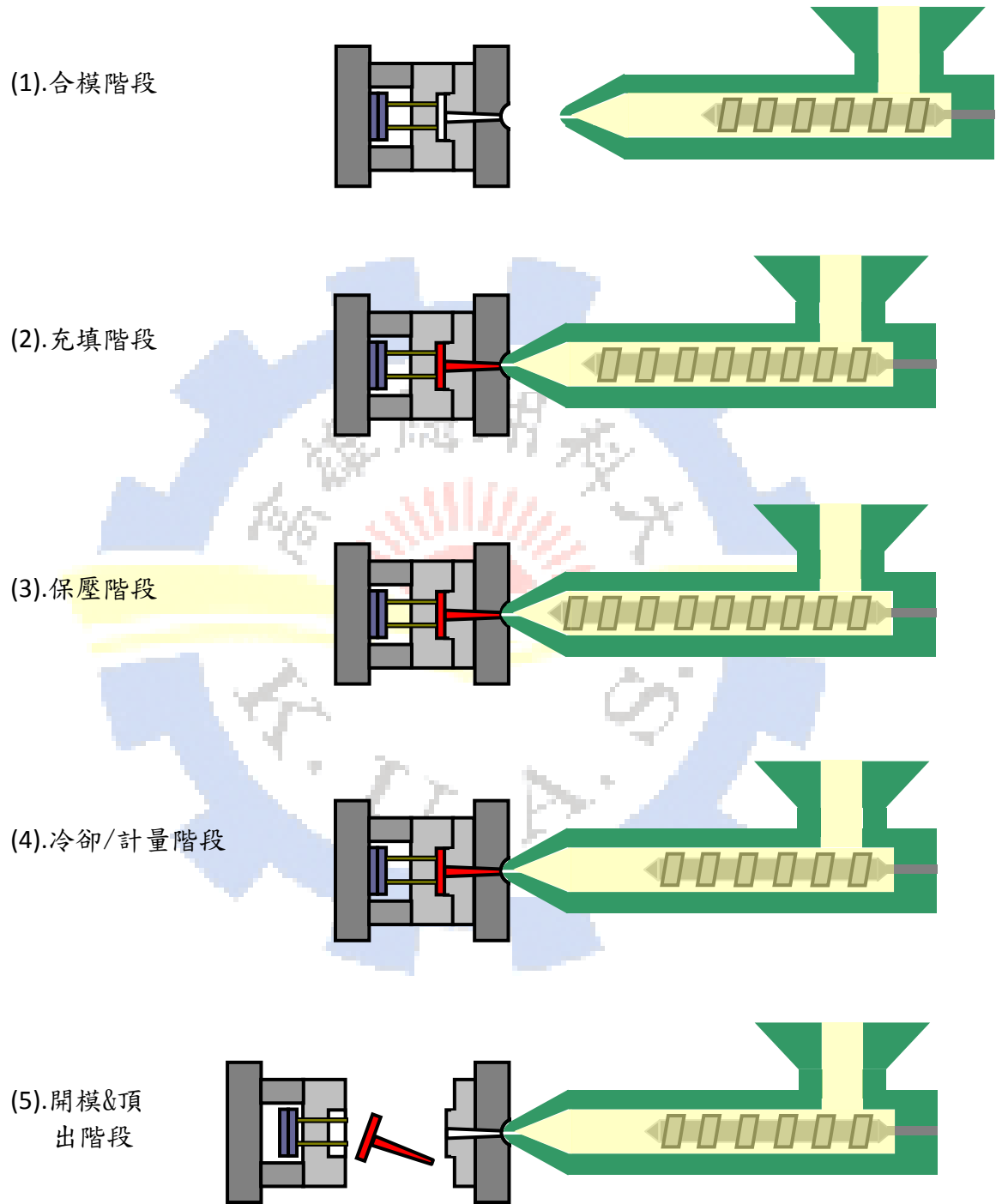


圖 2- 3 射出成形程序示意圖

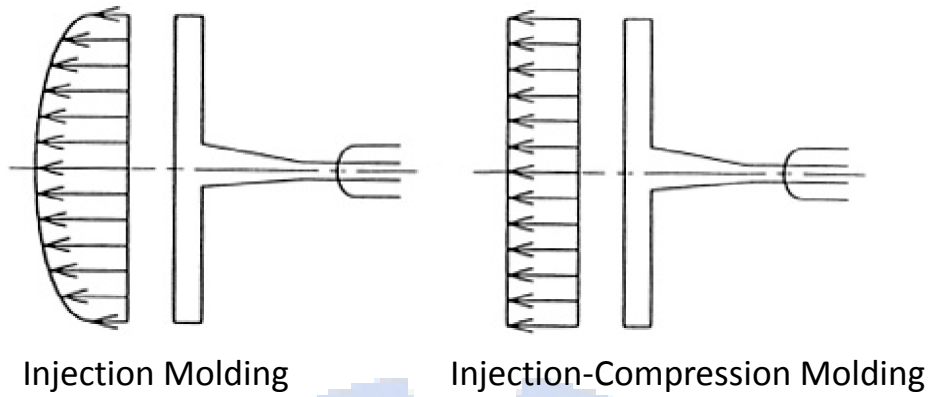


圖 2-4 射出成型法與射出壓縮成型法模具內熔膠壓力分布示意

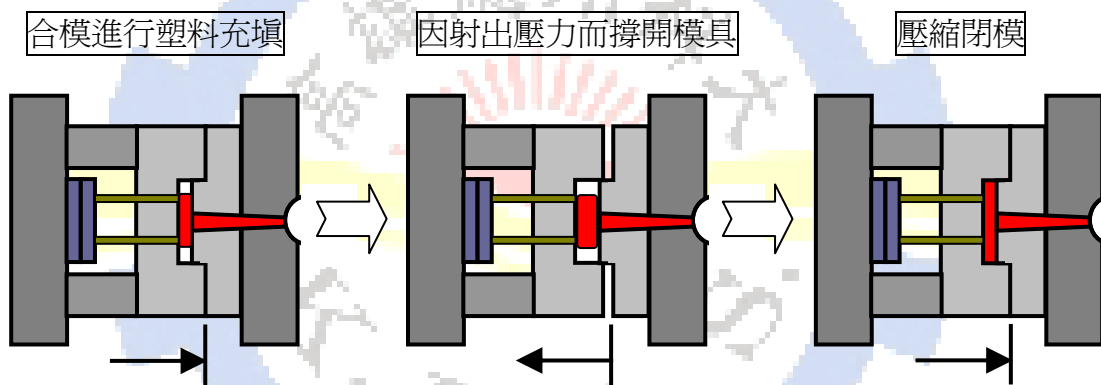


圖 2-5 壓力控制模式

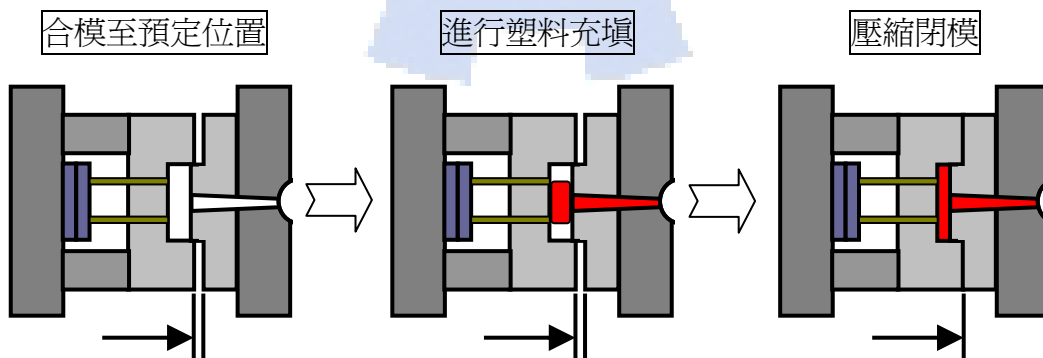


圖 2-6 位置控制模式

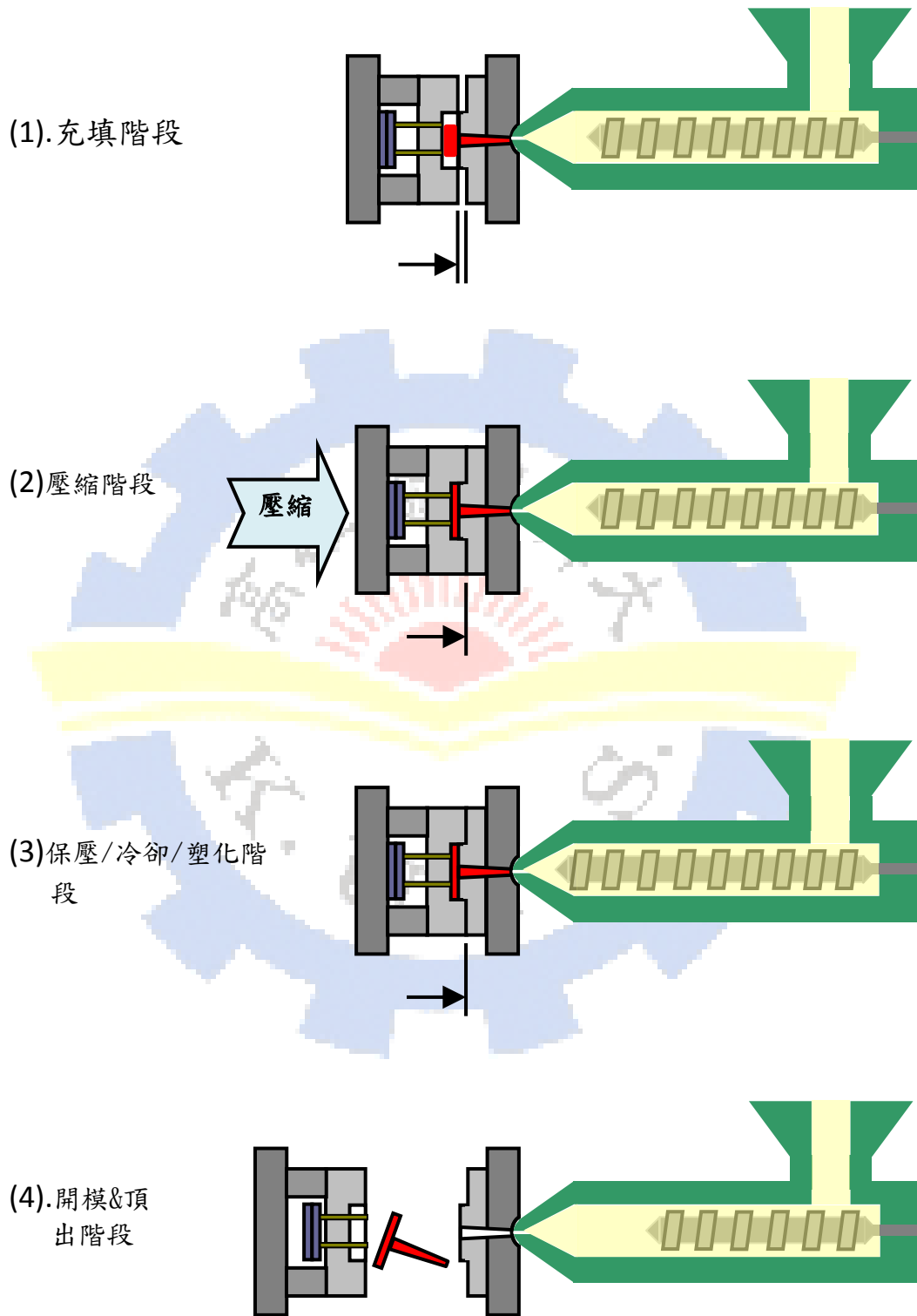


圖 2- 7 射出壓縮成形程序示意圖

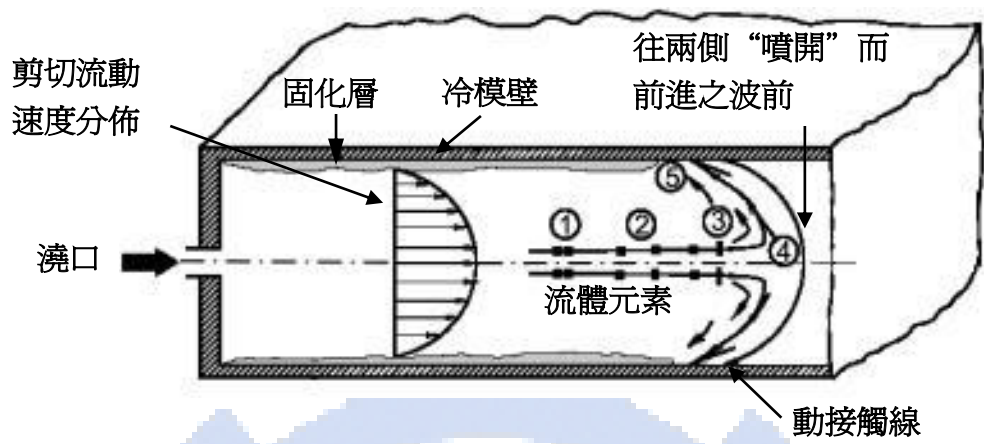


圖 2-8 噴泉流效應



## 第三章 模具設計分析

### 3.1 射出壓縮成型模具設計

一般模具設計的流程，依塑料性質(以 PMMA 塑料為例)、射出機功能、導光板尺寸進行 CAE 分析，決定適當的模穴數目、流道尺寸、澆口的種類、尺寸及位置，冷卻水路等作為模具設計的參考。射出壓縮成型分兩階段；第一階段射出機以低壓鎖模，熔膠進行充填，公模會因熔膠壓力作用而後退，模具被撐開(撐開最大距離可設計於模具機構中)，可以降低射壓。第二階段射出機以高壓鎖模，進行壓縮動作，將模穴厚度壓縮致所需要的厚度，由於鑲在母模的模仁凸出於分模面，鑲在公模的模仁則低於分模面，當進行壓縮動作時，可避免熔膠從分模面溢出。本研究以開發 13.3 吋平板型導光板為例，在模具設計上有下列幾項步驟：

#### 1. 產品外觀設計

本研究設計以 13.3 吋，尺寸為長 299.5mm、寬 173.4mm、均一厚度為 0.5mm 的導光板，如圖 3-1 所示。

#### 2. 模具設計及製造

##### (1) 模具型式的選定

模具的種類有冷澆道與熱澆道兩種，冷澆道模具是指流道的融膠和模穴內的融膠一同冷卻，開模後一起取出；熱澆道模具是指流道的融膠再整個成形週期中維持著熔融狀態，不隨成品冷卻，開模只有成品取出，本研究採用熱澆道模具，模仁以分割式鑲塊組合而成，此種方式可提高成形部位之精密度，且適用於較大尺寸的產品。

射出壓縮模具可分為兩種，第一種為在母模模仁與公模模仁間設計一擋料塊，避免熔膠在充填過程中洩漏，本研究採分模面斷差的方式設計，

將母模模仁凸出於分模面，公模模仁內陷於分模面，兩者交疊的部份可以作為射出壓縮成型的檔料機構，模具設計示意如圖 3-2 所示；第二種為在公模仁加裝彈簧壓縮機構以帶動形狀銷滑塊，而且因為滑塊需具有自動壓縮及回復功能，因此以彈簧作為滑塊的主要驅動源，利當熔膠以高的射出壓力進入模穴時，會推動滑塊，使滑塊後退，空出較厚的區域以使塑料容易流動，當射出壓力消失後，滑塊能藉由彈簧的恢復力以壓縮回原本模穴大小。模具壓縮機構示意如圖 3-3 所示[19]。

這兩種壓縮模具設計中，第一種模具設計因利用機台鎖模機構做為模板壓縮機構，能控制壓縮時的行程及壓縮力量，此設計可有效控制模穴壓縮情形及產品的尺寸精度，但因熔膠在薄壁處的凝固速度非常快，所以需搭配高速壓縮機台。[19]，而第二種壓縮模具設計因是利用射出時所產生的射出壓力推動模仁，隨熔膠壓力消失始模仁回到原本模穴大小，此種方式無法控制模穴推開的距離，也無法控制開始壓縮的時間，將容易壓縮力量不均造成產品肉厚不均及尺寸精度問題。因此本研究採用第一種壓縮模具設計。

## (2) 模穴配置

圖 3-4 為使用冷澆道時的偏心模具，由於模穴為偏離模具中心，成形時會使射出力(熔膠壓力)偏離成形機的機械中心，當充填樹脂時、或對充填的樹脂進行壓縮時，作用於模具的樹脂熔膠壓力在模具上下/左右會產生微小的差異，容易造成成形品的壁厚不均勻，本研究在模穴的配置上，由於考量到上述使用冷澆道成形時產生的問題，本實驗採用熱澆道模具，使熔膠壓力中心點與合模力對齊，使模具受力平均避免造成模具單邊撐模現

象產生毛邊，熱澆道模具模穴配置示意如圖 3-5。

### (3) 產品脫模斜度

爲使產品在模具中容易脫出，避免因脫模阻力太大而造成產品頂出時的損壞，因此，在設計模具時便須考慮到脫模斜度的設置。脫模斜度的設計須視產品外觀、成形塑料種類、模具構造、表面精度及加工方向...等來決定，一般而言，適當的脫模斜度約爲  $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 。在本研究中，因射出壓縮模具在開始射出時爲不完全合模的狀態，此時脫模斜度會產生間隙，開模越大，間隙越大，模穴是以四個具有  $2^{\circ}$ 斜角的鑲塊組合而成，故產品四周具有  $2^{\circ}$ 的脫模斜度，而所產生間隙爲  $0.03\text{mm}$ ，則將此間隙作爲逃氣孔。

### (4) 分模線

首先考慮射出壓縮成形之模具設計，爲了能夠進行射出壓縮，在母模模仁與公模模仁間設計一擋料塊，避免熔膠在充填過程中洩漏，本研究採分模面斷差的方式設計，將母模模仁凸出於分模面，公模模仁內陷於分模面，兩者交疊的部份可以作爲射出壓縮成型的擋料機構，具有射出成型及射出壓縮成型的功能。

### (5) 冷卻系統配置

產品愈薄，愈無法承受因熱傳不均而產生的熱應力。爲了將收縮翹曲控制在可以接受的程度，均衡的冷卻設計變得非常重要。成品溫度對成型的效率有很大的影響，模溫高可以增加流動性，模溫低可以縮短固化時間；對成品的物性來說，高模溫可以使成品的結晶性高，有較好的表面性質，模溫太低則會使材料迅速固化，成形壓力增加，造成澆口附近有較大的殘留應力。本研究在水路設計中，以管徑：水管與成品距離：水管間距= 1：3：

5 的設計準則，如圖 3-6 所示，水路方向為朝導光板長邊流動，因模穴採用分割式模塊組合而成，且中間模仁亦利用鑽孔法來進行水路加工，因此產生一階梯狀的水路組合。以貫穿孔的方式圍繞成品上下側，冷卻公母模仁，冷卻水路配置如圖 3-7 所示。有效管長的總表面積與成品側壁外表面積一致時最佳。以本研究為例，主要考量：足夠的水路設計將提供足夠的傳熱面積，使成品內外側能達到均勻且快速地冷卻，有助於縮短成形的週期時間(cycle time)，及避免翹曲。導光板總表面積為  $119335\text{mm}^2$ ，冷卻水路傳熱面積：公母模仁水路+公母模板水路=  $214022\text{mm}^2$ ，已足夠冷卻模仁。

#### (6) 頂出型式

由於母面有微結構，屬於成品重要功能，因此設計以 6 個頂出銷頂出澆口部份，如圖 3-8 示，再以空氣吹氣的方式離模，頂出銷設計為圓形頂出銷。

### 3.2 導光板澆口形狀設計

澆口是指流道與模穴間的狹小塑料流路，一般要比流道或產品的壁厚更薄。澆口的位置、數量、形狀、尺寸等是否適當，將直接影響到產品的外觀、尺寸精度、物性、成形效率。澆口尺寸的決定，須視產品重量、塑料特性及澆口形狀而定，在不影響產品機能及成形效率下，澆口應盡量縮短其長度(Length)、深度(Depth)及寬度(Width)。若澆口過小，則易造成短射、收縮下陷、熔合線等外觀上的缺陷，且成形收縮會增大。若澆口過大，則澆口附近將產生過剩的殘留應力，導致產品變形或破裂，且去除澆口的後加工將十分困難。

本研究所探討的導光板具有平板狀與成形面積較大的特性，澆口的選擇須以可均勻充填模穴為主要考量，因此設計本文主要藉由 Moldflow 軟體針對三種不同

形狀之澆口進行探討，並找出符合目前產業需求的澆口形式，選用之澆口形狀分別為扇型澆口(澆口寬度 76mm、厚度平均 1.8mm)、扇型加膜狀澆口(澆口寬度 186mm、厚度平均 1.8mm)及衣架型澆口(澆口寬度 299.5mm、分歧管厚度平均 11mm、平板 1.5mm)，此三種導光板模型之厚度為設定為 0.5mm。

### 3.2.1 澆口形狀設計及模流分析

本研究利用模流分析軟體 Moldflow 進行模擬分析，首先在 Pro/ENGINEER 軟體建立 CAD 3D 幾何模型，轉存 IGES 檔型式匯入 Moldflow 建立產品、流道、澆口及水路網格，網格建立完後，設定實際成形機台的參數和材料的特性，最後進行 Full Analysis 進行充填、保壓、冷卻、翹曲的射出成型模擬分析。材料選用光學級具有透明性與高透光率之 PMMA，為 Kuraray 生產的 GH-1000S，其黏度曲線如圖 3-9、PVT 如圖 3-10 所示。

導光板成形參數模擬分析中，選取適當的成形參數，充填設定由射出速度控制，為兩段速度充填，分別為第一段充填澆口部分，第二段充填產品，參數設定如表 3-1 所示，以下分別探討扇型、扇型加膜狀、衣架型等澆口的設計及分析結果流動情形、壓力、溫度等結果。

#### (1) 扇形澆口：

如圖 3-11，為一般平板狀與成形面積大所使用的澆口型式，以扇形澆口寬度 (W)76mm、長(L)40mm、厚度 1.8mm。

在模流分析中，由熔膠的充填速度分佈來探討熔膠從澆口進入產品內的流動情形，如圖 3-12 所示，可發現扇形澆口在熔膠進入產品時，呈現輻射狀的流動方式，充填結束壓力分佈如圖 3-13 所示，扇形澆口充填結束後成品內部的壓力為 230.9MPa；充填結束溫度分佈如圖 3-14 所示，顯示導光板整體溫度為 321~348.6°C，

整體溫差為 27.6°C；而壓力與溫度的分佈將影響產品體積收縮率，如圖 3-15 所示，體積收縮率的差異約為--3.5~0.03%。由翹曲分析結果可發現導光板翹曲變形量為 0.03~0.53mm，總變形量為 0.5mm，翹曲總位移放大 10 倍如圖 3-16 所示。

## (2) 扇形加膜狀澆口：

圖 3-17 為扇形澆口與膜狀澆口的混和構造，利用扇形澆口將熔膠擴散開，再由膜狀澆口讓熔膠能單一方向及均勻的充填產品，其扇形寬度(w)180mm、澆口長(L)為 40mm、澆口厚度(h)為 1.8mm。

在模流分析中，熔膠從澆口進入產品內的情況如平均速度圖 3-18 所示，箭頭代表模穴內融膠流動的方向。在模流分析結果，充填結束壓力分佈如圖 3-19 所示，充填結束後成品內部的壓力為 201.8MPa；充填結束溫度分佈如圖 3-20 所示，顯示導光板整體溫度為 321~348.6°C，整體溫差為 27.3°C；而壓力與溫度的分佈將影響產品體積收縮率，如圖 3-21 所示，體積收縮率的差異約為-3~0.6%。由翹曲分析結果可發現導光板翹曲變形量為 0.05~0.52mm，總變形量為 0.47mm，翹曲總位移放大 10 倍如圖 3-22 所示。

## (3) 衣架型澆口：

為一般平板押出模頭所使用的類型，押出模頭中的衣架模是以 T 型模與魚尾模的混合構造，如圖 3-23，此設計考量是為了改善 T 型模滯留時間過長的缺點，而流動不均的情形則是用魚尾模的擴張概念套入，在本研究以衣架型模頭改良成射出成形所使用的模具澆口型式，一般來說在設計模頭時我們可先得知模頭總寬度(B)以及狹縫區高度(H)，設計將澆口寬度視為模頭寬度(B=299.5mm)以及將澆口厚度視為狹縫區高度(H=1.5mm)，先由式(1)、(2)計算出  $R_0$ 、 $y_0$  兩個常數值，再把模具總寬度設為相等的 10 個區塊，再將  $R_0$ 、 $y_0$  兩數值帶入式(3)、(4)分別求得 10

個區塊中的斷面半徑(R)以及狹縫區長度(y)，分歧管厚度(R)平均 11mm、平板厚度(H)1.5mm，如此可得如圖 3-24 之模型。

$$R_0 = 0.842(BH^2)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (1)$$

$$y_0 = 1.474(HB^2)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2)$$

$$R(x) = R_0 \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (3)$$

$$y(x) = y_0 \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (4)$$

在模流分析中，熔膠從澆口進入產品內的情況如平均速度圖 3-25 所示，圖中箭頭代表模穴內融膠流動的方向。充填結束壓力分佈如圖 3-26 所示，衣架型澆口充填結束後成品內部的壓力為 188.8MPa；充填結束溫度分佈如圖 3-27 所示，顯示導光板整體溫度為 315~338.8℃，導光板整體溫差為 23.8℃；而壓力與溫度的分佈將影響產品體積收縮率，如圖 3-28 所示，體積收縮率的差異約為-2.65~1.97%。由翹曲分析結果可發現導光板翹曲變形量為 0.04~2.7mm，總變形量為 2.66mm，因為衣架型澆口厚度較厚，澆口體積占整個模穴體積的 73%，容易影響產品的翹曲變形，翹曲總位移放大 10 倍如圖 3-29 所示。

### 3.2.2 三種澆口型式結果比較

由表 3-2，扇形澆口體積占產品體積 15%最為省料，而衣架型澆口體積占產品體積 267%，澆口體積比產品體積大兩倍非常費料，而在導光板靠近澆口處橫向取九點量測壓力及溫度，量測方式如圖 3-30 所示，其表 3-3 為澆口 9 點壓力量測值、壓力曲線如圖 3-31，扇形澆口在產品中央有較大的壓力，橫軸向平均壓力差為

68.8MPa，扇形加膜狀澆口與衣架型澆口有較平整的壓力分佈，其導光板橫軸向壓力差分別為 14.3MPa 與 3.35MPa，由於扇形加膜狀及衣架型的澆口設計兩種設計皆是以融膠能均勻一致性的進入產品做為設計方針，由此能發現，當熔膠均勻一致性的進入產品時，能有使產品內壓力較為平整。而表 3-4 為澆口 9 點溫度量測值、溫度曲線如圖 3-32，扇型澆口在澆口轉折處會產生剪切生熱，使澆口溫度分佈不均並且有較大的溫差約為 9°C，而扇形加膜狀澆口與衣架型澆口溫度分佈較為均勻，其導光板橫軸向溫差分別為 1.6°C 與 0.85°C。

依本研究澆口形狀分析結果中表 3-5，可看出衣架型澆口有最平整及均勻的壓力分佈與溫度分佈，但因澆口體積大所產生的廢料較多，成形時所需的冷卻週期也較長使產能降低，而扇形澆口雖然體積較小，但因澆口所影響的壓力及溫度不均容易造成導光板成形上的問題，因此本研究採用扇形加膜狀澆口做為射出壓縮的模具設計。

基於上述大尺寸超薄型導光板設計，模具加工尺寸 CAD 模具圖與模具實體圖如圖 3-33 至圖 3-34 所示。



表 3-1 澆口設計模擬分析參數設定

成型條件	扇形澆口	扇形加膜狀澆口	衣架型澆口
塑料溫度 (°C)	300	300	300
模具溫度 (°C)	85	85	85
射出速度 (第一段/第二段)(mm/s)	200-500	200-500	300-500
保壓壓力 (%)	充填壓力 100%	充填壓力100%	充填壓力100%
保壓切換位置 (%)	充填至99%	充填至99%	充填至99%
保壓時間 (sec)	10	10	10
冷卻時間 (sec)	65	65	1490

表 3-2 澆口設計體積比較

澆口設計	扇形澆口 (A)	扇形加膜狀澆口 (B)	衣架型澆口 (C)
產品體積 (cm <sup>3</sup> )	25.967	25.967	25.967
澆口體積 (cm <sup>3</sup> )	3.81	12.819	69.237
總體積 (cm <sup>3</sup> )	29.777	38.786	95.204
澆口體積占產品 (%)	15%	49%	267%

表 3-3 澆口 9 點壓力量測值及壓力差

澆口寬度 田口實驗	-150	-112.5	-75	37.5	0	37.5	75	112	150	$\Delta P$
扇形	152.7	167.3	188.7	211.8	223.7	219.6	198	180.2	159.1	67.8
扇形加膜狀	173.9	177.6	182.5	187.8	188.8	187.2	183.9	179.3	175.1	14.3
衣架模	174.9	175	174.6	172.3	172.6	174.3	174.3	175.7	177	3.35

表 3-4 澆口 9 點溫度量測值及溫差

澆口寬度 田口實驗	-150	-112.5	-75	37.5	0	37.5	75	112	150	$\Delta T$
扇形	322.8	323.8	331.4	328.3	321.9	327.3	331.5	323.6	322.1	9
扇形加膜狀	322.9	322.8	321.7	321.4	321.3	321.4	321.9	322.8	322.9	1.6
衣架模	319.4	319	319	319	318.3	318.7	318.7	318.5	318.9	0.85

表 3-5 澆口設計結果比較

澆口設計	扇形澆口 (A)	扇形加膜狀澆口 (B)	衣架模澆口 (C)	優劣排名 (1→2→3)
澆口體積占總體積 (%)	13%	33%	73%	(A→B→C)
導光板壓力 (MPa)	231	202	172.8	(C→B→A)
導光板橫軸向壓力差(MPa)	67.8	14.3	3.35	(C→B→A)
充填結束導光板整體溫差(°C)	30.8	26.8	24	(C→B→A)
導光板橫軸向溫差(°C)	9	1.6	0.85	(C→B→A)
翹曲總變形量(mm)	0.5	0.47	2.66	(B→A→C)
成形週期時間(S)	75	75	1500	(A→B→C)



圖 3-1 導光板尺寸圖

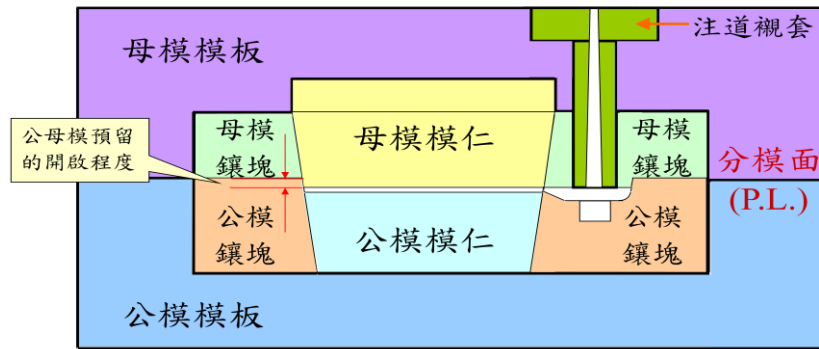


圖 3-2 第一種射出壓縮模具示意圖

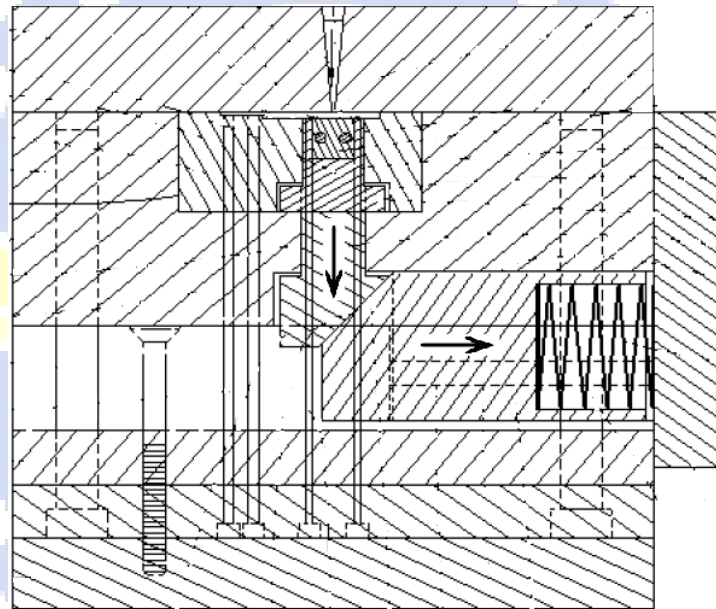


圖 3-3 第二種射出壓縮模具之示意圖

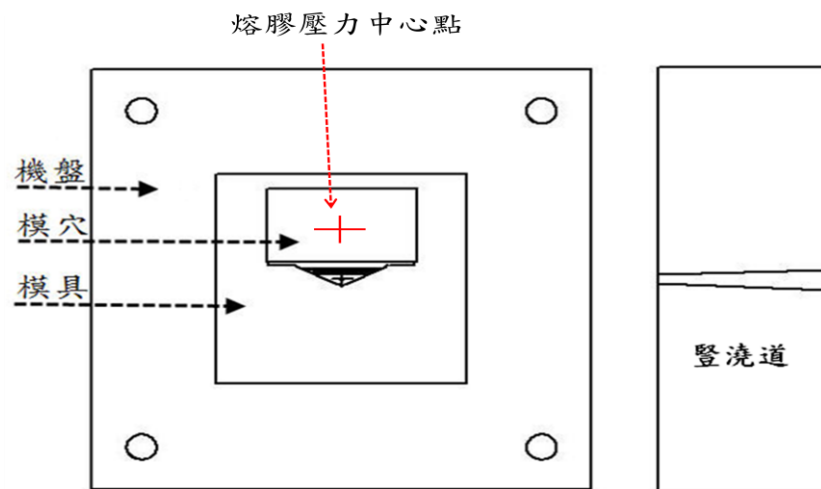


圖 3-4 冷澆道偏心模具示意圖

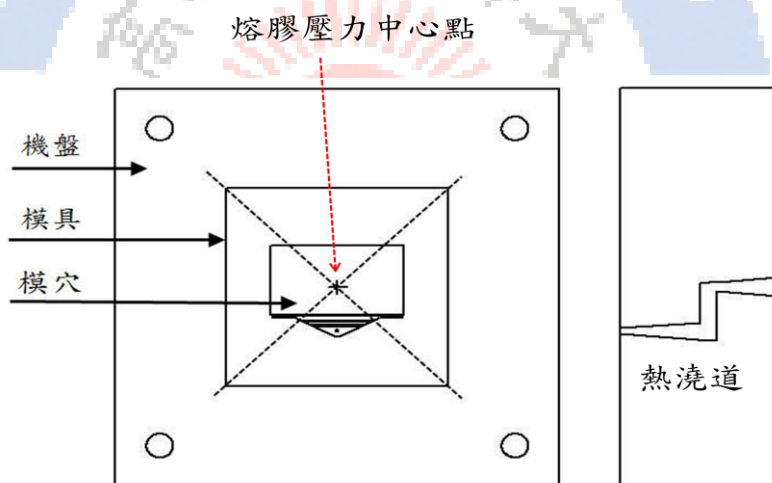


圖 3-5 熱澆道模具示意

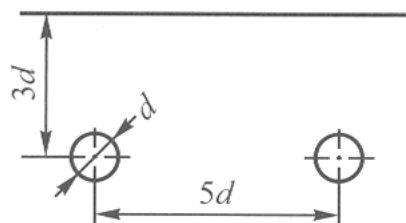


圖 3-6 冷卻管徑與管距之設置關係

Moldex3D

網格模型\_實體模型

- Part 1 PMMA(KURARAY GH-1000S)
- Gate Runner PMMA(KURARAY GH-1000S)
- Hot Runner PMMA(KURARAY GH-1000S)
- Coatrol 119868

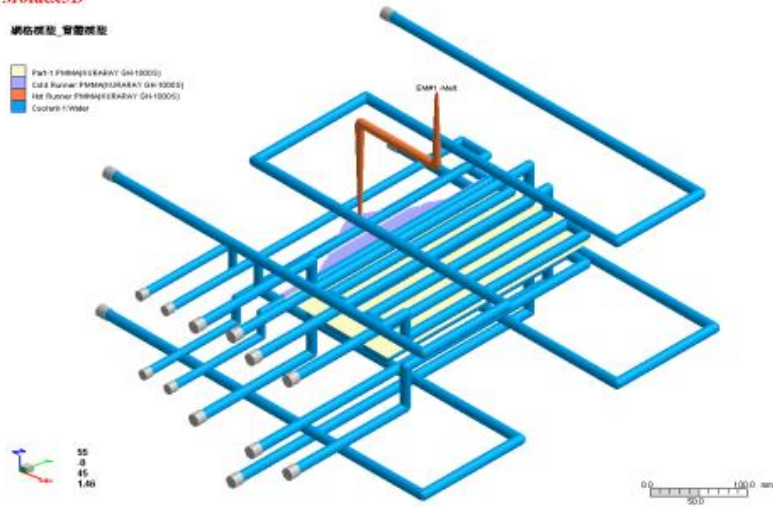


圖 3-7 冷卻水路配置圖



頂出位置

圖 3-8 頂出位置配置圖

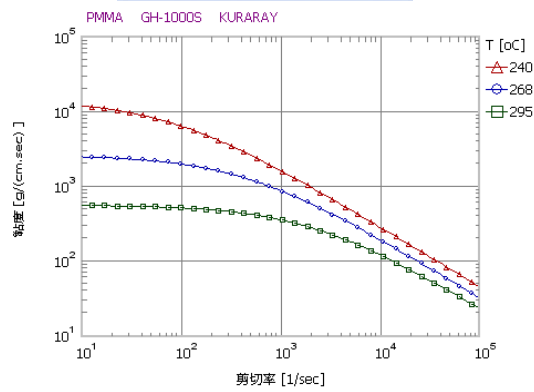


圖 3-9 黏度曲線圖

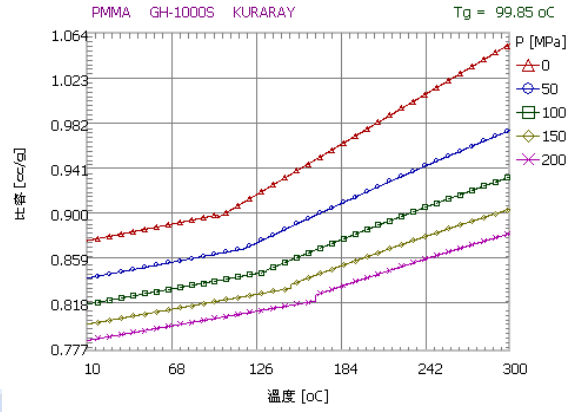


圖 3-10 黏度 PVT 曲線圖

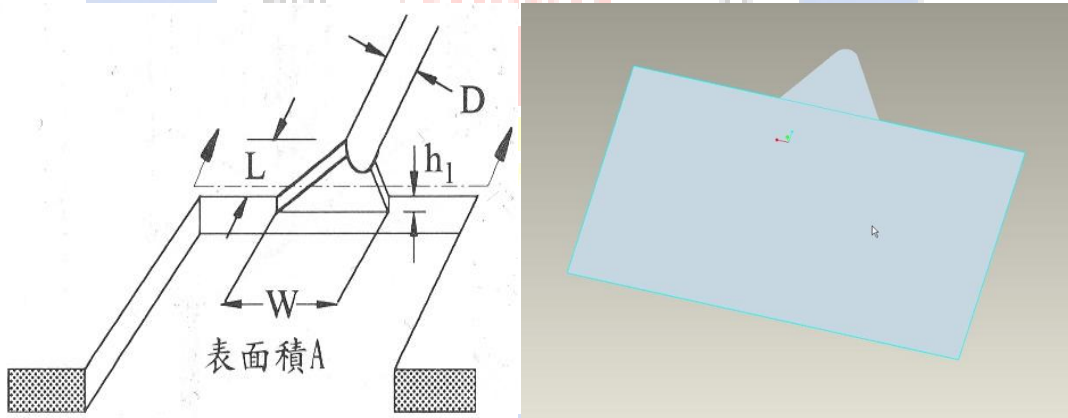
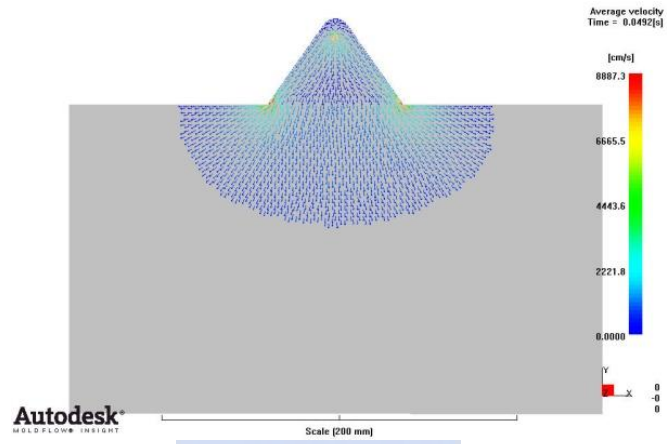
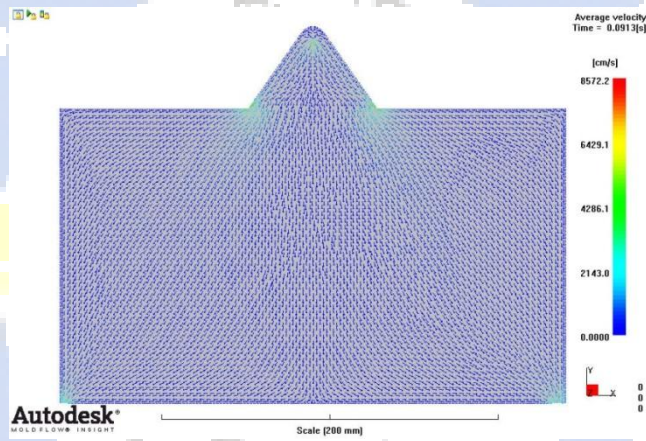


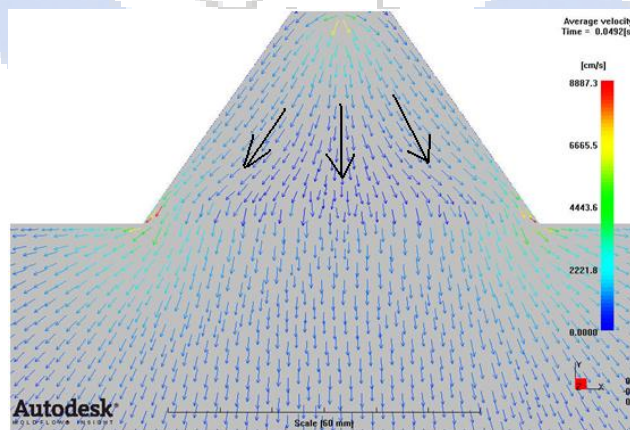
圖 3-11 扇形澆口



(a) 充填澆口時平均速度



(b) 充填整體時平均速度



(c) 融膠充填時速度方向示意

圖 3- 12 扇形澆口平均速度分佈



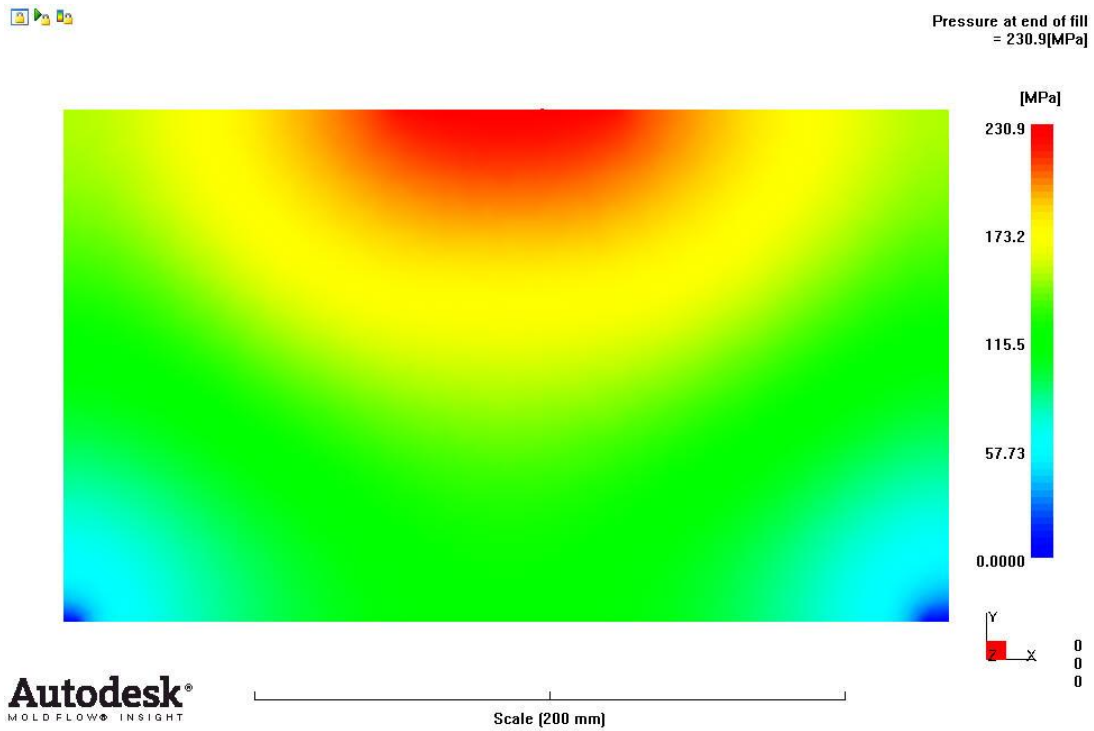


圖 3- 13 扇形澆口充填結束壓力分佈

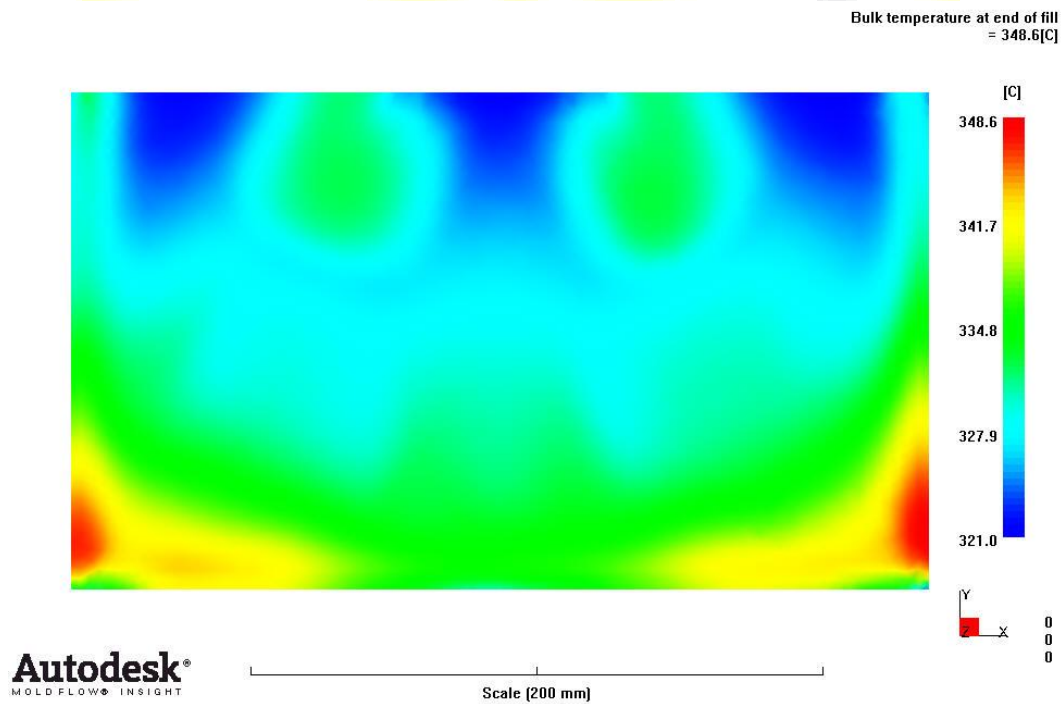


圖 3- 14 扇形澆口充填結束溫度分佈

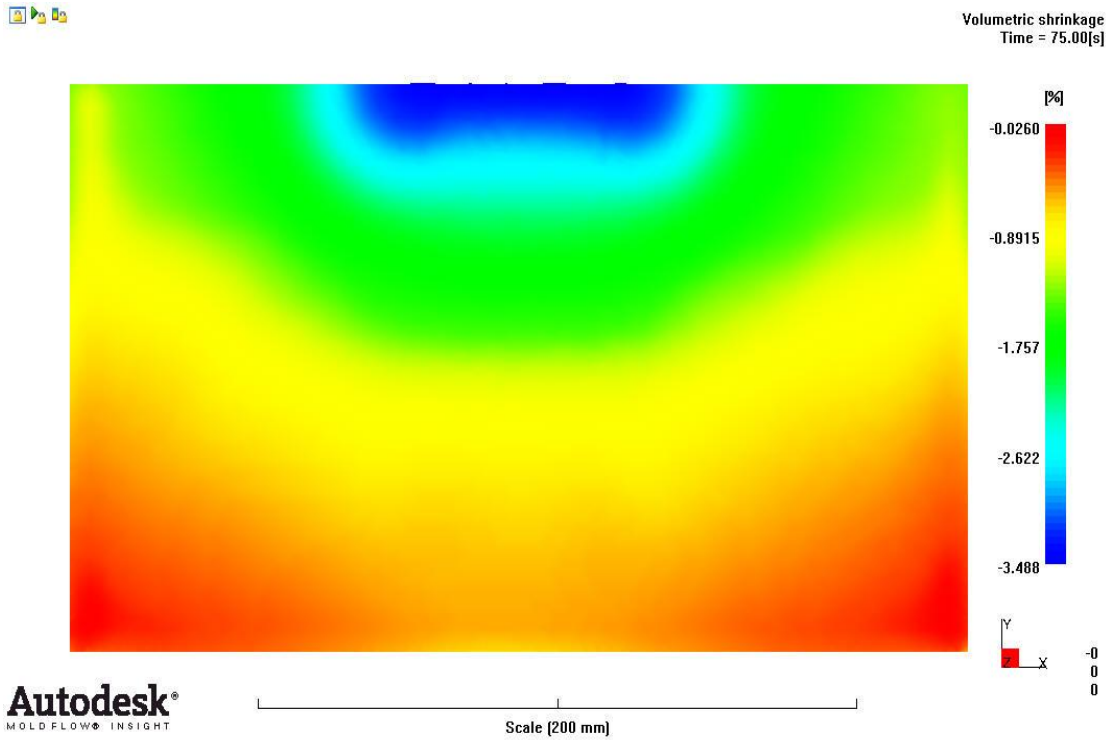


圖 3- 15 扇形澆口體積收縮分佈

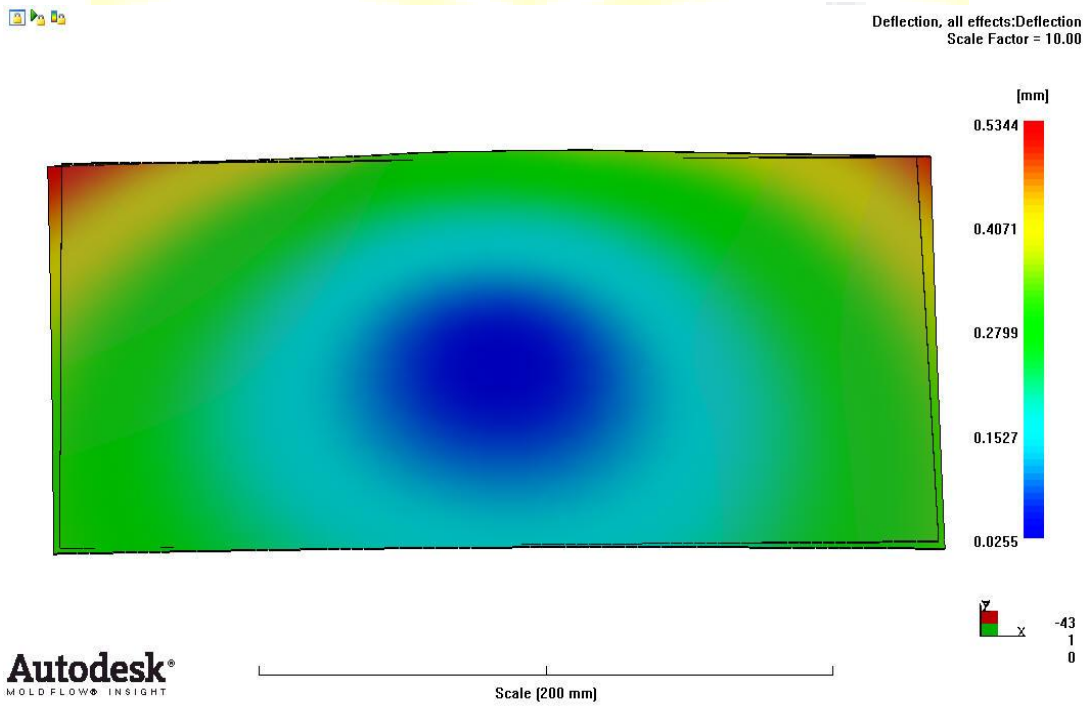


圖 3- 16 扇形澆口翹曲總變形放大 10 倍分佈

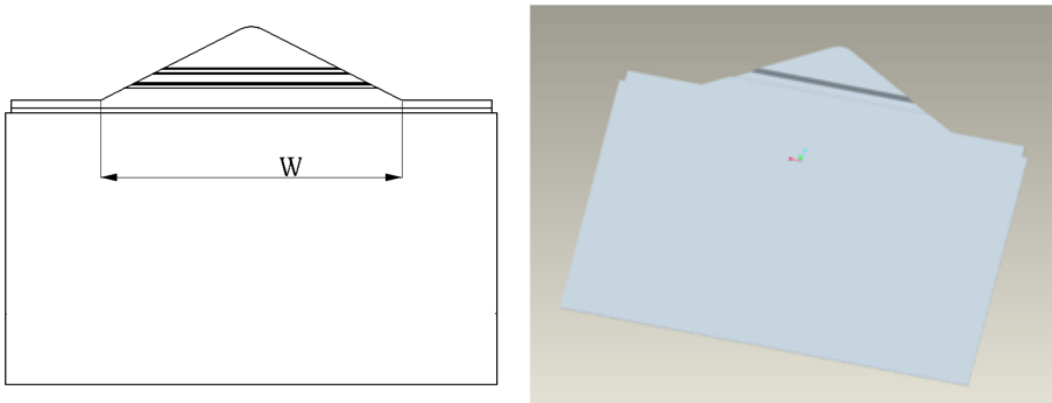
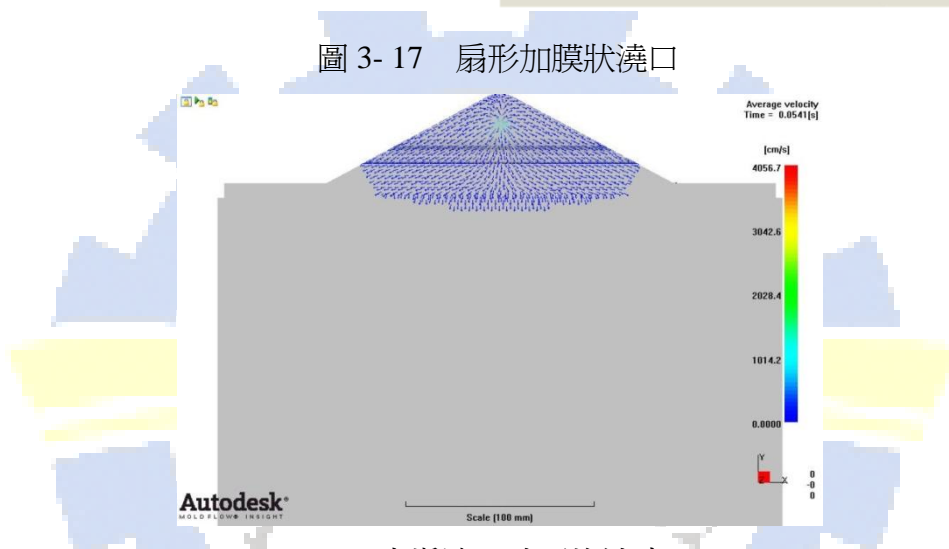
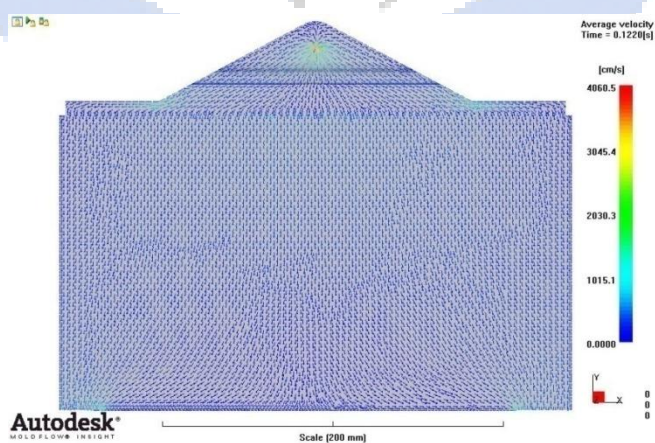


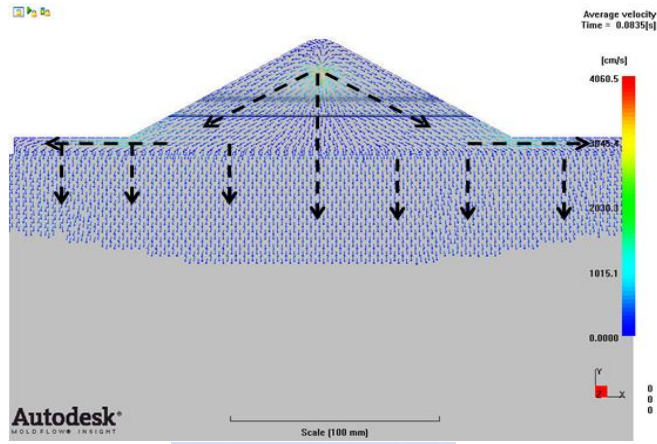
圖 3-17 扇形加膜狀澆口



(a) 充填澆口時平均速度



(b) 充填整體時平均速度



(c) 融膠充填時速度方向示意

圖 3- 18 扇形加膜狀澆口平均速度分佈

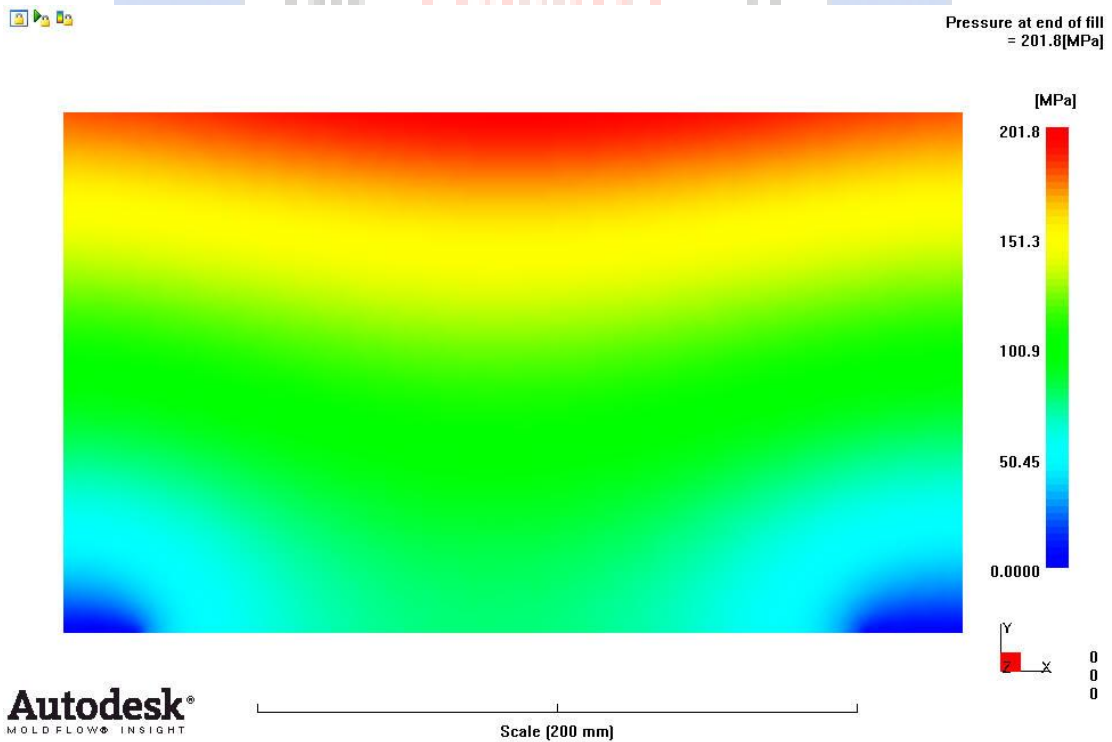


圖 3- 19 扇形加膜狀澆口充填結束壓力分佈

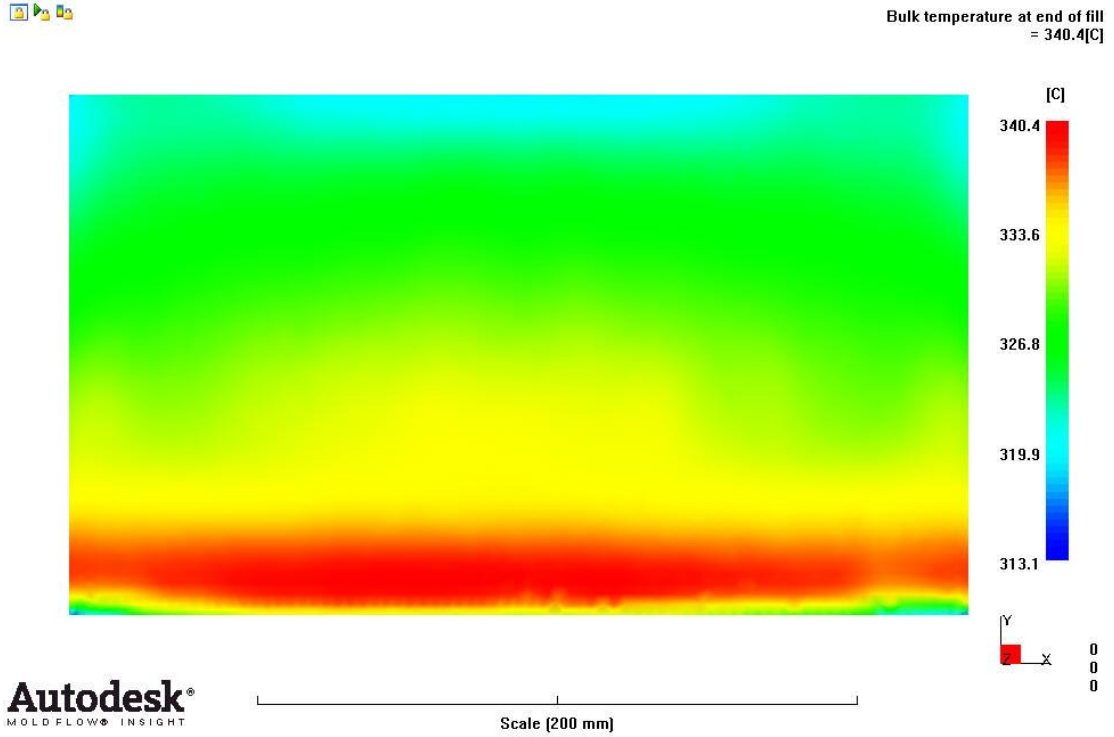


圖 3- 20 扇形加膜狀澆口充填結束溫度分佈

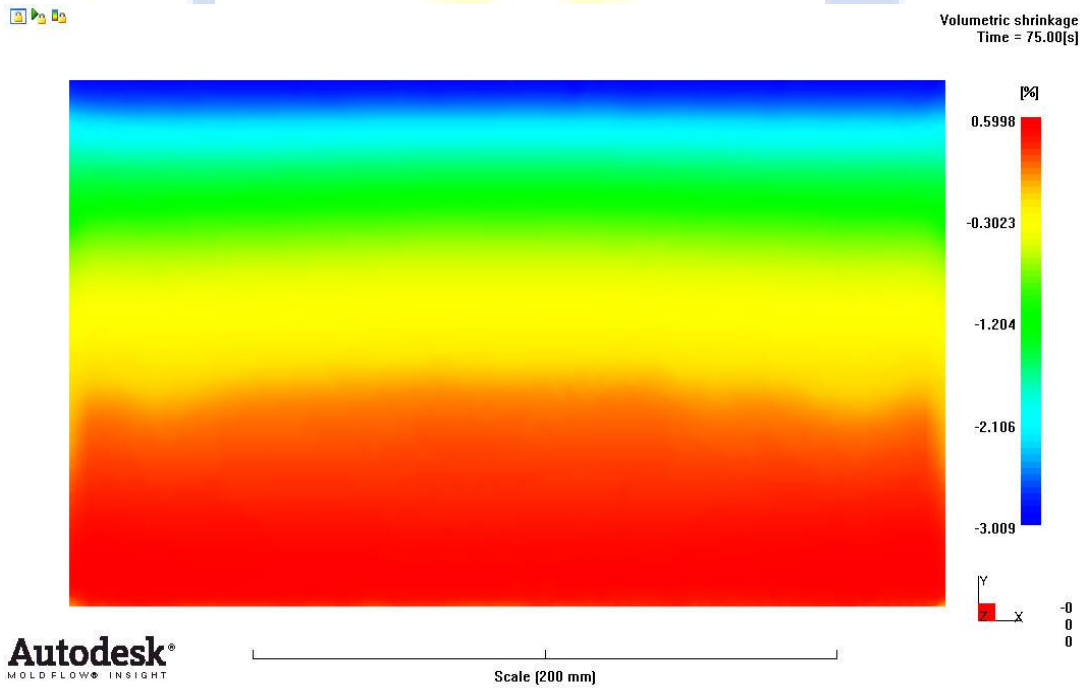


圖 3- 21 扇形加膜狀澆口體積收縮分佈



Deflection, all effects:Deflection  
Scale Factor = 10.00

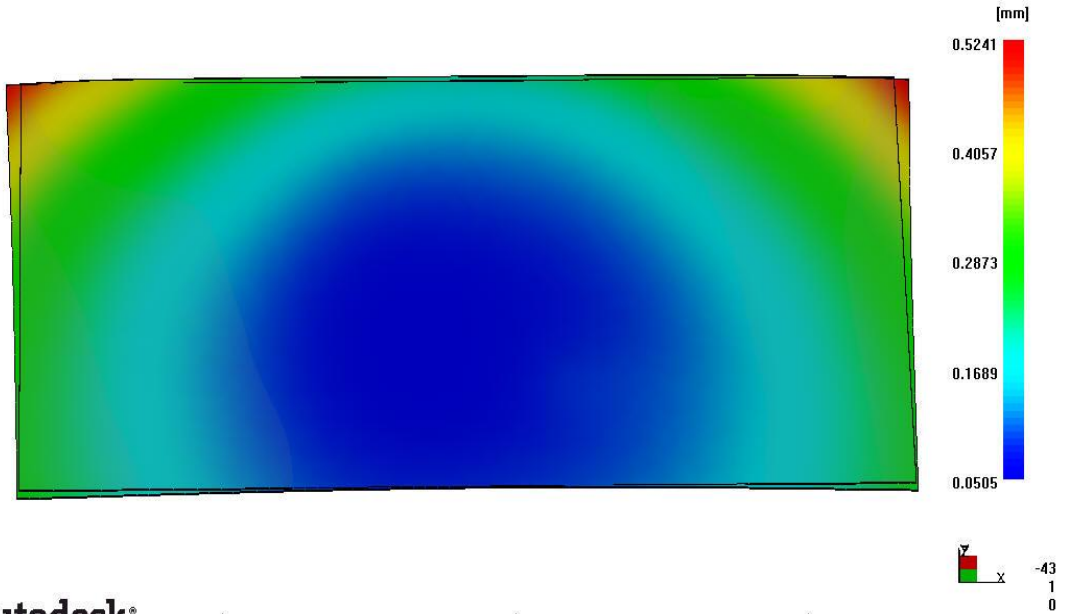


圖 3- 22 扇形加膜狀澆口翹曲總變形放大 10 倍分佈

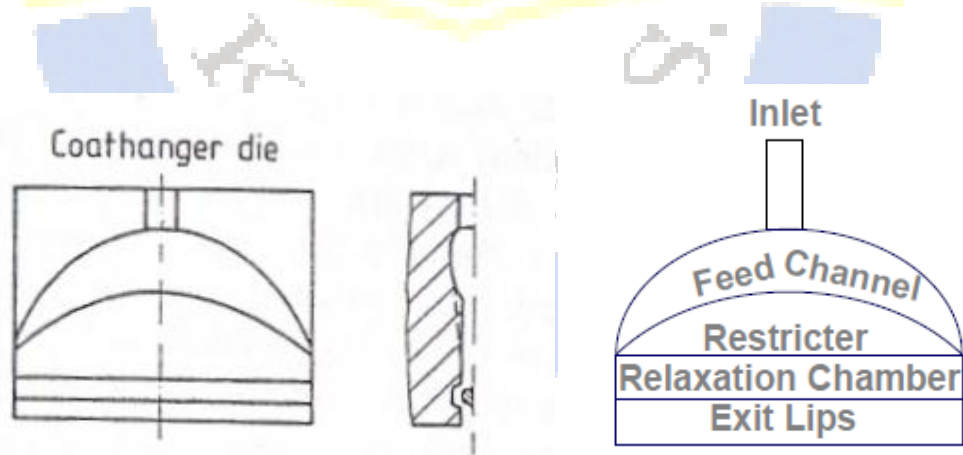
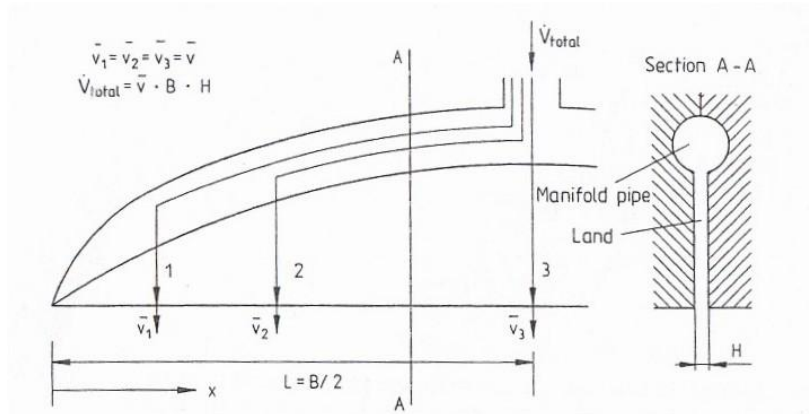
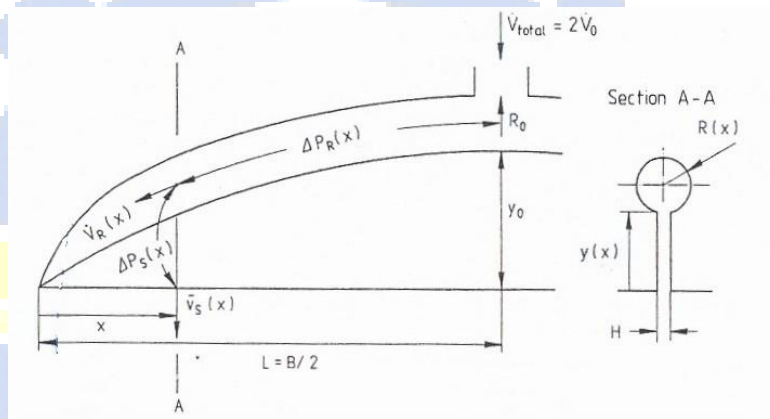


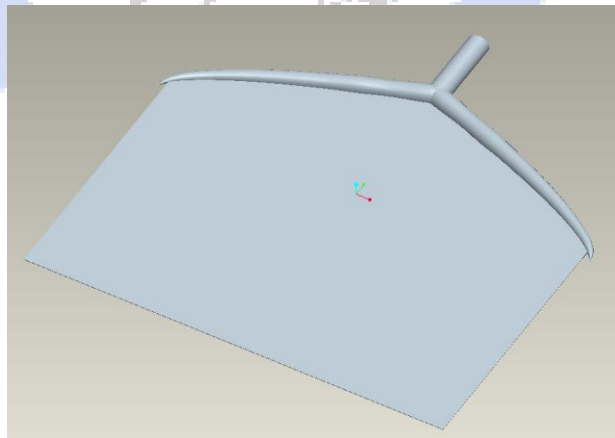
圖 3- 23 衣架模結構示意圖



(a) 模頭融膠流動示意圖

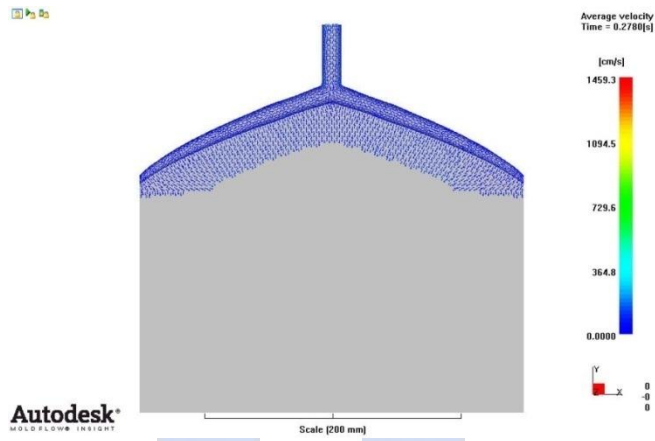


(b) 模型尺寸示意圖

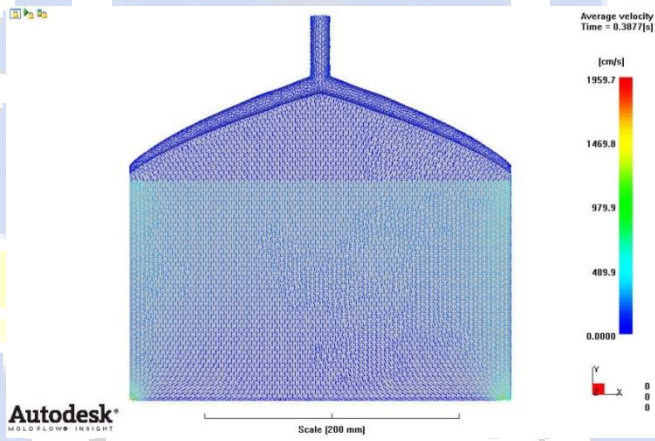


(c) 衣架型澆口模型

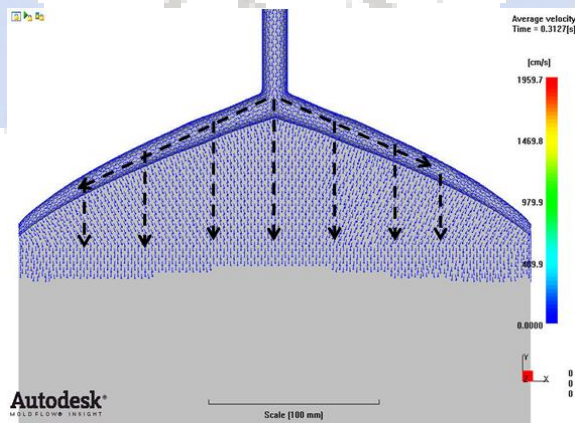
圖 3-24 衣架型澆口示意圖



(a) 充填澆口時平均速度



(b) 充填整體時平均速度



(c) 融膠充填時速度方向示意

圖 3- 25 衣架型澆口平均速度分佈



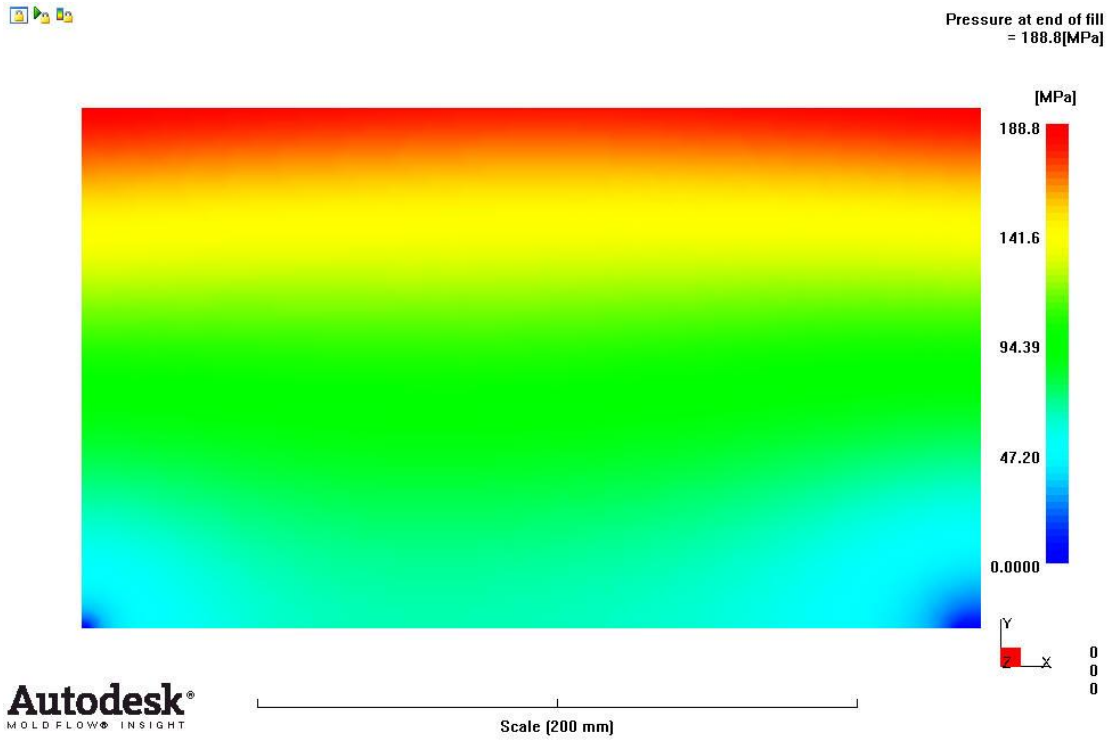


圖 3- 26 衣架型澆口充填結束壓力分佈

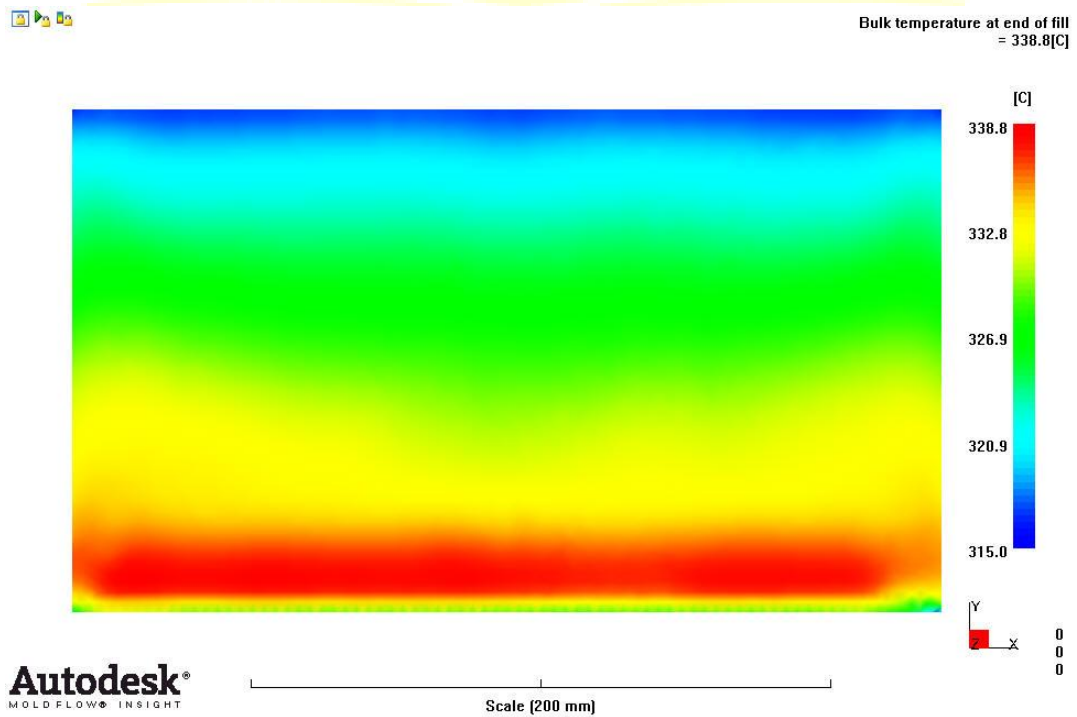


圖 3- 27 衣架型澆口充填結束壓力分佈

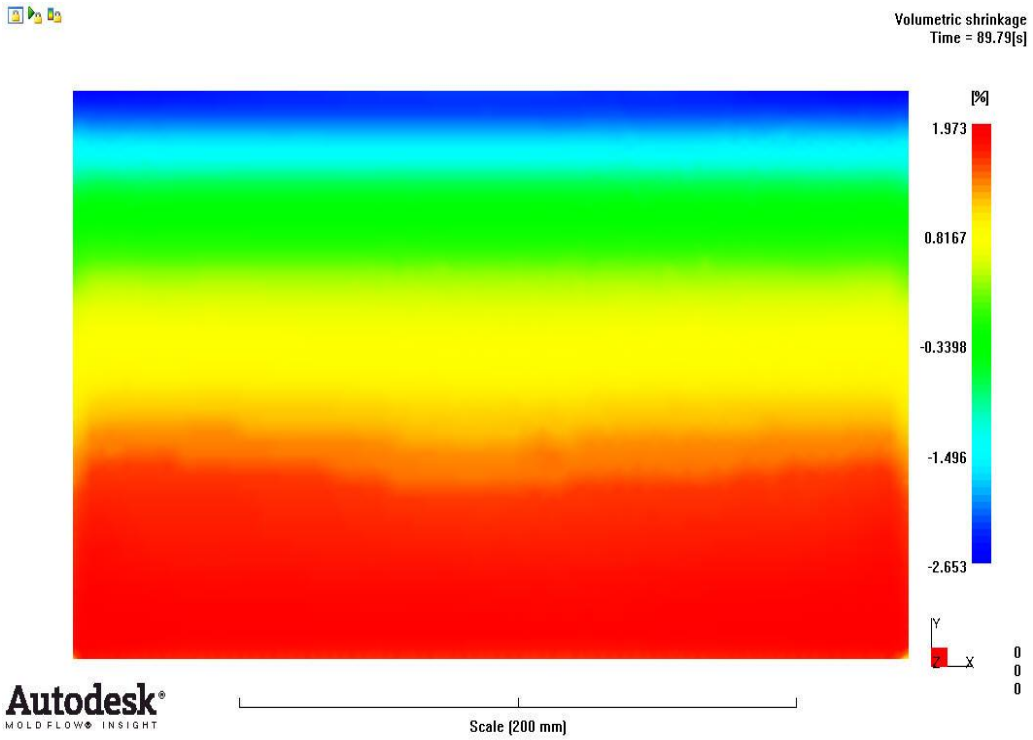


圖 3- 28 衣架型澆口體積收縮分佈

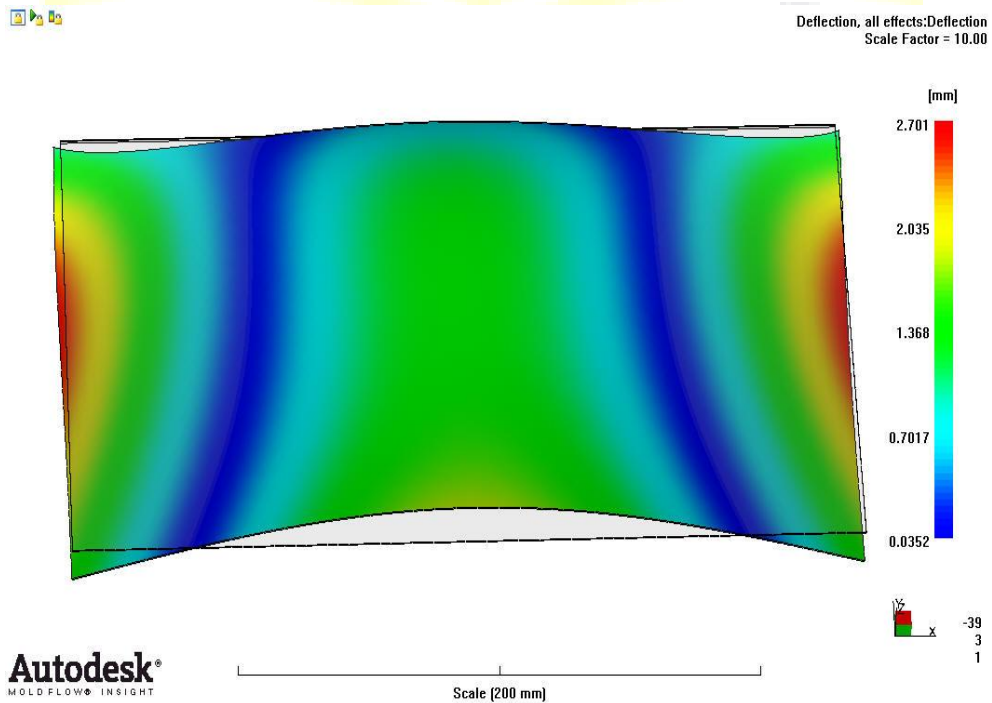


圖 3- 29 衣架型澆口翹曲總變形放大 10 倍分佈

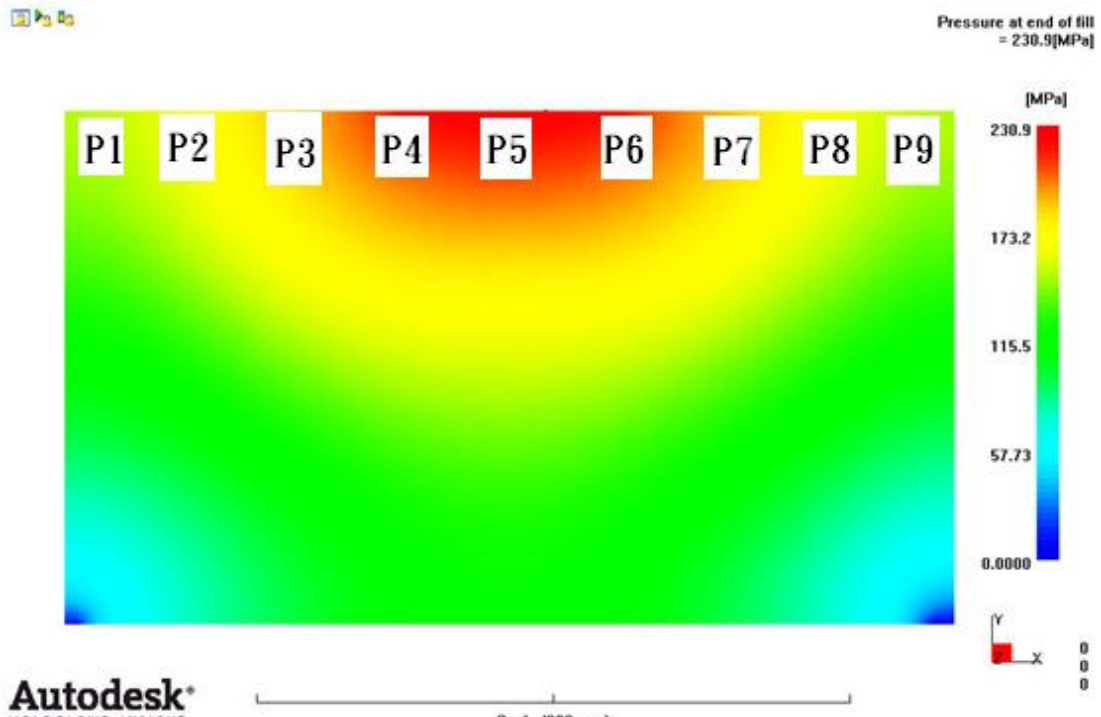


圖 3- 30 壓力與溫度九點量測方式

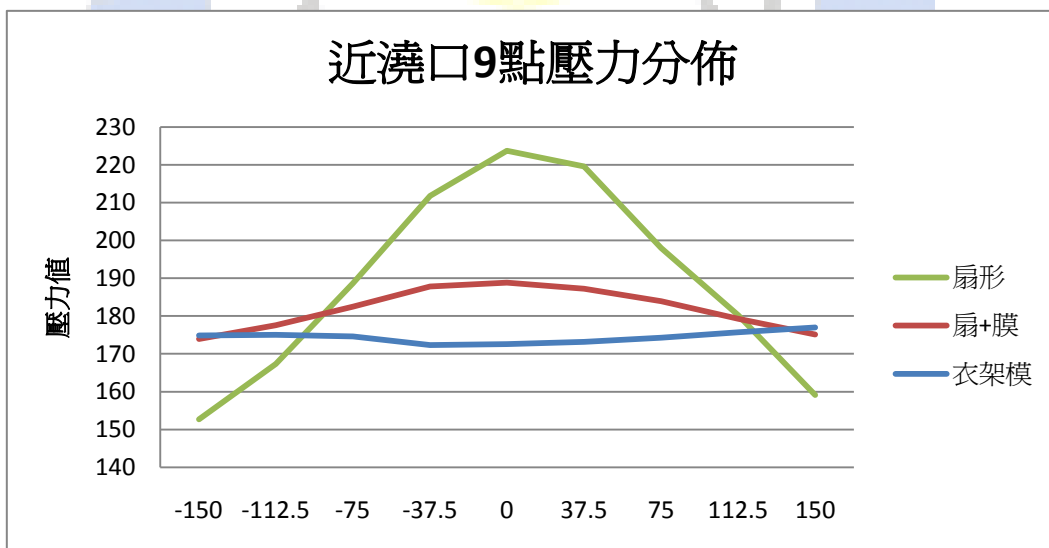


圖 3- 31 九點量測壓力曲線

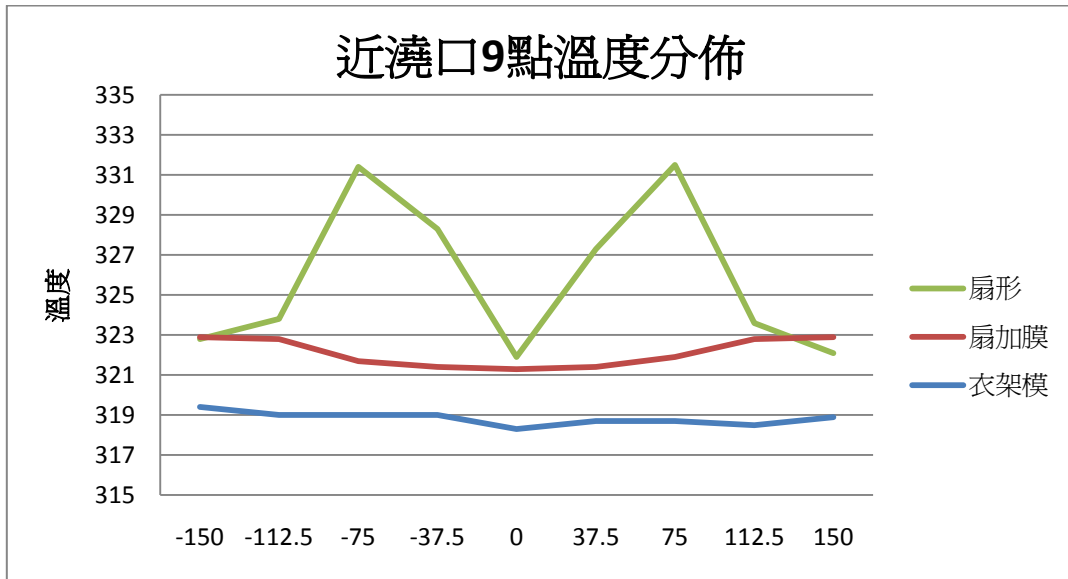
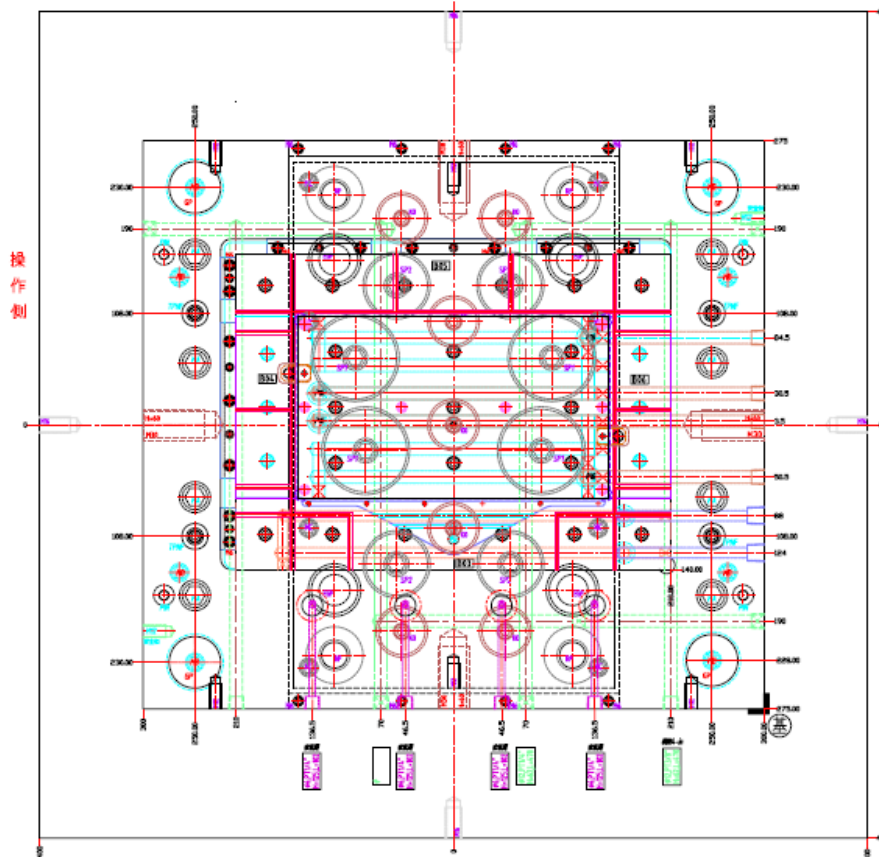
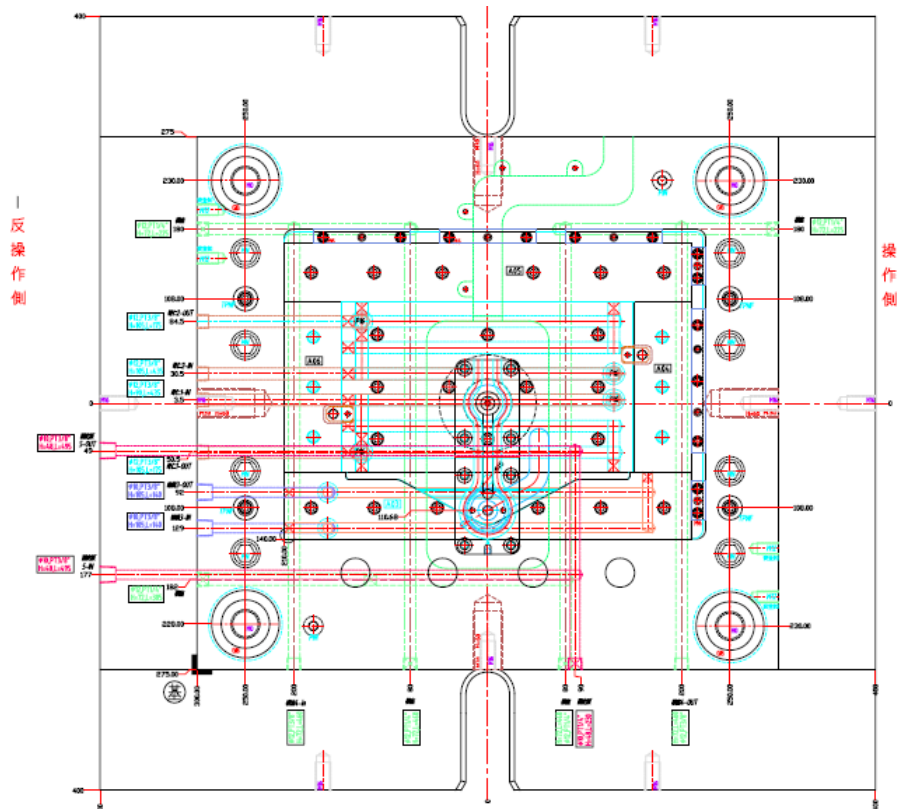


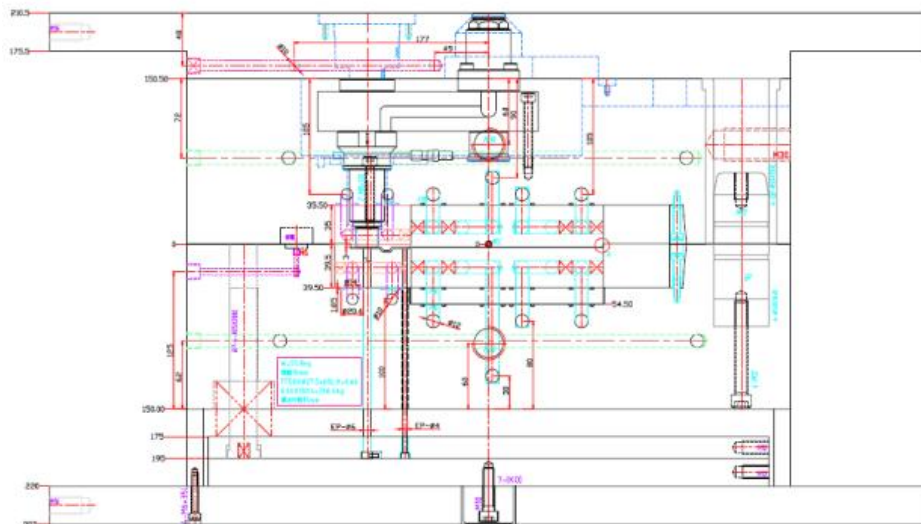
圖 3-32 九點量測溫度曲線



(a)公模上視圖



(b)母模上視圖



(c)側視圖

圖 3-33 模具加工圖

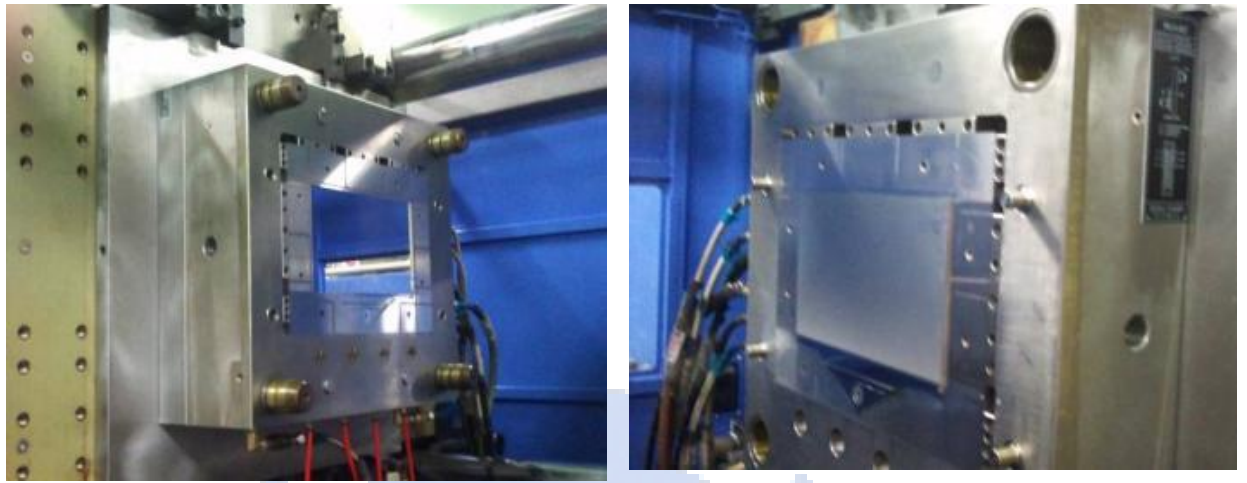


圖 3-34 模具實體圖



## 第四章 實驗方法與檢測

### 4.1 實驗流程

本研究以開發 13.3 吋大尺寸薄型導光板為研究目標，其尺寸為長(299.5mm)、寬(173.4mm)、厚度(0.5mm)，澆口型式為扇形加膜狀澆口，利用田口實驗計畫法來進行導光板澆口尺寸最佳化，並設計及製造具備射出成形及射出壓縮成形雙重功能的模具，最後進行射出壓縮成型實驗及檢測，其實驗流程如圖 4-1 所示，首先利用模流分析進行導光板澆口尺寸最佳化實驗，模流分析模擬射出過程中塑料進入產品時壓力的均勻度，搜尋澆口尺寸設計對導光板成形的貢獻度與最佳組合。實驗模具加工製造後，進行大尺寸薄型導光板射出壓縮成型實驗，以單一參數法探討各製程條件對大尺寸薄型導光板厚度變化及產品外觀應力痕的關係，成形機採用 JSW，型號為 J450AD-UPS-370H 的高速射出機，進行射出壓縮成型生產導光板，並將導光板組裝成功能完整的背光模組，利用 BM7 光學輝度計，檢測背光模組的光學效果，最後探討導光板厚度與光學輝度的關係，並對於本研究做出結論。本章將逐一說明所使用的實驗材料、儀器設備、實驗方法及步驟。

### 4.2 實驗材料與設備

#### 1. 實驗材料

因導光板為一光學產品，材料的選定上除了滿足光學特性的需求外，也必須考慮在成形上的要求，其外觀需具有透明性與高透光率，本研究使用的塑膠原料為Kuraray GH-1000S 光學級壓克力(PMMA)，其特性為光穿透率高(92.4%)，具有透明度佳、高硬度、流動係數佳及耐Gamma 射線照射等特性，因此適用於大尺寸薄形導光板的射出成型，其基本性質如表4-1 所示。

## 2. 成型射出機

成形實驗使用 JSW，型號為 J450AD-UPS-370H 射出成形機如圖 4-2 所示，有使用壓縮功能的參數設定，其壓縮模式可分為「A 模式」與「B 模式」，A 模式為射出時模具的分模面閉合，以初期合模力→最終合模的動作進行壓縮；B 模式為射出時模具的分模面是開啓於任意位置，以射出→模具接觸→最終合模的動作進行壓縮，本研究採用 B 模式進行實驗，在鎖模機構方面則為雙肘節式機構，與直壓式機構相比，肘節式機構在短時間增大壓縮力的成形時，以肘節連桿伸直時(合模缸筒行程終點)作為壓縮完畢，所以容易保持成形品的壁厚均勻及尺寸穩定性。主要規格如表 4-2、4-3 所示。

## 3. 輝度計

對於光學的效果驗證，本研究使用 BM-7 輝度計，如圖 4-3，為六軸臥式的平台，量度 CRT、LED、LCD 等的輝度。用於各種照明設備的輝度、生產線上用之感應器的輝度、訊號燈、管制燈、道路照明、隧道照明、道路標識等的輝度及塑膠、紙等的反射率。可量度範圍：備有 0.2°度 (0.01 ~ 199,900 cd/m<sup>2</sup>)、1°度(0.1 ~ 1,999,000 cd/m<sup>2</sup>)及 2°度(1 ~ 19,990,000 cd/m<sup>2</sup>) 的測量角度可供選擇，在量測上 Z 軸可量測角度為±85°。

## 4.3 澆口尺寸最佳化實驗

因上述澆口形狀分析結果，故選擇符合目前市場需求的扇型加膜狀澆口形狀做為本研究成形實驗的模具設計，並且利用田口實驗計畫方法進行澆口尺寸最佳化實驗，尋求澆口尺寸的最佳組合，澆口尺寸最佳化流程如圖 4-4。

### 4.3.1 澆口尺寸因子設計

澆口設計決定熔膠在模穴內的流動情形，不合適的澆口設計將會使熔膠在充填過程產生不平衡的流動，導致壓力較大、溫度分佈不均與收縮不均等現象，理



想的澆口設計，可使熔膠同時進入產品，且熔膠在模穴內所損失的壓力也會減少。前述澆口設計探討當中，可以發現扇形加膜狀澆口是先由扇形部分將熔膠擴散開來，再由膜狀澆口均勻的進入產品，如圖 4-5 在此熔膠流動路徑可分為 A 及 B，而路徑 A>B，則熔膠充填路徑 A 時所花費的時間也較長，為了使熔膠能均勻的進入產品，將改變路徑 B 的厚度變化，即減少厚度 H1 及厚度 H2 使熔膠充填至 H1 與 H2 時因厚度減少，讓熔膠充填時產生阻力，補足 A 及 B 在充填澆口時造成的時間差，本研究定義 H1 為第一次導流厚度、H2 為第二次導流厚度。在文獻[17]中提到，當澆口進入產品的面積增大有助於減少充填壓力的損失，因此本研究以澆口長(L)、寬(W)、第一次導流厚度(H1)、第二次導流厚度(H2)，作為田口實驗因子。澆口尺寸設計變更因子如圖 4-6。

#### 4.3.2 定義尺寸最佳化指標

充填過程中藉由壓力推動熔膠在模穴內流動，熔膠與模壁摩擦產生壓力降，壓力降越大表示該方向流阻越大，若能使熔膠進入產品時，有均勻的流動阻力，可使熔膠充填時較為平整，故本研究以均勻的壓力分佈為目標，以模流分析結果，充填至產品時的中間壓力與兩旁的壓力差做為田口實驗的目標值，選定望小來做為品質特性，再以橫向壓力差的百分比表示壓力均勻程度，表示百分比越小代表壓力分佈越均勻，其公式為： $(\text{壓力差}/\text{橫向壓力平均值})\times 100\%$ ，壓力差量測方式如圖 4-7。

### 4.4 田口實驗計畫法

#### 4.4.1 簡介

田口式實驗計畫法(以下簡稱田口法)由田口玄一博士，結合英國統計學家

R.A.Fisher 以及印度學者 Rao，所發展出來的實驗計劃法。是針對有效率開發新產品及改良製程的品質工程技術；它的特性在於以低成本、高效率、數字化的指標，來幫助企業做好品質的源流管理和改善。田口法的特色在於利用直交表規劃實驗與信號雜音比 (Signal-Noise Ratio, S/N) 分析實驗數據。利用直交表實驗計畫以快速、經濟的方式進行實驗，並得到最小實驗誤差之數據，而以信號雜音比分析實驗數據，找出最佳參數水準組合，以達到適當的品質目標值。以下為實驗流程田口實驗步驟說明：

#### 4.4.2 步驟

##### 1. 實驗規劃

- (1) 確認產品主要機能性與決定品質特性之理想值。
- (2) 列出可能影響品質特性之特性因子。
- (3) 辨認控制因子與雜訊因子，並決定其因子水準數。
- (4) 依照因子個數與設定水準數選用適當之直交表。

##### 2. 實驗階段

- (1) 進行直交表實驗，並紀錄相關數據

##### 3. 實驗結果分析與驗證

- (1) 依照實驗後之相關數據計算 S/N。
- (2) 做因子分析。
- (3) 根據因子效果回應表與回應圖找出最佳化參數組合。
- (4) 進行實驗分析驗證實驗結果。

#### 4.4.3 品質特性與種類

使品質特性與目標值一致，只要一有偏離，即會造成損失，以損失函數的概

念將品質量化，使人能掌握品質的狀況。而品質特性依理想機能的不同可以區分為許多型態：

(1)望目特性(Nominal The Best)：

品質特性越接近目標值越好，品質特性的機能是此目標值。其 S / N 比公式為：

$$S / N = - 10 \log \{ (\bar{y} - m)^2 + S^2 \}$$

(2)望小特性(Smaller The Best)：

品質特性越小越好，也就是品質特性的理想機能為零(假設品質特性永遠是正數)，其 S / N 比公式為：

$$S / N = - 10 \log (\bar{y}^2 + S^2) = - 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} = \eta$$

(3)望大特性(Larger The Best)：

品質特性越大越好，也就是品質特性的理想機能為無窮大(假設品質特性永遠是正數)，其 S / N 比公式為：

$$S / N = - 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n} = \eta$$

其中： $y_i$  為第  $i$  個品質特性、 $\bar{y}$  為平均品質特性、 $n$  為資料數目、

$$S \text{ 為標準偏差，即 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}$$

本研究利用魚骨圖(Fish-Bone Diagram)將影響因子作一整理。如圖 4-8 是針對本次實驗來進行深入探討所整理出之魚骨圖。在所有影響此品質特性的因子中，決定控制因子(Control Factors)，並定出它們的水準。

#### 4.4.4 選擇直交表

使用直交表的目的是希望以較少的實驗，分析所有因子在不同水準下的差異，藉以獲得最合適的參數組合，由於直交表的種類眾多，所以需要先計算出總共的自由度(Degree Of Freedom)，由總自由度中可得知所需進行實驗次數的最小值，而一個直交表的列數則表示實驗的次數，所以在選擇一個能適用的直交表時，它的列數必須大於或等於所需的自由度，而一個直交表的行數代表該直交表所能研究因子個數的最大值。因此需要先確定所討論的控制因子共幾個，並且每個控制因子需要幾個水準，確定以上參數後即可計算所需之自由度，本研究是以4個控制因子3水準的成形參數進行直交表規劃，直交表排列如表4-4所示，其公式如下：

$$D.O.F. = m \times (n-1) = 4 \times (3-1) = 8 \quad (1)$$

m:成型參數個數(控制因子)      n:水準個數

#### 4.4.5 計算 S/N 比

田口博士將「平均品質損失」以對數轉換、乘以 10、且乘上負號轉換，並將其稱為 S/N 比，做為「品質」的同義字。由於 S/N 比可衡量品質的穩定性，因此 S/N 比與品質損失函數有密切的關係，意即 S/N 比越大表示品質損失越小。田口博士有效地利用直交表與 S/N 比的觀念，以參數設計方法求得一最佳參數水準組合，可降低系統對各種雜音的敏感度，提升穩健性。

S/N比是在同時考量平均值與變異數，依不同的望小、望大或望目之品質特性，使用不同的 S/N 比來計算，因導光板為成形參數與射出機的搭配下所生產的成品，若是發生過大的翹曲變形，將會影響其光學特性，因此在品質特性的定義上，採用最小總翹曲量做為品質指標函數。因此可採用望小特性之 S/N 比計算公式，來進行田口品質特性分析，公式如下所示：

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

$$\eta_{STB} = S / N = -10 \log(MSD) \quad (3)$$

將各組所計算出的 S/N 比整合起來便可製成回應表，如表 4-5 所示，並以回應圖的方式來輔助判斷各因子的影響程度。在回應圖中，若控制因子的直線斜率越大，則表示該因子對成品品質的影響越大，反之，則影響越小。其次，藉由計算各組的 S/N 比來進行變異數分析，以找出各因子的貢獻度來決定影響程度。

#### 4.4.6 交互作用(Interaction)

在選定控制因子時會先假設每個因子的效應都是獨立的，表示任何兩個因子間互不影響，表示任何兩個因子間無交互作用，因此所獲得之最佳參數所做的實驗數據會比直交表中任何參數較佳；若不是最佳參數組合則需重新探討各因子間之交互作用，取得考慮交互作用後之參數組合再做確認實驗以求得最佳的參數組合；或是慎選品質特性及控制因子，盡量降低交互作用所產生的效應，並使用高度推薦之直交表，或飽和的直交表來降低交互作用所產生的影響求得最佳的參數組合。

#### 4.4.7 變異數分析(Analysis Of Variance, ANOVA)

變異數分析的主要目的為求得因子的貢獻度及有效性，並評估實驗誤差。在實驗過程中，常出現干擾因子與交互作用影響實驗結果的現象，而變異數分析便是利用平方和的統計技術，以評估各控制因子與整體實驗在平均回應上的偏差量。其相關公式定義如下，並整理成變異數分析表，如表4-6所示以四個控制因子為例。

1.全變動(Sum Of Square Due To Total Variation)，為各條件之S / N 比的變異總量為各條件的S / N 比與平均的S / N 比之差的平方和

$$S_T = \sum_{i=1}^n \eta_i^2 - CF \quad (4)$$

2.變動(Sum Of Square)，為各因子的變動率

$$S_A = \left[ \sum_{i=1}^{k_i} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right] - CF \quad (5)$$

3.自由度( $f$ )，P為因子具有之水準

$$f = P - 1 \quad (6)$$

4.變異(Error Variance)，判斷何者將列入誤差因子

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} \quad (7)$$

5.純變動(Pure Sum Of Square)

$$S'_A = S_A - (f_A \times V_e) \quad (8)$$

6.變異比(F Value)，可看出誤差因子對每一因子的影響

$$F_A = \frac{V_A}{V_{eT}} \quad (9)$$

7.貢獻度(Contribution)，看出每一個因子對實驗的影響程度

$$\rho_A = \frac{S'_A}{S_T} \times 100\% \quad (10)$$

8.誤差項變動

$$S_E = S_T - S_A - S_B - \dots - S_n \quad (11)$$

9.誤差項自由度

$$f_E = f_T - f_A - f_B - \dots - f_n \quad (12)$$

10.誤差項的貢獻度

$$\rho_e = \frac{S'_{eT}}{S_T} \times 100\% \quad (13)$$

#### 4.4.8 最佳因子組合與最佳理論值

在最佳因子組合與最佳理論值的判斷上，本研究採用以下步驟來決定：

- (1).以回應圖上各因子的最大 S/N 比作為初步最佳組合，並計算其預測值。
- (2).針對初步最佳組合來進行變異數分析，並觀察各因子的重要性比率。
- (3).對初步最佳組合進行驗證實驗。
- (4).如預測值與驗證實驗的結果差異過大時，即針對各因子進行交互作用評估，以確認是否受到交互作用影響。

- (5).以影響程度最大的因子來決定出新的最佳組合，並計算新的預測值。
- (6).以新的最佳組合來進行確認實驗，並與初步最佳組合相比較。
- (7).進行各因子的重要性測試(F-test)，與變異數分析之貢獻度不同的是，F-test 是根據統計量的機率分配來決定控制因子是否達到最低信心水準，並進而判斷控制因子的重要性，如表 4-7 所示。

## 4.5 射出壓縮成型實驗

### 4.5.1 射出壓縮成型模式

在射出壓縮成型實驗中，採用射出成型機為JSW日本製鋼所製造的高速成型機，使用機台模式為B3模式如圖4-9，此模式成型方式為將模具合模至初始閉模位置(模具開模距離)，螺桿前進開始充填熔膠，當螺桿前進至開始壓縮位置(或到達所設定的壓縮啟動時間)時，射出機傳遞訊號至鎖模機構，鎖模力開始上升，進行壓縮動作。若壓縮動作啟動太慢，熔膠充填量將過多，且凝固層過厚，將導致可動側模板無法完全壓回合模。若壓縮動作啟動太快，可動側模板完全合模，鎖模力上升，將降低壓縮動作的功能。鎖模力達到機台最大鎖模力450tf時，約需0.5秒。

### 4.5.2 射出壓縮成型參數設計

在射出壓縮成型實驗中主要的參數設定有開始壓縮位置、射出速度、模溫、壓縮力、模具開模距離等，開始壓縮位置是指在螺桿前進注料到一位置後，開始壓縮動作，其他設定參數如壓縮力，由於在熔膠進入模穴因厚度超薄會快速冷卻產生凝固層，造成壓縮不易，因此以機台最大鎖模力450tf為壓縮力，由料溫310℃、開模距離0.02mm做為固定條件，固定參數條件如表表4-8，本實驗以改變單一參數法，探討每一個成形條件對導光板厚度的成型，分別作以下實驗：



- (a) 實驗以 Level 1 參數作為基準組，以變換某一製程條件，固定其他條件，觀察此參數對成形導光板厚度的影響，首先以料溫 310°C、開模距離為 0.02mm 作為固定條件，以變更模溫、開始壓縮位置、射出速度，來探討各因子對產品厚度的影響，變更參數如表 4-9。
- (b) 依照上述各因子對產品厚度影響結果，針對凝固層所造成的應力痕，決定適當的操作視窗，在不同多段射出速度下，以不發生毛邊及短射為操作視窗的邊界，實驗 5 組不同的射出速度，探討射出速度與應力痕之關係，實驗變更參數如表 4-10。
- (c) 以實驗 6 組射出速度，找出使導光板厚度能達到 0.5mm 所對應之保壓切換點的成形視窗，並且探討厚度與輝度之關係，實驗變更參數如表 4-11。

#### 4.6 光學及厚度檢測

量測導光板所產生的輝度與均勻度之光學性質之前，必須先有適當的背光模組，將導光板加上框、LED 光源、擴散膜片等，13.3 吋背光模組如圖 4-10，將燈源點亮並利用 BM7 六軸輝度儀量測其光學特性包括輝度、色溫等性質。本研究依照業界規格要求，採用 5 點量測法(圖 4-11)及 13 點量測法(圖 4-12)來量測導光板輝度值與均勻度。目前業界量測輝度之標準如表 4-12 所示，導光板 13 點平均輝度 3500nit、均勻度 75%，5 點平均輝度 3600nit、均勻度 85%。本實驗背光模組，在量測的規範為，BM7 的檢測視角為 1°，背光模組與 BM7 的量測距離為 500mm(如圖 4-13 所示)。以中央點的厚度(點 5~6)及四個邊角(點 1~4)的厚度來表示厚度的變化如圖 4-14。計算均齊性的公式如(14)、均齊性與厚度關係百分比表示如(15)所示。

$$\text{(最小輝度值/最大輝度值)} \times 100\% \quad (14)$$

$$\text{(該點輝度值/平均輝度值)} \times 100\% \quad (15)$$

表 4- 1 GH-1000S 光學級壓克力(PMMA)物性表

項目	試驗法 ASTM	單位	GH-1000S
光學性質			
全光線透過率	D1003	%	93
霧度	D1003	%	0.1
屈折率	D542		1.49
機械性質			
拉伸強度	D636	kgf/cm <sup>2</sup>	740
伸長率	D638	%	5
彎曲強度	D790	kgf/cm <sup>2</sup>	1180
彎曲彈性率	D790	kgf/cm <sup>2</sup>	3.4×10 <sup>4</sup>
Izod 衝擊強度	D256	kgf/cm <sup>2</sup>	26
洛氏硬度	D785	M scale	101
熱變性質			
熱變形溫度 (無負荷)	D648	°C	92
(有負荷)			101
MFR	D1238	g/10min	10
軟化點溫度	D1525	°C	113
其他性質			
比重	D729		1.19
成形收縮率	D955		0.002~0.006
成形加工			
成形條件	乾燥條件	°C & hr.	80~100&4~6
	成形溫度	°C	230~280
	模具溫度	°C	50~90

表 4- 2 射出機合模規格

合模方式	雙肘節式油電混合鎖模裝置
最大合模力 kN(tf)	4420(450)
連桿間隔 (橫 × 縱) mm	260 x 260
模板尺寸 (橫 × 縱) mm	1210 x 1210
間隙 mm	1600
最小/最大模具厚度 mm	350/ 800
頂出力 kN(tf)	99(10.0)
頂出行程 mm	180

表 4- 3 射出機塑化射出規格

螺桿直徑 mm	40
最大射出壓力 MPa(kg/cm <sup>2</sup> )	341(3477)
射出量 cm <sup>3</sup>	14(0.5oz)
最大射出率 cm <sup>3</sup> /sec	1256
最高射出速度 mm/sec	1000
螺桿行程 mm	180

表 4-4 四個控制因子之直交表

Exp.	控制因子 (A)	控制因子 (B)	控制因子 (C)	控制因子 (D)	配置組合
1	A1	B1	C1	D1	A1B1C1D1
2	A1	B2	C2	D2	A1B2C2D2
3	A1	B3	C3	D3	A1B3C3D3
4	A2	B1	C2	D3	A2B1C2D3
5	A2	B2	C3	D1	A2B2C3D1
6	A2	B3	C1	D2	A2B3C1D2
7	A3	B1	C3	D2	A3B1C3D2
8	A3	B2	C1	D3	A3B2C1D3
9	A3	B3	C2	D1	A3B3C2D1

表 4-5 四個控制因子之回應表

	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D
Level 1	A1	B1	C1	D1
Level 2	A1	B2	C2	D2
Level 3	A1	B3	C3	D3
Effect	$A_{\max}-A_{\min}$	$B_{\max}-B_{\min}$	$C_{\max}-C_{\min}$	$D_{\max}-D_{\min}$

表 4- 6 四個控制因子之誤差統合表

控制因子	變動 (S)	自由度 (f)	變異 (V)	變異數 (F)	信心水準 (Confidence)	重要性 (Significant)
Factor A	$S_A$	$f_A$	$V_A$	$F_A$		
Factor B	$S_B$	$f_B$	$V_B$	$F_B$		
Factor C	$S_C$	$f_C$	$V_C$	$F_C$		
Factor D	$S_D$	$f_B$	$V_S$	$F_D$		
Error	$S_e$	$f_e$	$V_e$	S (實驗誤差)		
Total	*NOTE :At Least % Confidence(最低信心水準)					

表 4- 7 四個控制因子之變異數分析表

控制因子	變動(S)	自由度(f)	變異(V)	純變動 (S')	貢獻度(ρ)
Factor A	$S_A$	$f_A$	$V_A$	$S'_A$	$\rho_A$
Factor B	$S_B$	$f_B$	$V_B$	$S'_B$	$\rho_B$
Factor C	$S_C$	$f_C$	$V_C$	$S'_C$	$\rho_C$
Factor D	$S_D$	$f_B$	$V_S$	$S'_D$	$\rho_D$
Error(e)	$S_e$	$f_e$	$V_e$	$S'_e$	$\rho_e$
Total(T)					

表 4- 8 射出壓縮成型參數配置

成形參數	參數設定
V/P 切換	螺桿 40mm
保壓時間	4 秒
保壓壓力	30MPa
塑料溫度	310℃
模具溫度	85℃
冷卻液	水
冷卻時間	35sec
模具開模距離	0.02mm
壓縮力	4420kN
射出成形機	機台型號： J-450AD-UPS ； 合模力= 450 ton 最大射出壓力= 334 MPa ； 螺桿直徑=40mm

表 4- 9 射出壓縮成型變更參數設計

Factors	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
A：模溫 (℃)	75	85			
B：射出速度 (mm/s)	100-250	100-275	100-300	100-325	100-350
C：開始壓縮位置 (mm)	80	82.5	85	87.5	90

表 4- 10 射出壓縮成型變更參數設計

射出壓縮成形-固定參數	
模溫 (°C)	85
模具開模距離	0.02mm
開始壓縮位置 (mm)	85
壓縮力	4420kN
單一參數實驗組別	
射出速度 1 (mm/s)	200-225-250-300-250
射出速度 2 (mm/s)	200-250-300-350-300
射出速度 3 (mm/s)	200-300-350-400-350
射出速度 4 (mm/s)	200-300-450-600-450
射出速度 5 (mm/s)	200-400-600-800-650

表 4- 11 射出壓縮成型變更參數設計

射出壓縮成形-固定參數	
模溫 (°C)	85
模具開模距離	0.02mm
開始壓縮位置 (mm)	85
壓縮力	4420kN
單一參數實驗組別	
射出速度 1 (mm/s)	200-250-295-315-335-300
射出速度 2 (mm/s)	200-250-315-345-375-345

射出速度 3 (mm/s)	200-250-335-405-475-405
射出速度 4 (mm/s)	200-250-350-450-550-450
射出速度 5 (mm/s)	200-400-600-800-650-610
射出速度 6 (mm/s)	200-250-410-630-860-630

表 4- 12 量測點規格標準

項目		規格
平均輝度	13 點	3500nit↑
	5 點	3600nit↑
均齊度	13 點	75%↑
	5 點	85%↑

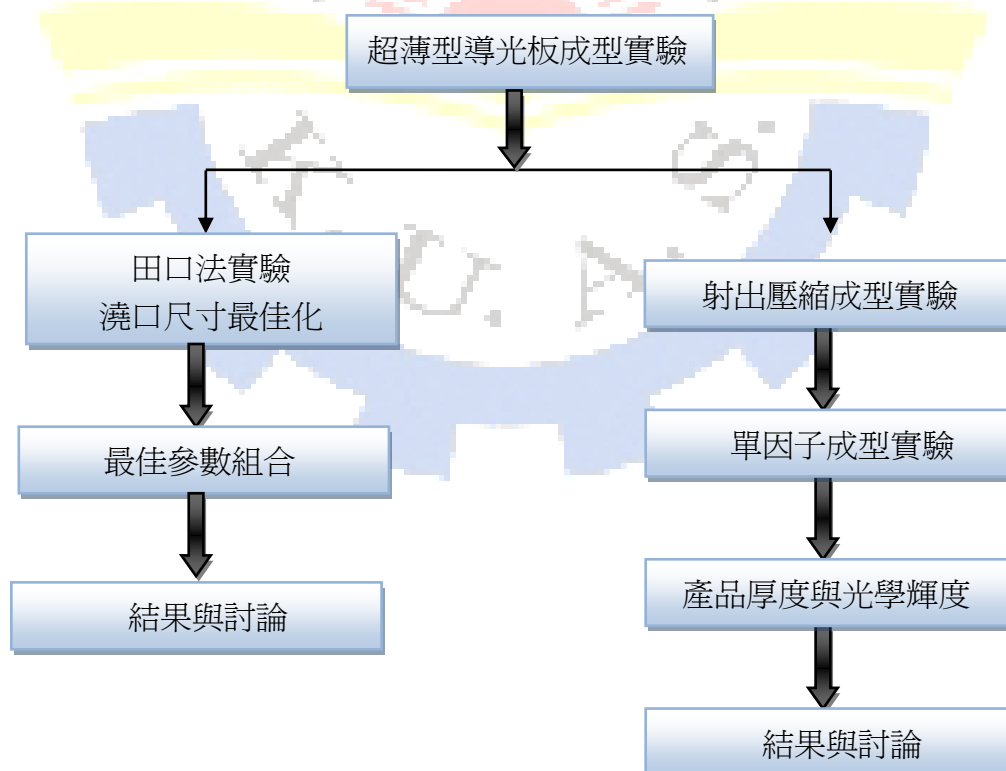


圖 4- 1 研究流程圖





安全規格に準拠・産機工安全通則(JIMS K1001)  
Model: J220AD・J280AD・J350AD・J450AD

圖 4-2 日鋼射出成形機



圖 4-3BM7 六軸輝度計

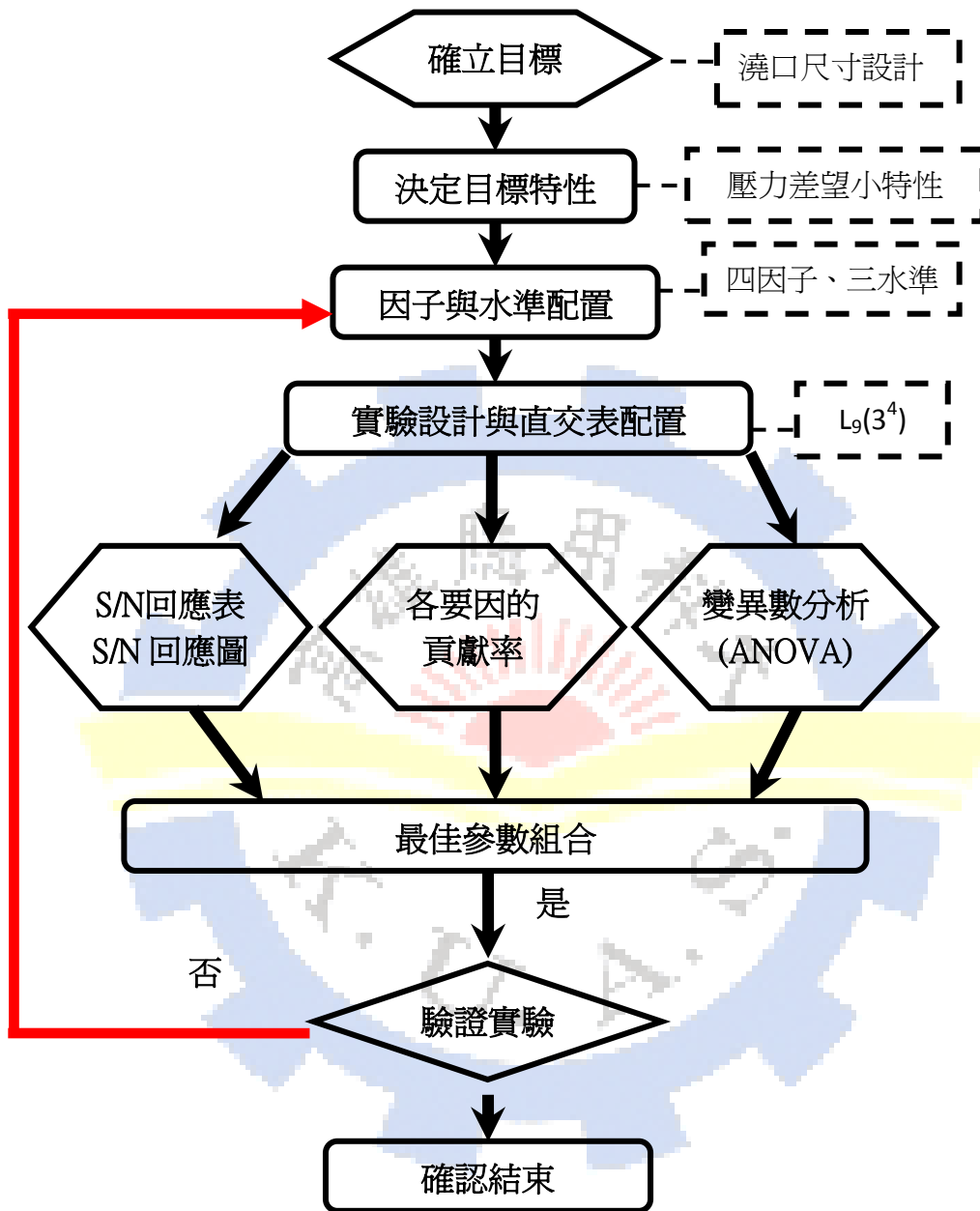


圖 4- 4 田口實驗流程圖

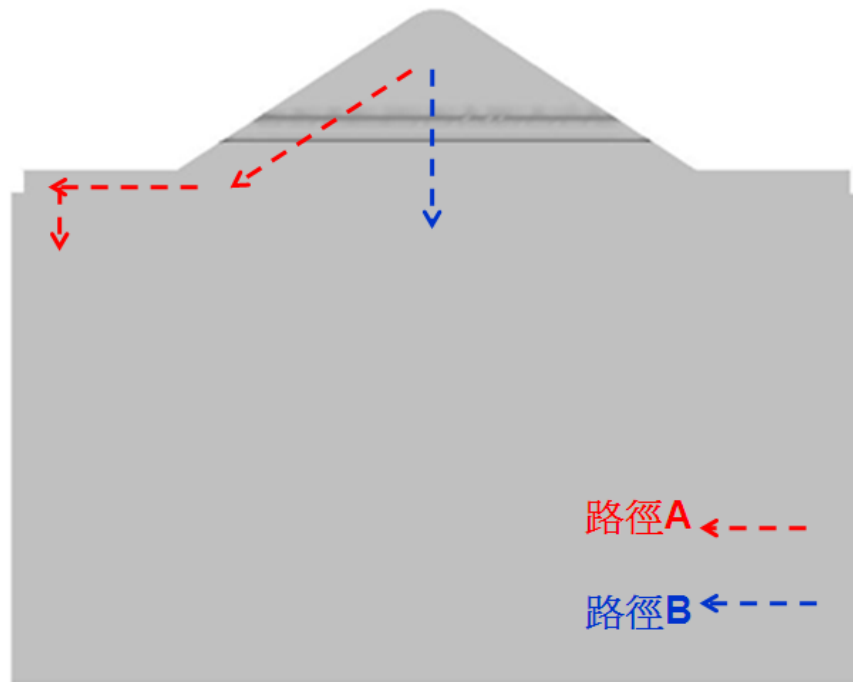


圖 4-5 扇形加膜狀澆口熔膠流動路徑

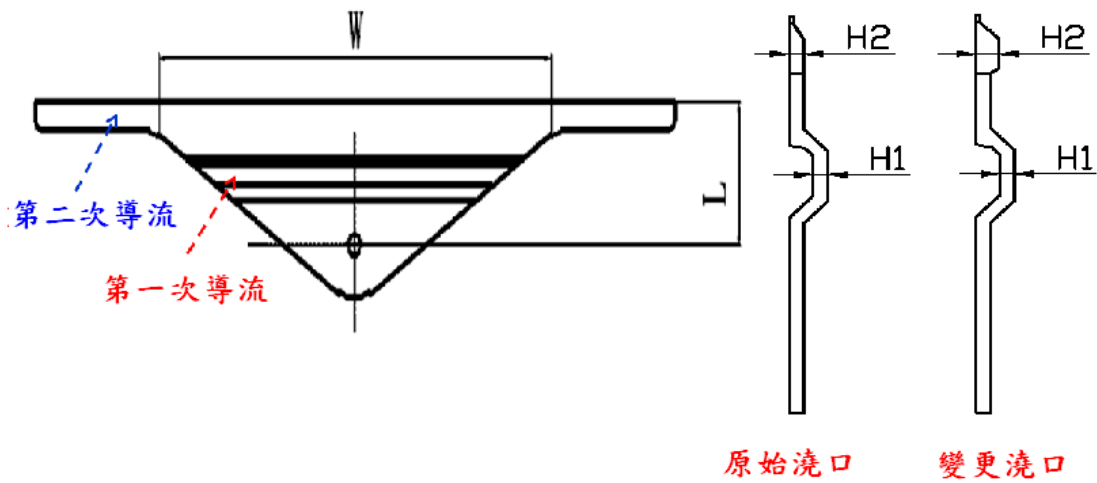
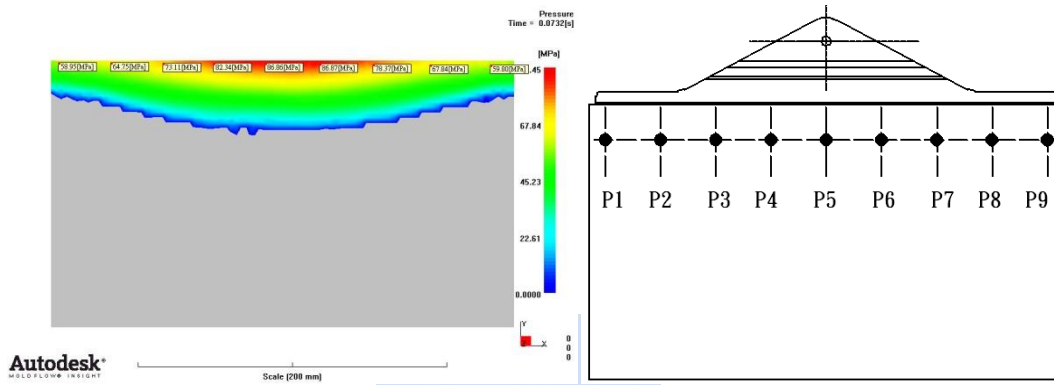


圖 4-6 澆口尺寸設計變更因子



(a) 熔膠進入產品之壓力分佈

(b) 9點壓力量測位置

圖 4-7 澆口壓力量測值示意

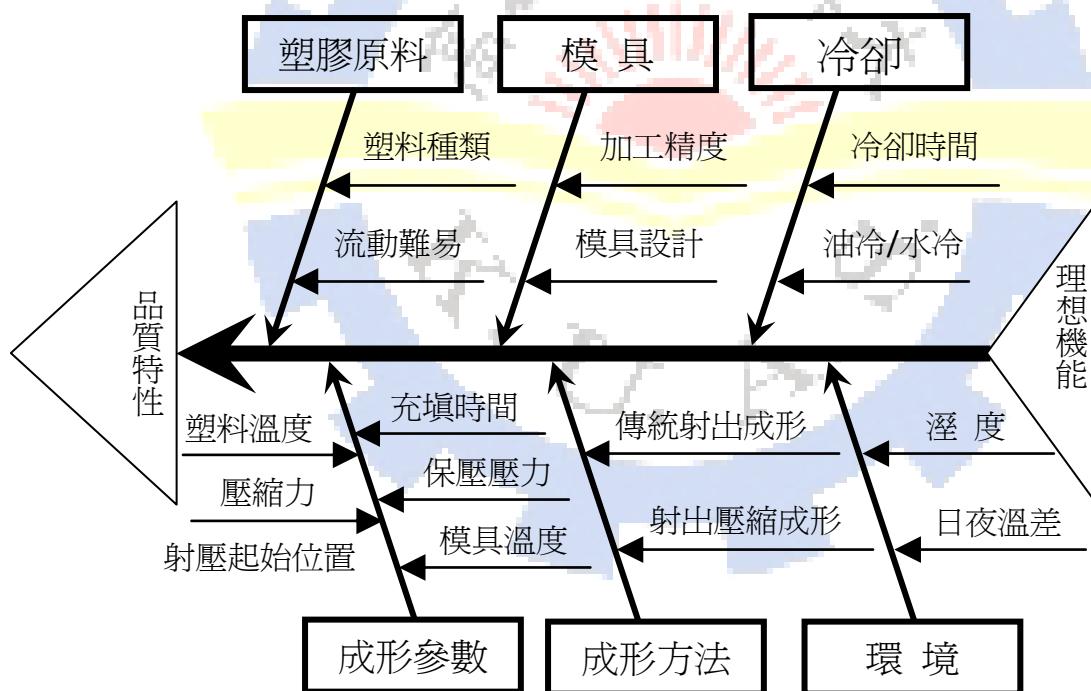


圖 4-8 品質特性因子(魚骨圖)

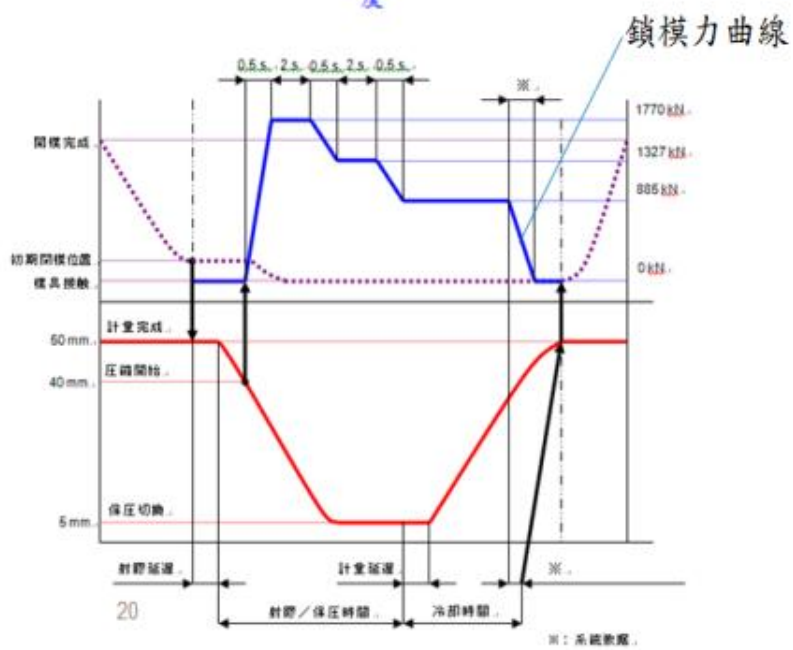
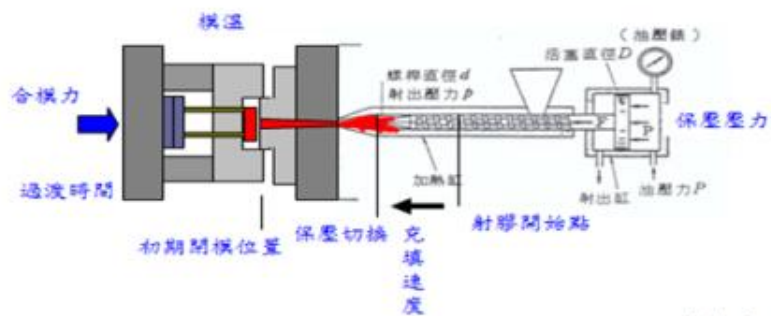


圖 4-9 射出壓縮機台 B3 模式



圖 4-10 13.3 吋背光模組

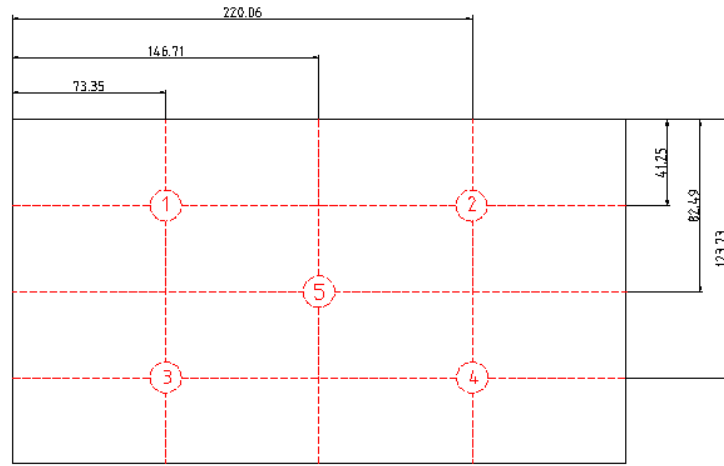


圖 4-11 5 點量測法示意圖

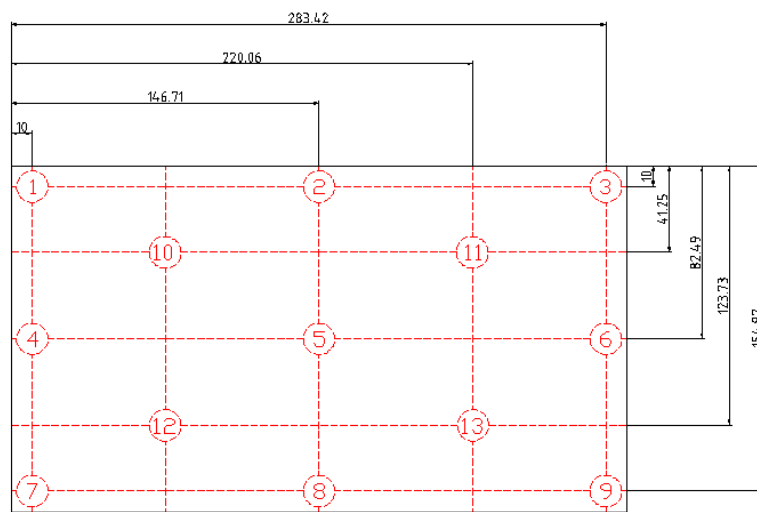


圖 4-12 13 點量測法示意圖

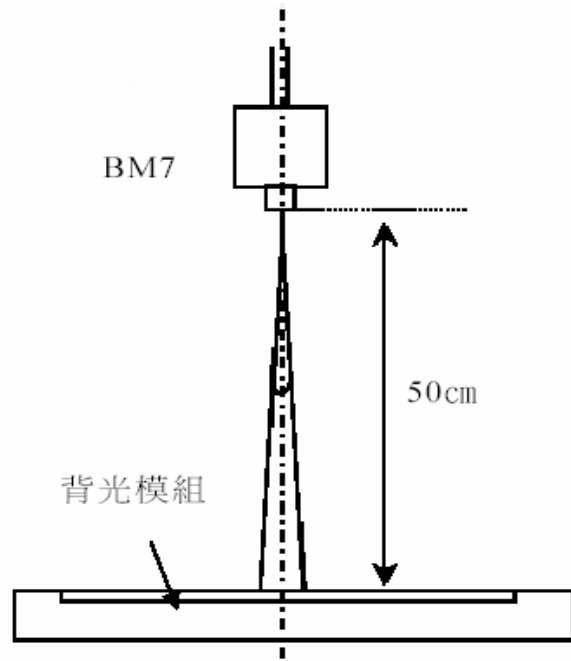


圖 4-13 光學輝度量測示意圖

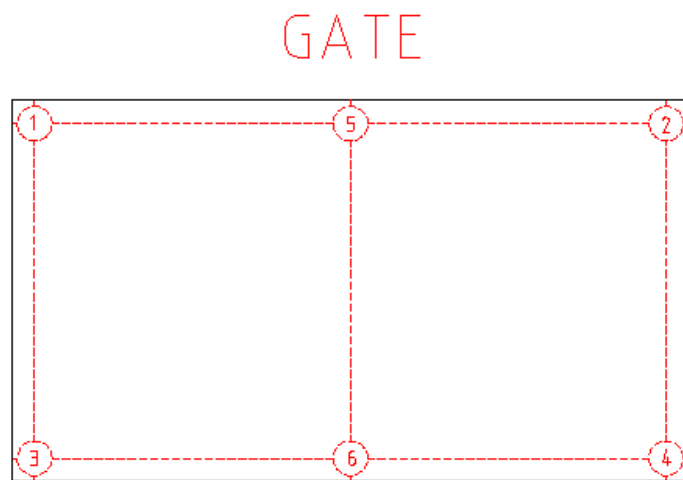


圖 4-14 中間厚度(點 5~6)及四邊厚度(點 1~4)量測點

## 第五章 結果與討論

### 5.1 田口實驗對導光板澆口設計最佳化探討

在第三章模具設計中，探討三種澆口設計成形特性後，決定本實驗模具採用扇形加膜狀的澆口型式，以模流分析軟體模擬澆口射出成形時所產生的壓力差，運用田口法進行澆口尺寸最佳化實驗，其品質特性為望小特性，以熔膠進入產品時所產生的橫向壓力差最小為目標，當壓力差越小，代表熔膠進入產品時，所產生的流動阻力越一致。而控制因子在澆口設計變更參數因子中，選擇以扇形澆口寬(w)、澆口長(L)、第一次導流厚度(H1)、第二次導流厚度(H2)等四個參數，做為控制因子，每個因子去三個水準如表 5-1 所示，此實驗之自由度為  $4 \times (3-1) = 8$ ，所以選定  $L9(3^4)$  直交表配置進行成型實驗。

以模流分析軟體 MoldFlow 模擬 9 組澆口尺寸在射出成形時，所產生的壓力分佈，在量測充填過程中熔膠進入產品的橫向壓力差作為田口分析的數據，量測 9 點值及壓力差如表 5-2，曲線如圖 5-1 所示。而信號雜音比 S/N 計算如表 5-3 所示，計算出 S/N 比之後，建立回應表、回應圖，如表 5-4、圖 5-4 所示，由回應表找出要因的影響程度與等級為：

第二次導流厚度 (D) > 第一次導流厚度 (C) > 扇形寬度 (A) > 澆口長度 (B)

由反應圖中推斷出最好澆口尺寸設計之條件為【A3 B3 C2 D3】，S/N比回應如圖 5-2所示在此條件下進行確認實驗，實驗結果如圖5-3所示，熔膠進入產品之橫向壓力差為9MPa，顯示在最佳條件下確實有效降低壓力差。

由實驗計畫法所得各組的S/N值進行異數分析探討，並將其結果整理成變異數分析表其結果如表5-5所示，對於降低熔膠進入產品內的壓力差，主要影響因子



的貢獻度依序如下：第二次導流厚度(H2)為50%、第一次導流厚度(H1)為33%、扇形寬度(W)為9%、澆口長度為3%，其中以第二次導流厚度的貢獻度為最高。

由探討橫向壓力差之均勻性百分比來驗證，利用田口實驗法改善之壓力均勻性，如表5-6結果所示，L4為9組田口實驗中最佳均勻性之尺寸、L5為射出壓縮成型實驗所使用之模具尺寸、L10為田口實驗反應圖中推斷出的最佳的澆口尺寸，L10有最小的壓力差(8.22MPa)、平均壓力(37.41MPa)及最均勻的壓力均勻性(21%)，改善原先實驗所使用的澆口設計約14%。

## 5.2 射出壓縮成型實驗探討

本實驗為探討不同製程條件對導光板厚度之影響，以下為射出壓縮成型參數配置一對各製程條件對導光板厚度之影響：

### (1) 開始壓縮位置對導光板厚度之影響

由機台回饋之訊號可發現，機台達到最大鎖模力需要 0.5 秒，圖 5-4 顯示開始壓縮位置對充填結束時之鎖模力的影響，當螺桿到達開始壓縮位置時，鎖模力開始上升，進行壓縮動作。由結果顯示出越早開始啟動壓縮(即螺桿位置較大的例子)，可使鎖模力越早開始上升，所以在充填結束時有較大的鎖模力，反之亦然。在充填過程中熔膠注入模穴，模內壓力快速升高，此時可動側模板如果沒有足夠的鎖模力支撐，很可能會被熔膠壓力推開，造成模穴間隙增加，使熔膠在後續的保壓階段發生過量注入的情形，這將嚴重影響導光板的厚度尺寸。因此配合射出機的響應時間，適當地調整開始壓縮的位置，使充填過程中，有適當的鎖模力支撐可動側模板，使可動側模板能夠定位，維持在初始閉模位置，待熔膠達到預計的注入量，可動側模板由鎖模力的作用而閉合模具，將是一種比較恰當的成型控制。

若太早啟動壓縮動作，則可動側模板會過早閉模，壓縮的效果會降低。在本

研究中分別以中央點的厚度(點 5~6)及四個邊角(點 1~4)的厚度來表示厚度的變化如圖 5-5。圖 5-6 顯示開始壓縮位置對導光板中央點厚度及四個邊角厚度平均值的影響，結果顯示當越早開始啟動壓縮，厚度比較接近模穴的設計厚度 0.5mm，越慢啟動壓縮動作，導光板的厚度明顯增厚，這是因為壓縮動作啟動較慢，可動側模板在充填過程中被模穴壓力撐開，造成熔膠過量注入，而鎖模力在壓縮階段無法將可動側模板壓回的結果。比較中央點厚度與四個邊角的厚度平均值可以發現，中央點厚度較大，約比四邊角的厚度多出 0.05mm，且隨著壓縮動作愈慢啟動，中央點的厚度愈大，這主要是因為可動側模板被撐開時，造成模穴中央區域的凝固層增厚，影響了壓縮動作，無法將熔膠壓回到模穴的設計厚度，因此造成中央點厚度較大。也有可能是模穴壓力大，造成可動側模板變形之故。

### (2) 射出速度對導光板厚度之影響

圖 5-7 顯示射出速度對導光板厚度之影響，由於螺桿射速越高，在模穴內的融膠壓力愈大，導致可動側模板在熔膠充填中被推開的間隙越大，熔膠注入的量愈多，因此造成導光板的厚度愈大。比較中央點厚度與四個邊角的厚度平均值可以發現，中央點厚度比較大，約比四邊角的厚度多出 0.05mm，其原因也是凝固層與模具變形所造成的。

### (3) 模溫對導光板厚度之影響

圖 5-8 顯示模溫對導光板厚度之影響，由結果可知，模溫 85°C 所成型的導光板厚度較接近模穴設計值 0.5mm，模溫 75°C 所成型的導光板厚度較厚。這主要原因有二項；第一是因為模溫提高時，熔膠比較容易充填，因此模穴內壓力較低，

可動側模板被撐開的間隙較小，熔膠比較沒有過量注入的現象。第二是由於模溫的提高，可以減緩凝固層的生成，因此有助於壓縮動作的順利。

### 5.2.1 應力痕的形成與對策

本實驗為探討不同射出速度及模溫對導光板應力痕之影響，以表 4-10 之參數作射出壓縮成型實驗，圖 5-9 (a)是在模溫 75°C、螺桿速度 250 mm/sec 時所成型的導光板，很明顯可以發現在導光板的中央區區域有一橢圓形痕跡，其描繪之示意圖如圖 5-9 (b)，其原因說明如下。

由於在射出縮壓成形時，模板是可移動的，在高射速情況下，壓力也相對較高，造成模板被撐開，因為模穴內部空間增加，而在相同螺桿速度下，使模穴內熔膠波前速度降低，當壓縮啟動後，模板前進，模穴厚度逐漸變小，融膠受到擠壓而有加速的現象，模板開啓量與波前速度變化如圖 5-10 所示，模板撐開示意如圖 5-11 所示。波前速度降低，使熔膠溫度降低，導致凝固層的生成，當壓縮閉模時，模板進行壓縮，模穴內的中間區域由於凝固層較厚，導致熔膠的二次流動，如圖 5-12，此時因熔膠溫度下降，黏度上升，會有較高的剪切應力造成高分子的延伸或壓縮，而在產品形成應力痕跡。

圖 5-13 顯示模溫提高到 85°C 的改善結果，應力痕已明顯淡化。模溫提高可避免熔膠冷卻太快，有助於減緩凝固層的生成，因此在壓縮過成中即可降低二次流動的發生。提高螺桿速度，能避免熔膠波前速度降低，減緩凝固層成長速度。圖 5-14 為螺桿多段速度的控制型式，在第二段至第四段行程，螺桿速度遞增，彌補模板被撐開時，熔膠波前速度降低的問題。當充填到成品後段時，由於壓縮動作會造成模穴間隙縮小，熔膠被擠壓，波前速度會被加速，而且也避免充填量過多，

造成毛邊，因此將螺桿速度遞減。比較圖 5-9(a)與圖 5-15 的實驗結果，顯示在螺桿速度多段控制下，產品的應力痕確實可以得到明顯的改善。而且射出速度越高則剪切生熱效應越強，凝固層愈薄，能更有效降低應力痕的產生。

## 5.2.2 探討不同射出速度達到目標厚度之成形視窗

本實驗為達到成品量產規格，以變更多段射出速度達到減少應力痕，另外搭配提前切換保壓，使注入熔膠量減少以達到目標厚度值。厚度影響輝度示意如圖 5-16 顯示，當導光板因厚度增加網點位置與原始設計不一致，使得無法導引光線使其均勻出光，造成全反射，降低導光板的輝度。圖 5-17 顯示，導光板成型厚度平均為 0.6mm 與 0.55mm 時，量測 81 點整體輝度百分比與導光板厚度關係，顏色越深代表輝度越高，從輝度量測結果顯示，當導光板成型厚度較接近 0.45~0.55mm 公差範圍內時，有較均勻的輝度均齊性，以下為依照不同的多段射出速度搭配 v/p 切換點，找出符合目標厚度：

表 5-7 為多段射出速度 1 至多段射出速度 6 若要達到目標厚度公差範圍 0.45mm~0.55mm 時，必須對照的切換點位置，以速度 1 在成形時厚度能達到 0.45mm~0.55mm，螺桿必須在 41~41.5mm 時切換保壓，此表顯示速度 1~6 若要使導光板厚度達到公差範圍內時，所需對照的切換點位置。

射出速度對導光板厚度之影響，由於螺桿射速愈高，在模穴內的融膠壓力愈大，導致可動側模板在熔膠充填中被推開的間隙越大，熔膠注入的量愈多，因此造成導光板的厚度愈大。因此將提前切換保壓，使熔膠注入的量減少避免厚度超過目標值的公差範圍。

表 5-1 田口氏實驗計畫法因子與水準表

因子\水準	水準1	水準2	水準3
A.扇形寬度(w)	135	180	225
B.澆口長(L)	30	40	50
C.第一次導流厚度(H1)	1	1.5	1.8
D.第二次導流厚度(H2)	1.8	2.5	3

表 5-2 田口實驗 9 點量測結果及壓力差

澆口寬度 田口實驗	-150	-112.5	-75	-37.5	0	37.5	75	112	150	$\Delta P$	$\Delta P$ / 平均壓力
L1	56	62.18	71.07	78.84	83.46	80.45	72.52	63.51	54.52	28.2	41%
L2	30.04	42.52	46.55	50.35	51.12	51.82	46.85	41.1	32.29	20.3	47%
L3	27.62	38.75	39.29	42.35	41.03	40.33	37.4	33.88	25.62	15.1	42%
L4	45	47.1	51.12	54.53	56.67	54.4	51.13	47.58	43.45	12.4	25%
L5	50.95	58	64.34	68.7	72.15	70.85	64.4	57.73	48.61	21.7	35%
L6	23.1	35	39.85	43.13	45.67	42.71	38.32	31.98	20.32	24	67%
L7	28.29	38.57	43.14	45.96	48.42	45.92	42.45	37.43	27.55	20.5	52%
L8	26.73	35.91	39.52	42.09	42.83	41.38	39.2	35.5	25.8	16.6	45%
L9	46.62	53.75	58.42	61.8	68.93	62.11	59.4	54.38	47.41	15.9	28%

表 5-3 信號雜音比

EXP	量測數據		壓力平均 $\bar{y}$	MSD 均方 偏差	S/N
	$\Delta P1$	$\Delta P2$			
1	27.46	28.94	28.2	795.79	-29.01
2	21.78	18.83	20.3	414.28	-26.17
3	14.73	15.41	15.1	228.13	-23.56
4	11.67	13.22	12.4	154.37	-21.92
5	19.90	23.53	21.7	474.20	-26.77
6	22.57	25.35	24	577.93	-27.6
7	20.13	20.87	20.5	420.39	-26.24
8	16.10	17.03	16.6	275.78	-24.39
9	16.31	15.52	15.9	252.97	-24.04

表 5-4 品質特性的因子反應表

	扇形寬度(A)	澆口長度(B)	1st 導流區厚 度(C)	2st 導流區厚 度(D)
Level 1	-26.25	-25.72	-27	-26.6
Level 2	-25.43	-25.78	-24.04	-26.67
Level 3	-24.89	-25.07	-25.52	-23.29
Range	1.36	0.71	2.96	3.38
Rank	3	4	2	1

表 5-5 變異數分析表

因子	變動(S)	自由度(DOF)	變異(Var)	貢獻度 $\rho\%$
A	37.43	2	18.715	9%
B	12.94	2	6.471	3%
C	135.02	2	67.509	33%
D	200.46	2	100.230	50%
Error	18.35	9	2.039	5%
Total	404.20	17		100%

表 5-6 田口橫向壓力均勻性比較

田口組別	壓力差	平均壓力	壓力均勻性 ( $\Delta P$ /平均壓力)
L4(壓力差最小)	12.4	50.11	25%
L5(實驗所使用模具尺寸)	21.7	61.75	35%
L10(田口最佳化結果)	8.22	37.43	21%

表 5-7 螺桿射出速度與切換點對照

V/P 切換點 射出速度	41	41.5	42	42.5	43	43.5	44	44.5	45	45.5	46
速度 1											
速度 2											
速度 3											
速度 4											
速度 5											
速度 6											

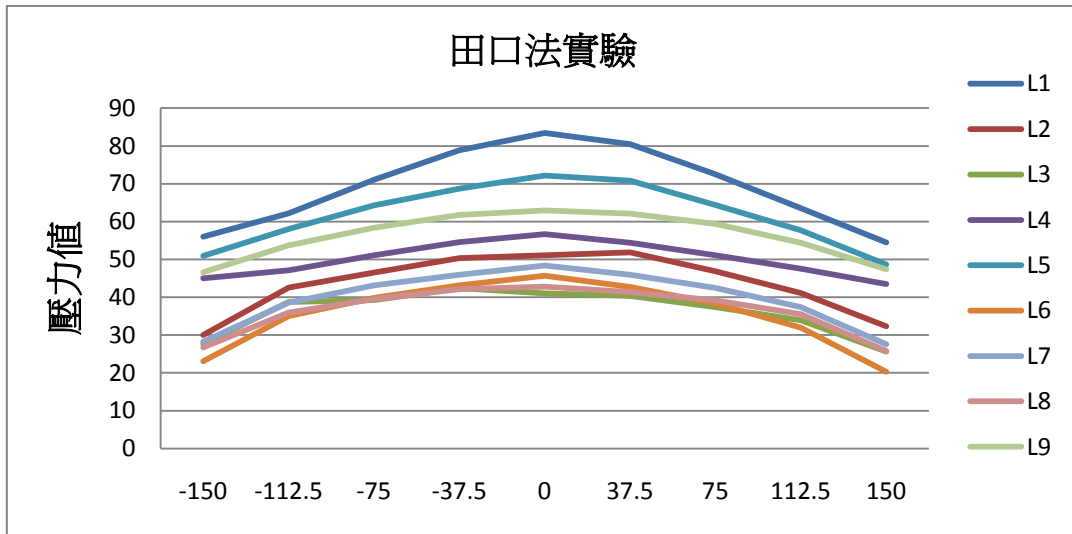


圖 5-1 田口實驗法 9 組量測曲線

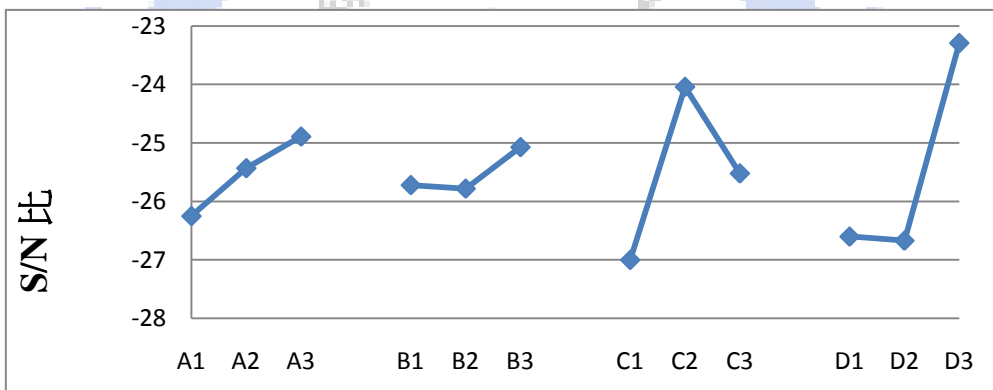


圖 5-2 S/N 比回應圖

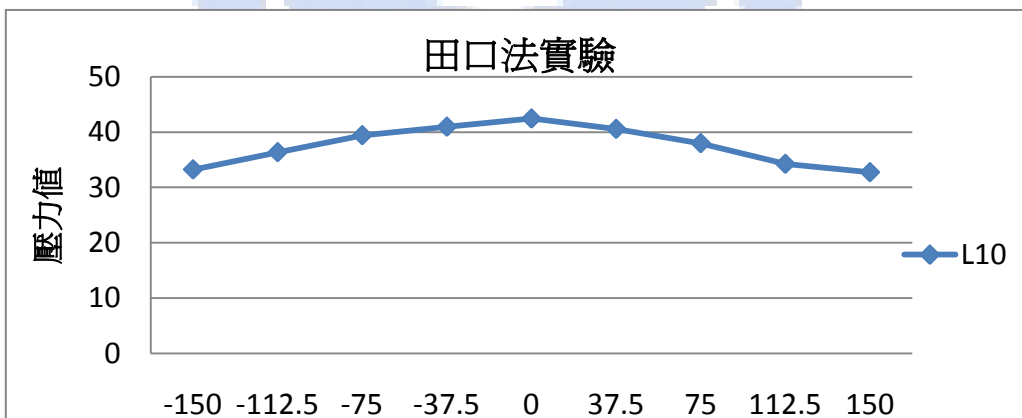


圖 5-3 田口最佳化參數 L10 壓力曲線



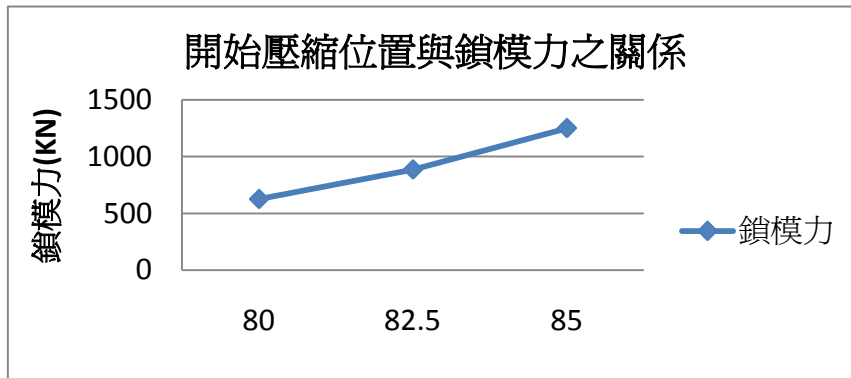


圖 5-4 開始壓縮位置與充填結束之鎖模力的影響

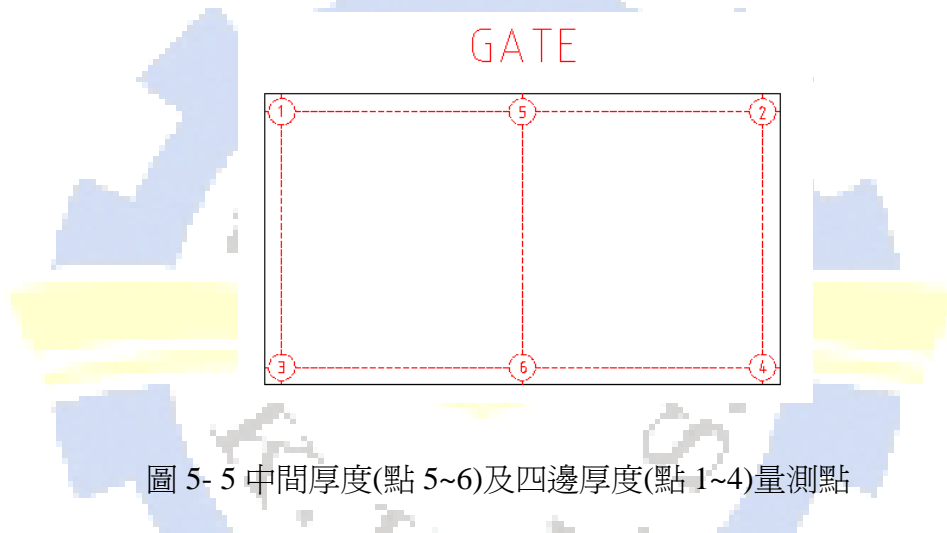


圖 5-5 中間厚度(點 5~6)及四邊厚度(點 1~4)量測點

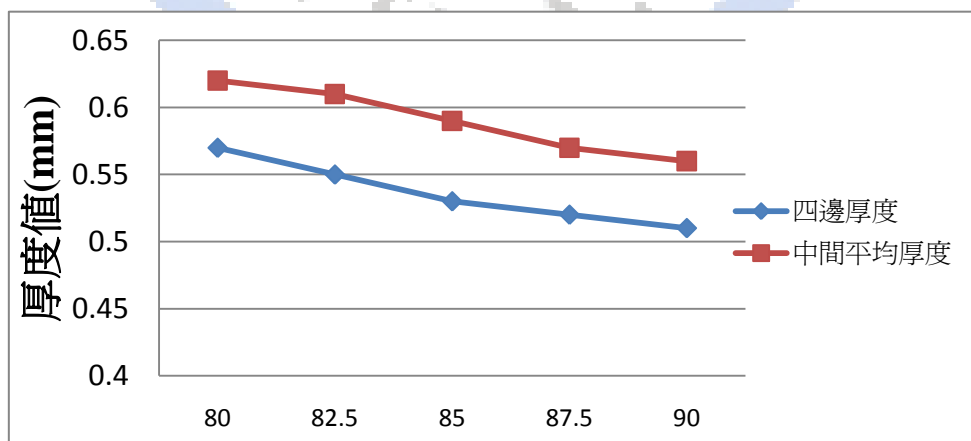


圖 5-6 開始壓縮位置對厚度的影響

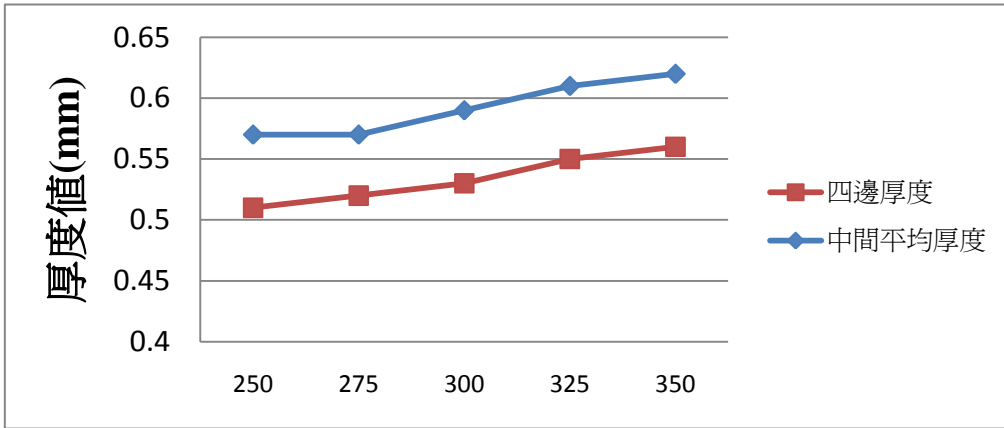


圖 5-7 射出速度對厚度的影響

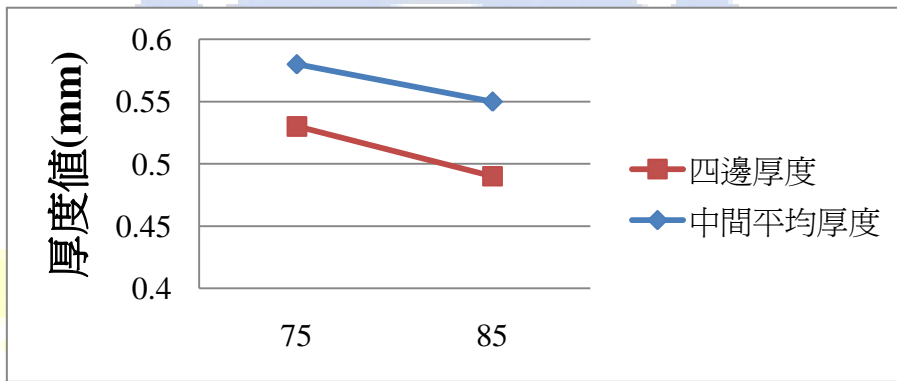
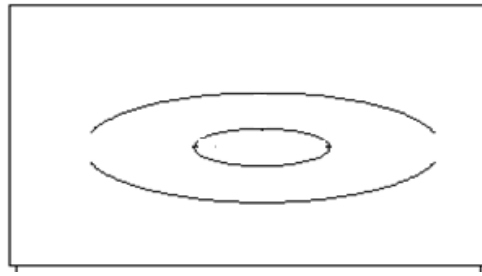


圖 5-8 模溫與厚度變化圖



(a) 應力痕示意圖



(b) 產品應力痕

圖 5-9 產品應力痕示意圖

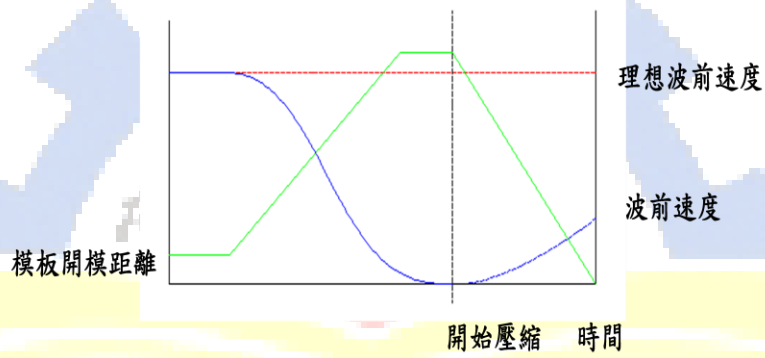


圖 5-10 模板開啓量與波前速度變化

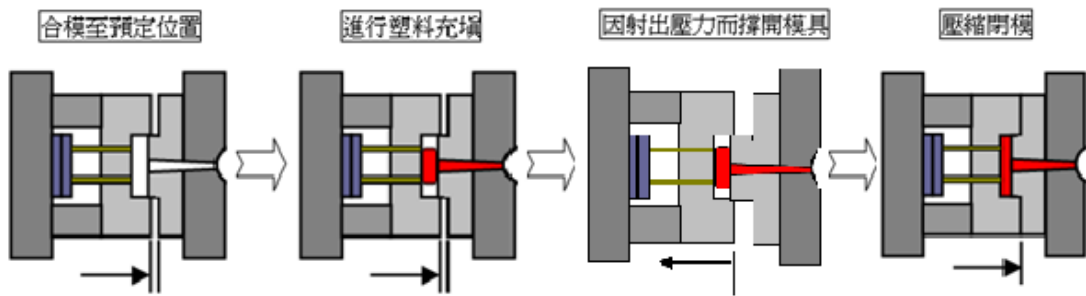


圖 5-11 模板撐開示意圖

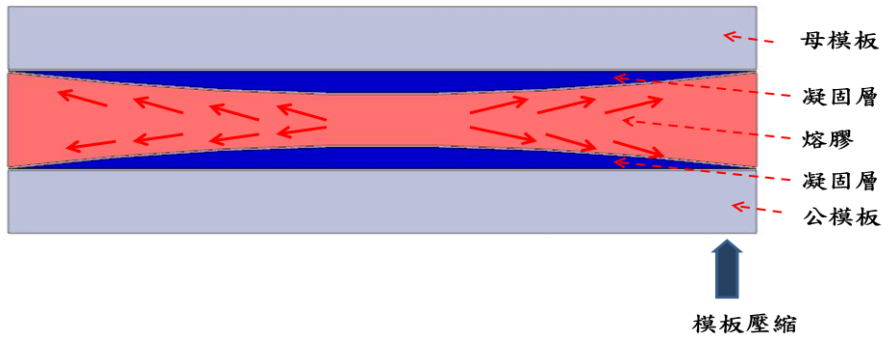


圖 5- 12 模板壓縮造成熔膠二次流動示意圖

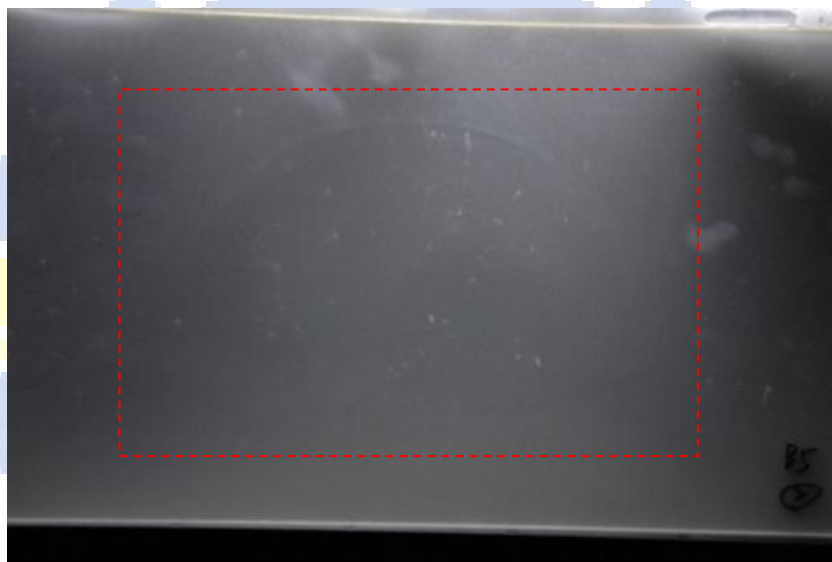
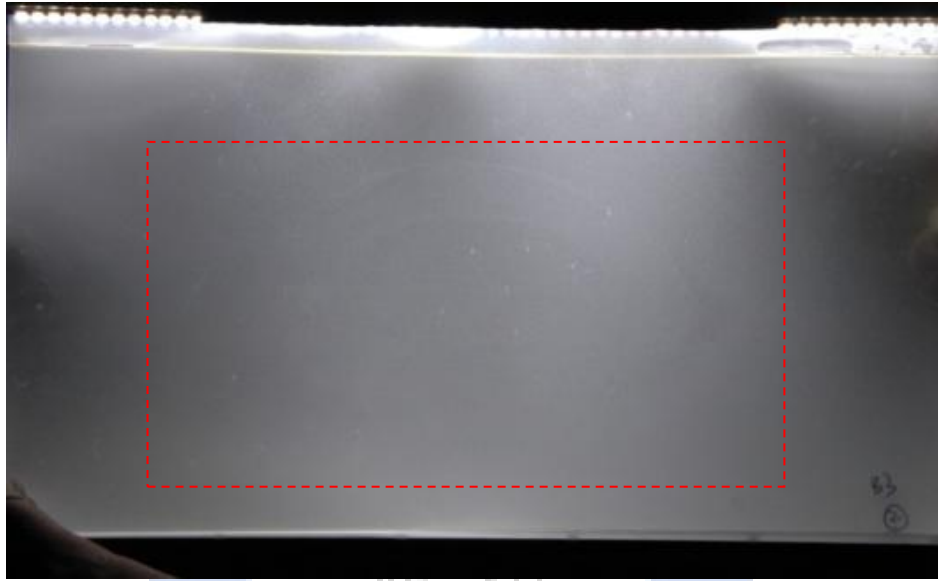


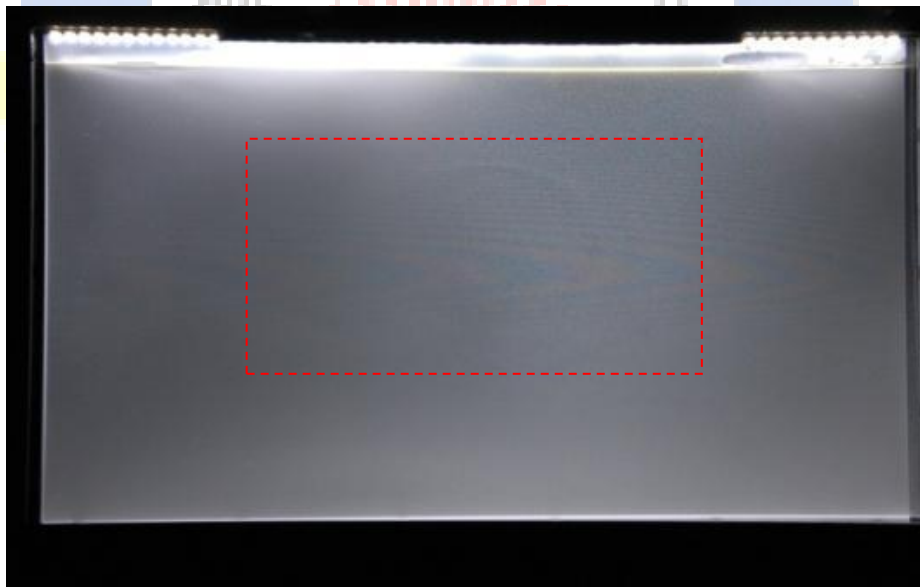
圖 5- 13 模溫 85°C 時導光板應力痕分佈



圖 5- 14 螺桿多段射出速度控制型式



(a) 螺桿多段射出速度 1(最高速為 300mm/sec)時導光板應力痕分佈



(b) 螺桿多段射出速度 2(最高速為 600mm/sec)時導光板應力痕分佈



(c) 螺桿多段射出速度 3(最高速為 800mm/sec)時導光板應力痕分佈

圖 5-15 變更螺桿速度多段控制下應力痕分布比較圖

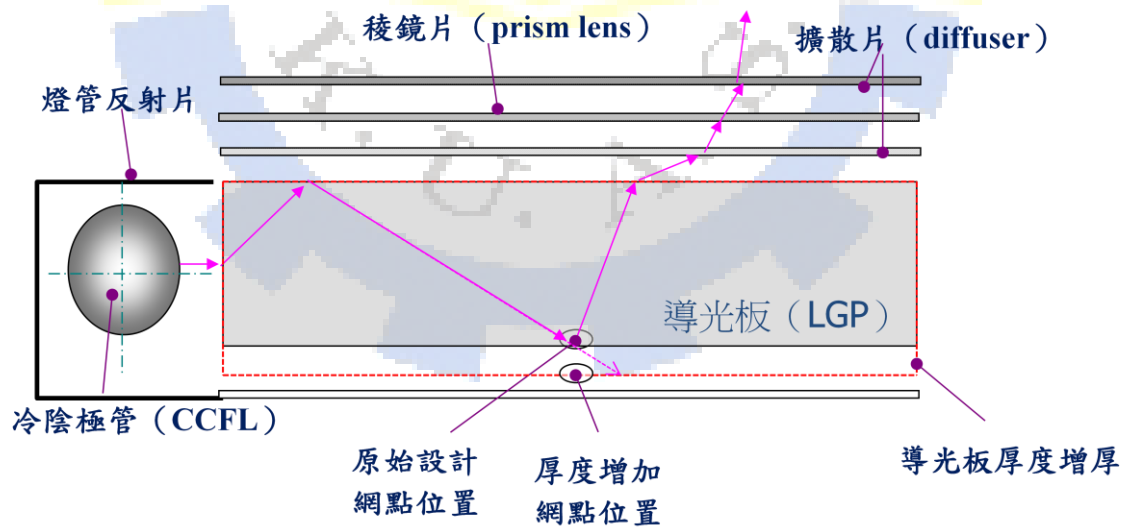


圖 5-16 厚度增加影響出光示意圖

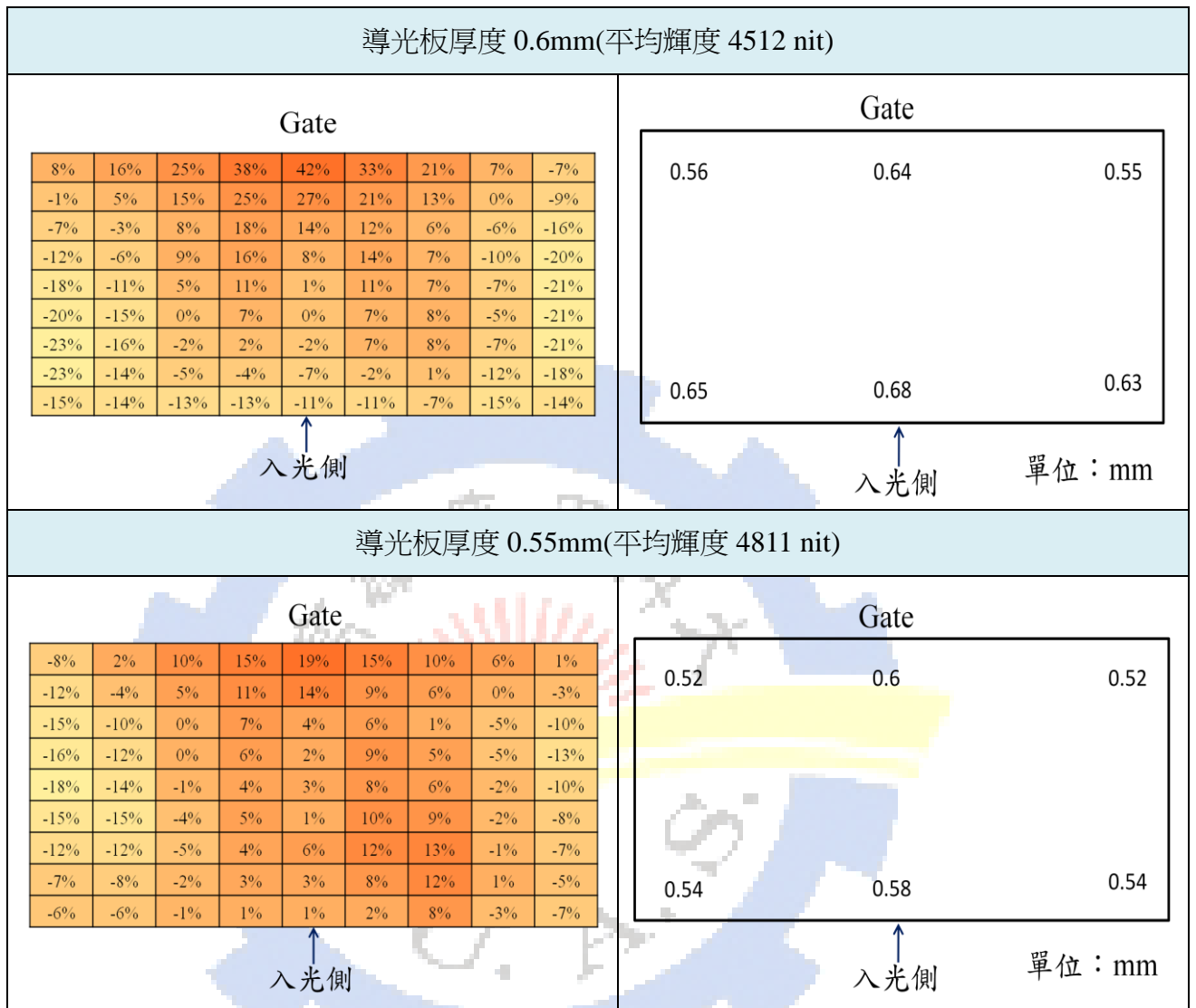


圖 5- 17 導光板 81 點輝度百分比與厚度對照

## 第六章 結論

本研究主要探討射出壓縮製程在大尺寸超薄型導光板的成型應用，從模具設計到成形實驗，最後檢測，在模具設計中先以探討三種澆口設計的特性，而選擇較符合目前市場需求的設計方式進行射出壓縮模具開發，而利用模流分析軟體找出澆口設計尺寸的最佳化，在射出壓縮成形當中，以實驗探討射出壓縮成型的製程條件對導光板厚度及應力痕的影響，所得重要結論如下：

### 6-1 結論

- (1) 在分析三種澆口設計結果中，在衣架型澆口設計之尺寸條件下，發現在壓力溫度均勻度都比其他兩種澆口設計來的好，但成形週期時間過長、澆口廢料過多，不適用於業界量產所採用；扇形澆口雖然澆口體積小，廢料較少，但相對的會產生澆口壓力溫度分佈不均，將造成成形上的問題；而扇形加膜狀澆口，此澆口比衣架型澆口減少約百分之 80%的體積，可減少成形週期，在壓力與溫度的分佈也非常均勻，因此本研究選擇以扇形加膜狀澆口型式開發射出壓縮模具。
- (2) 導光板進行射出壓縮成形時，因壓力大使模板被撐開，造成凝固層的生成，當模板壓縮時，容易使熔膠產生二次流動造成產品上出現應力痕，也可能使模板無法順利壓回原本位置。實驗結果發現，提高模具溫度與變更射出速度採多段控制，能有效降低應力痕的形成。
- (3) 在射出壓縮過程中，壓縮啓始位置很重要，若射出機的響應時間無法縮短，則壓縮動作應提早啓動，此舉可減少可動側模板在充填過程中被撐開，造成模穴間隙增大，熔膠過量注入，導致導光板尺寸過厚。而模溫提高可降低充填壓力，避免熔膠冷卻太快，均有助於壓縮動作，使導光板的厚度能符合模穴的設計尺寸。



## 6-2 未來研究發展

在大尺寸導光板射出壓縮成形當中，在技術上仍有許多問題需要克服，在模具設計中，可針對射出壓縮模具機構來進行研究，利用模具設計改善成形時所產生的模具變形及減少壓縮模具時的模具損耗。而射出壓縮成形當中，因熔膠在模穴內部溫度與壓力會產生極大的變化，為探討模穴溫度變化，可利用模內監控設備來觀察模穴充填過程中溫度的變化，以控制壓縮的時間及探討應力痕的產生。



## 參考文獻

- [1] 「LED 液晶電視導光板(LGP)市場」, DisplayBank
- [2] Yung Chung Chen, Shia Chung Chen and Ming Chang, Chewn Shell Ho, "Simulation of the injection-compression molding process using CV/FEM technique", Chung Yuan Journal, Vol.24, No.1, pp.37-45, 1996.
- [3] 簡惠民, "不等行程射出壓縮應用於精密楔型板件及表面微結構成型性探討", 國立台灣大學, 機械工程研究所碩士論文, 2002。
- [4] Liyong. Y.L. J.Lee, and K.W.Koelling "Flow and Heat Transfer Simulation of thin-wall injection molding with microstructures, ANTEC, P602-606, 2003.
- [5] Dan Barrows, Peter Hoeck, Chris Cooper, "Thin wall molding-achieving longer flowlengths and decreased internal stress with injection-compression molding", ANTEC, 2003.
- [6] Cheng-Hsien Wu and Yi-Li Su, "Optimization of wedge-shaped parts for injection molding and injection compression molding" Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 30, No.2, pp.215-224, 2003
- [7] Y. K. Shen, S. Y. Yang, W. Y. Wu, H. M. Jian and C-C. Chen "Study on Numerical Simulation and Experiment of Lightguide Plate in Injection Molding", Journal of Reinforced Plastics and Composites, vol. 23, no. 11 pp.1187-1206, 2004.
- [8] 黃彥文, "超薄形導光板光學設計與精密成型之研究", 國立高雄應用科技大學, 碩士論文, 2004。
- [9] 楊明峰, "薄形導光板模內監控與製程最佳化之研究" 國立高雄應用科技大學, 碩士論文, 2007。
- [10] 李俊賢、黃明賢, "應用射出壓縮成型法於大尺寸導光板成型之研究", 第二十四屆中國機械工程學會全國學術研討會, 2007。
- [11] 王建智, "中尺寸導光板光學設計與製程參數最佳化研究" 國立高雄應用科技大學, 碩士論文, 2008。
- [12] Lam, Y.C. and S. Jin, "Optimization of Gate Location for Plastic Injection Molding," Journal of Injection Molding Technology, Vol.5, No.3, pp.180-192 (2001).

- [13] Zhai,M.and Y.Gu,”Optimal Gate Placement for Injection Molding Process,”Chinese Journal of Mechanical Engineering , Vol.38,No.2,pp.40-43 (2002).
- [14] Kim,H.S.,J.S.Son,and Y.T.Im,”Gate Location Design in Injection of an Automobile Junction Box with Integral Hinges,”Journal of Materials Processing Technology, Vol.140, pp. 110-115 (2003).
- [15] Zhai,M.and Y.Gu,”Design Optimization of Location and Number of Injection Mold Gates,”Journal of Chemical Industry and Engineering(China), Vol.54,No.8, pp. 1141-1145 (2003).
- [16] Shen,C.Y,X.Yu,L.Wang and Z.Tian,”Gate Location Optimization of Plastic Injection Molding,”Journal of Chemical Industry and Engineering(China), Vol.55, No.3, pp.445-448 (2004).
- [17] 洪慧倫、湯峻清、陳炤彰，“澆口設計於微溝槽平板射出成形複製性研究”，模具工程學會全國學術研討會，2010。
- [18] 超高速射出成型技術手冊-超薄壁成形
- [19] 許明風，“具自動壓縮機構之智慧卡模具設計” 崑山科技大學機械工程研究所學位論文，2007。

## 作者簡介

姓名：李乙玄

生日：76/08/23

性別：女

E-mail：[vivianli0823@hotmail.com](mailto:vivianli0823@hotmail.com)



求學經歷：

98/09~100/06 國立高雄應用科技大學 模具工程所 碩士

94/09~98/06 國立屏東科技大學 機械工程系 學士

論文與專題：

射出壓縮製程應用於大尺寸超薄導光板精密成型之研究 (研究所論文)

一模八穴非球面鏡片流道最佳化設計(大學專題)