

東 海 大 學

工業設計學系碩士在職專班

碩 士 論 文

3D Texture 鞋材生產製程之快速替換式模具探討

A Rapid Replacement Mold for 3D Texture Shoes
Production Processes

研 究 生：楊惠茹

指 導 教 授：柯耀宗

中 華 民 國 一 百 零 七 年 一 月

碩士學位論文口試委員會審定書

工業設計研究所 楊惠茹 君所提供之論文

3D Texture 鞋材生產製程之快速替換式模具探討

經本委員會審定通過，特此證明。

論文口試委員會

委員：
鄭孟深
陳勇志
柯維奇

指導教授：
柯維奇

中華民國 107 年 1 月 19 日

摘要

鞋業在快速時尚的趨勢下，短開發週期成為了掌握商機的重要條件。而鞋材除了鞋面以外需要模具的輔助射出製造，在初步打樣會要求製作符合實際材質，且往往需要樣品需求約三到十個不等，以便設計者確認鞋品上獨特的紋理和觸感，並進行後續相關性之信賴性測試。然而模具價格與品質存在著相對的關係，尤其縮短開發時程與成本，才能使其產品具有絕對競爭力。

本研究利用 TRIZ 創新設計理論手法，並由模具設計專家經驗，提出快速共用模具之概念設計，應用於鞋工材質(Texture)開發之初期塑膠軟料射出模具的多樣化設計與製作上。結合多種入子採用了 3D 列印之製程技術製作，大幅縮短了模具製程時間與成本，達到試樣期快速批量生產樣品，實現快速製造的目的。

本研究主要以四個觀點切入探討，以本實驗入子為樣本，分別用傳統 CNC 切削加工製造與 3D 列印快速製造所產生的成本：(1) 加工設備成本：傳統製造高達約 220 萬；而快速製造約 33.1 萬，降低 85%。(2) 材料成本：以相同體積計算，快速製造列印用光敏樹脂材料之成本，為傳統製造用鋁合金材料的 20 倍。(3) 加工工時：傳統製造約 28 小時；而快速製造約 5 小時，以工時來說足足省下 82%。(4) 入子加工費用：傳統製造約 5.5 萬；快速製造約 0.3 萬，降低了 94.5%。

鞋材所用到的塑膠材質有 TPR、TPU、PU、RUBBER、EVA、PVC、EVA MD 等等，而目前 3D 列印材料為光敏樹脂，尚未完全普遍成熟發展其他類材。但能利用 3D 列印技術製作入子，使製造端能快速射出製作 PU 或 TPU 等的鞋材。節省開發時程與成本，即是達到雙贏的目標。

關鍵字：快速模具、快速原型、數位光處理技術、TRIZ。

Abstract

Shoe industry is in the trend of rapid fashion; to seize the business opportunities, short development cycle becomes one of the critical factors. To make shoes, it is required to sample around 3~10 pieces for designer to verify the unique texture, tough and the reliable tests most of which relies on mold injection, vamp not included. Nevertheless, the cost of a mold relates to its quality. How to keep the developing process short and the cost low brings your products competitiveness in shoe industry.

This study applies the innovative design theory - TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) along with experienced mold designer to propose a concept for rapid and mutual mold. It can be utilized for the multiple design and fabrication of mold for soft plastic material to get different material texture at the preliminary design phase. Combining various inserts built by 3D printing, it not only shortens the lead time of mold and also lowers the manufacturing cost to achieve the goal of rapid batch production at the prototype phase.

Calculation has been conducted based on facility, material, manufacturing cycle time and insert cost to compare one insert design by CNC machining and 3D printing.

a. Facility cost: NTD 2.2 million for CNC machining and NTD 331K for 3D printing, lower cost 85%

b. Insert material cost: The cost of the same volume, the traditional material in ALUM ALLOY cost 20 times higher than the photosensitive tree Ester 3D uses. lower cost 94.5%

c. Manufacturing cost: the traditional manufacturing takes 28 hours while rapid printing takes 5 hours only to save 82% machining cycle.

d. Machining cost: 55K for traditional manufacturing and 3K for rapid printing.

The plastic material that shoes applies includes TPR, TPU, PU, Rubber, EVA, PVC, EVA MD, etc. The current 3D printing uses photosensitive tree Ester that is not yet mature to develop a series of different types. However, applying 3D printing technology for insert

production could shorten lead time of mold and complete PU or TPU prototype in quite a short time to achieve both goals of short developing timeline and low cost consideration.

Keywords: Rapid Tooling, Rapid Prototyping, Digital Light Processing, TRIZ.

誌謝

在離開學生生涯且數工作十多年後，此次拾起書本重回校園，選擇了東海大學工設計系所，不但讓我有更多收穫，更體驗了不同年齡層共同學習的樂趣，一路走來雖然艱辛，課業上的老師指教與建議及同學們的相互分享與激勵，讓我獲益良多，是一趟滿載而歸的學習旅程。

承蒙指導教授 柯耀宗老師之悉心教導與支持鼓勵，在論文的研究設計與驗證給與引導，將職場上的所學與經驗結合至研究中，進而在過程中學到深入研究，感謝教授協助在論文最後撰寫逐字斧正，方能掌握住研究方向始臻完成。

而本篇論文能夠順利的完成，除了感謝我的指導教授外，也感謝我的口試委員鄭孟淙老師及陳勇廷老師，給予我的批評與指教，當然更感謝綠點科技股份有限公司，提供相關製造流程步驟的訊息及其產品樣品，與實驗機器設備及材料。以及國中同學的碩士生涯前車之鑑幫忙督促，使我能有精闢的見解、宏觀之視野，順利建構完成本論文。

能將職場經驗所學融入到本研究中，進而從研究學習中，實際落實在學術合一的領域，努力完成本論文之寫作。謹此至上萬分謝意！感謝恩師的栽培厚恩，與曾經幫助過我的人，吾人衷心永誌難忘。

楊惠茹 謹誌 於

東海大學工業設計研究所

中華民國 107 年 01 月

目錄

中文摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iv
目錄	v
圖目錄	viii
表目錄	x
第一章 緒論	1
1-1 研究背景與動機	1
1-2 研究目的	2
1-3 研究架構	3
第二章 文獻探討	6
2-1 模具紋理加工技術	6
2-1-1 放電加工	7
2-1-2 CNC 銑削加工	8
2-1-3 雷射表面紋理加工	12
2-2 鞋模技術探討	13
2-2-1 產業背景	14
2-2-2 傳統製造流程	15
2-2-3 模具分析	16
2-2-4 快速客製化開發	17
2-3 射出成形原理	18
2-4 快速成型技術	20
2-4-1 熔融沉積成型 (FDM)	22
2-4-2 層狀物體製造 (LOM)	24
2-4-3 立體平板印刷 (SLA)	25
2-4-4 數位光處理 (DLP)	27
2-4-5 選擇性雷射燒結 (SLS)	30

2-4-6 連續液面生長(CLIP)	31
2-4-7 小結	32
2-5 創新概念設計方法	35
2-5-1 直覺式設計方法	35
2-5-2 邏輯式設計方法	37
2-5-3 小結	37
2-6 TRIZ 基礎理論	39
2-6-1 TRIZ 方法沿革	40
2-6-2 TRIZ 解決工具	40
2-6-3 TRIZ 解決問題之流程	42
2-6-4 小結	44
第三章 研究方法與實驗規劃	45
3-1 TRIZ 應用與分析	45
3-2 實驗規劃與流程	56
3-3 實驗設計	58
3-3-1 模具設計概念	58
3-3-2 共用模具設計	59
第四章 實作與驗證分析	65
4-1 實驗設備	65
4-1-1 3D Printer 快速成型機台	66
4-1-2 反應射出成型機	69
4-2 實驗材料	71
4-2-1 射出成型材料	71
4-2-2 入子材料	71
4-3 量測設備	75
4-3-1 JMT2010 光學影像測量儀	75
4-3-2 VK9700 激光共軛聚焦量測儀	77
4-4 實驗實作製程	78
4-4-1 機台解析度測試	78
4-4-2 機台列印速度測試	80
4-5 實驗驗證	82
4-5-1 耐久度測試	83
4-5-2 入子表面粗糙度量測	85
4-5-3 PU 成品表面粗糙度量測	87

4-5-4 快速模具之入子轉寫率	89
4-6 快速模具之可替換性	93
4-7 結論	94
第五章 結論與未來展望	97
5-1 結論	97
5-2 未來研究展望	98
參考文獻	100
中文文獻	100
英文文獻	101
網路文獻	102
附錄 A: 39 個工程參數	103
附錄 B: 矛盾矩陣	105
附錄 C: 40 個 TRIZ 發想法則	106
附錄 D: EPX81-TDS	110
附錄 E: CE 221-TDS	111
附錄 F: PU 塑膠材料-A 劑 物性表	112
附錄 G: PU 塑膠材料-B 劑 物性表	113

圖目錄

圖 1：研究架構.....	5
圖 2：鞋材模具紋理加工技術之普遍使用種類.....	6
圖 3：放電加工法.....	7
圖 4：電腦數值控制 (CNC) 工具機.....	9
圖 5：CNC 加工之逆銑工法.....	10
圖 6：CNC 加工之順銑工法.....	11
圖 7：CNC 銑床表面紋理加工應用.....	11
圖 8：雷射表面紋理.....	12
圖 9：雷射表面紋理加工應用.....	13
圖 10：射出機主要結構圖.....	20
圖 11：快速原型製程.....	21
圖 12：分層堆疊示意圖.....	21
圖 13：2013 年積層製造材料市場總值.....	21
圖 14：FDM 熔融沉積成型.....	23
圖 15：LOM 層狀物體製造.....	25
圖 16：SLA 立體平板印刷.....	26
圖 17：DLP 數位光處理-上投影式和下投影式.....	28
圖 18：DLP 數位光處理-噴墨式.....	29
圖 19：SLS 選擇性雷射燒結.....	30
圖 20：CLIP 連續液面生長.....	32
圖 21：光固化 SLA 與 DLP 列印技術製程方式比較圖.....	34
圖 22：創新概念設計之方法分類.....	35
圖 23：直覺式設計之方法分類.....	36
圖 24：邏輯式設計之方法分類.....	37
圖 25：TRIZ 解題架構圖.....	43
圖 26：TRIZ 解題流程圖.....	43
圖 27：TRIZ 的問題解決程序.....	46
圖 28：利用 TRIZ 法則 將問題轉換成工程參數.....	46
圖 29：研究方法模型之執行程序.....	56
圖 30：實驗規劃與驗證流程.....	57
圖 31：3D 與 2D 的鞋材 Texture 為實驗樣本.....	58
圖 32：以機殼模具作為快速替換式鋁模的設計概念.....	59
圖 33：共用模具設計.....	62
圖 34：共用模具設計之公母模座.....	62
圖 35：3D Texture 鞋材生產製程之替換式鋁模設計.....	63

圖 36：Autodesk Ember 切層及建立支撐件	64
圖 37：3D Texture 材料→切割→裝飾。(PU 皮革捲料).....	65
圖 38：光譜表	66
圖 39：Phrozen One DLP 3D Printer	67
圖 40：MiiCraft 125 DLP 3D Printer	67
圖 41：混合頭切面圖	69
圖 42：Isotherm _ PSM90 反應射出成型機 m.....	70
圖 43：光硬化樹脂之主基底分類	72
圖 44：EPX81 光硬化樹脂之機械性能表.....	74
圖 45：CE 221 光硬化樹脂之機械性能表	75
圖 46：JMT2010 光學影像測量儀.....	76
圖 47：VK9700_3D 激光共軛聚焦量測儀	77
圖 48：入子材料選定初步測試塊之 3D 圖	78
圖 49：Carbon EPX 81 樹脂_光固化列印成品之速度比較.....	81
圖 50：Carbon EPX 81 樹脂光固化入子列印成品速度之比較.....	81
圖 51：Carbon CE 221 樹脂光固化入子列印成品速度之比較	82
圖 52：2D 的鞋材 Texture 入子列印出作為實驗驗證之樣本.....	83
圖 53：2D Texture 入子進行上機射出成品測試步驟.....	83
圖 54：EPX 81 樹脂所製作的入子測試射出_第 1 模龜裂.....	84
圖 55：CE 221 樹脂所製作的入子測試射出_第 16 模龜裂	85
圖 56：微觀量測 CE 221 樹脂所製作的入子	86
圖 57：觀察 CE 221 樹脂所製作的入子之耐久性比較.....	87
圖 58：微觀量測射出 PU 料所翻模製作成形品	88
圖 59：觀察 PU 料射出翻模所製作的成品之可行性比較	89
圖 60：觀察光硬化入子之射出前表面特徵	90
圖 61：觀察光硬化入子經過射出 16 後表面特徵變化	90
圖 62：PU 料射出翻模成品(轉寫率 97.2%)之表面特徵.....	91
圖 63：PU 料射出翻模成品(轉寫率 84.9%)之表面特徵.....	92
圖 64：2D & 3D Texture 成型模具射出實作	93
圖 65：實驗 2D Texture 射出成型品&雷射切割成品.....	93
圖 66：實驗 3D Texture 射出成型品	94
圖 67：傳統加工製造與快速成型技術製造 時程比較圖	98

表目錄

表 1：製鞋導入自動化正反意見比較	15
表 2：射出機優缺點比較表	18
表 3：射出機成型用的塑膠材料	19
表 4：積層製造之原料分類表	22
表 5：FDM 技術之優點與缺點比較表	24
表 6：LOM 技術之優點與缺點比較表	25
表 7：SLA 技術之優點與缺點整理比較表	27
表 8：DLP 數位光處理技術-上投影式和下投影式比較表	28
表 9：DLP 數位光處理技術之優點與缺點比較表	29
表 10：SLS 技術之優點與缺點比較表	31
表 11：普遍使用 3D 列印技術的特性與加工技術之優缺點比較表	32
表 12：製程改善設計有以下優點	38
表 13：創新問題之層級歸納表	40
表 14：TRIZ 解決工具之比較表	42
表 15：矛盾矩陣部分簡圖	44
表 16：欲改善的工程參數轉換表	47
表 17：避免惡化的工程參數轉換對應表	48
表 18：欲改善與避免惡化的工程參數轉換總表	49
表 19：(問題：加工設備昂貴，製程耗時) 技術矛盾矩陣	51
表 20：(問題：模具成本費用高) 技術矛盾矩陣	51
表 21：(問題：成品開發時程長，設計變更性差) 技術矛盾矩陣	52
表 22：三個現有問題對應之 40 個發明原則統計表	52
表 23：對應之 40 個發明原則統計圖表	54
表 24：TRIZ 發明原則之設計構想 (改善方案)	55
表 25：TRIZ 發明原則之設計概念圖 1	60
表 26：TRIZ 發明原則之設計概念圖 2	61
表 27：Phrozen One & MiiCraft 125 DLP 3D Printer 規格表	68
表 28：光硬化樹脂材料特性比較表	73
表 29：Carbon EPX 81 樹脂材料性質	73
表 30：Carbon CE 221 樹脂材料性質	74
表 31：JMT2100 光學影像測量儀之規格表	76
表 32：VK9700 3D 激光共軛聚焦測量儀之規格表	77
表 33：機台 Phrozen One 之材料精緻度測試結果	79
表 34：機台 MiiCraft 125 之材料精緻度測試結果	79
表 35：3D 列印機台精緻度測試比較結果總表	80

表 36：isotherm _ PSM90 反應射出成型機之 PU 混料參數.....	84
表 37：EPX81 與 CE221 光硬化樹脂之射出成型耐久性測試比較表	85
表 38：本研究快速模具射出之實驗入子驗證表面粗糙度 Ra 數據表.....	86
表 39：本研究快速模具射出之實驗 PU 翻模成形品驗證數據表	88
表 40：本研究實驗射出 PU 翻模成形品之轉寫率驗證數據表	92
表 41：加工設備成本比較分析表	94
表 34：材料價格成本比較分析表	95
表 35：入子加工工時成本比較分析表	95
表 36：本研究實驗入子與傳統鋁製入子之比較表	96

第一章 緒論

1-1 研究背景與動機

在國際競爭趨勢日益激烈的環境條件下，製鞋工業生產力的提升將是攸關未來發展前景的決定性因素，其中開發期模具的生產除影響製程的進度，更進一步影響整個製鞋生產交期。隨著主要消費族群對於鞋品外觀的設計要求度提升，不只強調視覺更加重視觸覺帶給使用者的體驗，設計者往往試著在設計語彙上以表面結構、顏色變化、以及材質的光澤運用，交織出一個產品的獨特性格。模具廠商則為滿足設計者的產品開發需求，在策略上也開始以客製化限量生產並縮短開發時間，用作提昇自身產業競爭力的重要手段。

在傳統紋理製程中以化學蝕刻模具的方式，具有耗時、紋路準確性不佳環境污染等許多問題，讓精密加工在機械工業中扮演著極為重要的角色。對於鞋品上的人造皮紋、壓花、浮雕紋理等，其複雜的圖紋為共同特徵，即便在 CAD/CAM 系統已廣為使用的情況下，要以 CAD 繪製紋理依然不容易，且無法達到製造快速的要求。

快速生產為現今市場的主要訴求，少量且多樣化是產品的需求，而多變設計使模具設計更為嚴苛。開發者在初期打樣的評估中，因 3D 軟硬體建模的科技、CNC 電腦數值控制工具機雕刻技術、雷射精細加工的進步發展，其以非接觸式、加工後續不需清洗、無碎屑殘留等特色，精密度高的紋路模具，用以取代傳統製程中無法達成的成效，製作出更精細的圖案。對於加工精度亦可提升紋路準確性達到 0.01mm 以下，比起傳統紋路的製作方式，有非常大的精進。然而鞋材紋理模具在新產品的開發階段中，要耗費較多的成本與時間，時間和費用則是此精密加工中最為棘手的兩大問題。

目前在建構原型時所使用方法中，是 3D 快速成形列印技術是最熱門的。近年在製造領域已廣為各界使用中。對於產品開發的初期評估與設計階段，快速成型技術的長期

發展，使得產品能有效地縮短設計與製造的時間，成為省時，省成本的好方法，也讓產品提升一定的競爭力。

1-2 研究目的

產品設計圖案紋理在工業界已廣泛應用。為了能快速製作出 Texture 鞋材，此研究的主要方向，是將積層製造成型加工技術結合射出成型技術，製作出可迅速 3D Texture 設計的替換式模具，以應用在開發時期的試樣製作。

以傳統模具加工技術中，其過程複雜而致生產周期甚長之問題，常導致全體流程模具製作需再重新驗證、試模，甚至重新開模之情況，然而開發時期設計者針對鞋材 Texture 之模具設變需求與製作，仍會產生不確定性之風險，導致在試樣期間往往無法輕易決定開模產樣。但這一來一往中間損失時間，重則失去客戶信任，輕則產品延後上市，造成錢財損失及公司信譽不良。

本研究引用 TRIZ 發明問題解決理論進行設計思考，針對模具製程加工進行其改善措施，意指在開發期之模具設計中所可能發生風險，再透過矛盾矩陣之發明原則，將提出了有效之應對製程改善方法。研究結果可解決開發試樣期間，產品評估與紋理製造之技術問題。此創新設計結合了快速積層製造技術，此設計方案擁有成本、時間、快速設計變更之優勢，以達到減少模具設計和製造上的損失，並提供設計者作可快速試樣，以修正設計缺失，進而縮短產品開發時程。

本研究之目的三大項：

- (1) 經由文獻探討，選用 TRIZ 方法來激盪思考設計，找出快速模具設計改善之最佳方法。
- (2) 套入 TRIZ 矛盾矩陣之結果，進行分析及應用設計。
- (3) 設計一套採用 DLP 積層製造技術，製作 Texture 替換式快速模具，並進行實作及驗證之應用可行性。

1-3 研究架構

本研究透過文獻探討中，了解 TRIZ 創新理論，以此建構整個研究理論。使用 TRIZ 之矛盾矩陣解決系統問題工具來修正目前傳統製程中的問題與製程系統之限制。在進行製程改善過程，首先須了解製程原理與設備特性，以及可影響製程的關鍵因素。如此採用 TRIZ 之矛盾矩陣來進行改善問題時，可一併改善製程中所遇到矛盾問題。透過把矛盾轉換成工程參數配合矛盾矩陣，得出相對應之創新設計法則。此 TRIZ 可直接找到需改善設計之重點，並透過模具專業人士經驗，建構出一套 3D Texture 鞋材生產製程之快速替換式鋁模。

本研究架構如圖 1 所示，將研究步驟概略如下：

第一章 緒論

本章主要敘述了本研究背景與動機、研究目的，並加以將研究架構簡單論述。

第二章 文獻探討

針對本研究之相關文獻進行探討，內容包括：

- (1) 模具表面微加工文獻之回顧與探討。
- (2) 鞋模技術文獻之回顧與探討。
- (3) 快速積層製造技術文獻之回顧與探討。
- (4) 創新概念設計方法及 TRIZ 文獻之回顧與探討。
- (5) 射出成型原理之概述。

第三章 研究方法與實驗規劃

結合運用 TRIZ 創新理論，及矛盾矩陣之創新法則，找出其問題改善，目的在於建

立一套快速換模機制，讓開發期間縮短模具製作之時程，降低模具製造成本，並加快模具設變更換速度，不但可有效達到提高利潤，並且可使打樣成本降低及工時縮短。

第四章 實作與驗證分析

導入快速替換式模具之創新設計，應用了DLP積層製造技術製成紋理替換式模仁，並驗證結果輸出符合本研究設計概念之可行性。

第五章 結論與未來展望

結論與建議，並提出本論文一些新思維與未來發展方向。

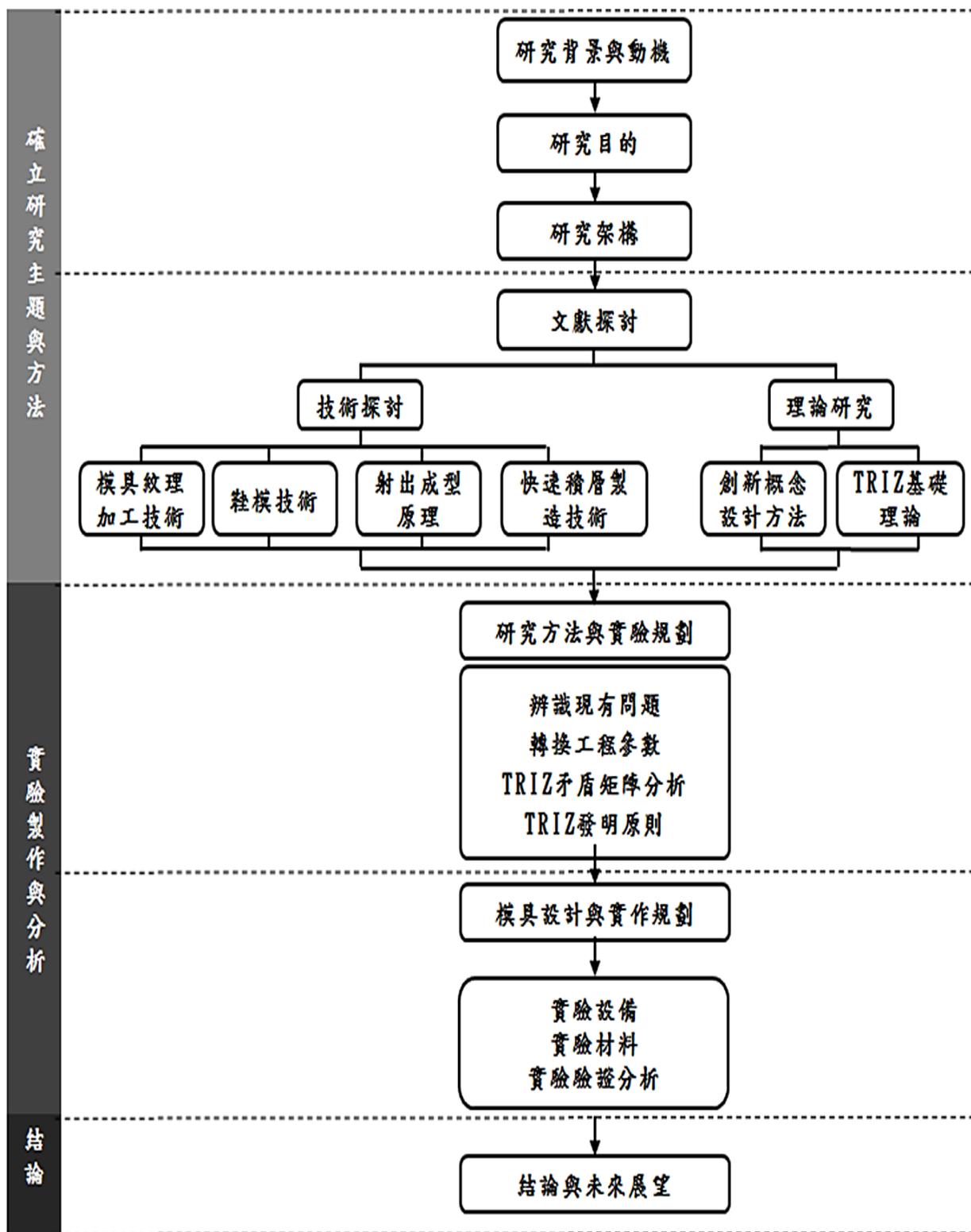


圖 1：研究架構

第二章 文獻探討

傳統加工對模具產業是具有相當重要，如今各個工業先進國家也投入大量的資源做加工技術方面之研究。目前業界常用在模具加工之技術且具潛力為 CNC 銑削加工、傳統蝕刻、電火花加工紋理、金屬沉積快速製造技術與雷射表面紋理加工技術等。

2-1 模具紋理加工技術

設計開發工程師對模具紋理加工長期以來，一直想利用新穎之加工技術結合模具之發展性，應用製作壓花紋理之設計於模具上加工，近年產業界也提供了多元化的快速製造方法，其彈性設計在提供產品各式各樣之應用。在模具加工技術中有五種具潛力的表面加工技術，針對鞋業鞋材模具使用較多的表面加工方式(如圖 2)：CNC 銑削加工、電火花加工紋理、與雷射表面紋理加工技術，來深入探討各種模具紋理加工之技術，與該技術相關領域對紋理模具的開發與加工思維之功能。

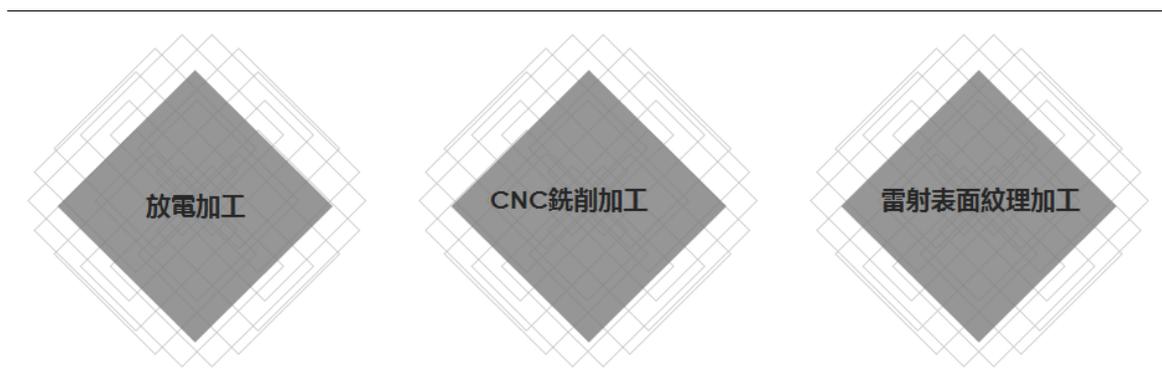


圖 2：鞋材模具紋理加工技術之普遍使用種類

2-1-1 放電加工

根據” Wiki ”之解釋，放電加工（Electrical Discharge Machining, EDM）其原理如下 (https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_discharge_machining)。是利用放電產生火花，使工件加工成為所需之形狀的一種製造方法。其加工材料是利用介電質液體將分隔兩電極並施給電壓，產生規律性變化之電流放電原理。其中一個電極稱為工具電極，另一個電極稱為工件電極。放電加工過程中，工具電極和工件電極將不會有直接之接觸。其加工原理如圖 3 所示。

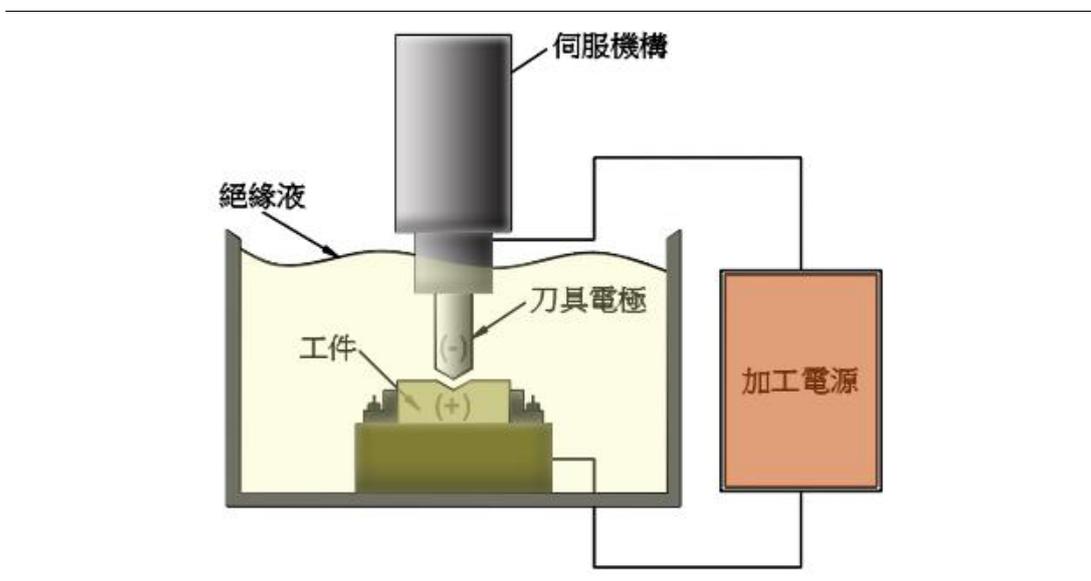


圖 3：放電加工法

根據” Wiki ”之解釋，(<https://zh.wikipedia.org/wiki/放電加工>)中提及利用工件 (Workpiece)和電極(Electrode)之間產生放電作用，使其被加工物表面蒸發、局部熔化，以達到加工目的，將具導電性之刀具與工件，浸泡於（離子水或煤油）絕緣加工液中，再以工件與電極為正負兩極，通以數十伏特至數百伏特不等電壓，當兩者間隙小到 $10\mu\text{m}$ 以下時，放電範圍產生瞬時高溫使材料熔化甚至蒸發，以導致一個小凹槽形成。首次脈衝放電結束後，經過短暫間隔時間，因絕緣破壞並形成電漿通道，故電極與工件間產生

放電現象，放電在微小面積所造之高溫可達 $8K^{\circ}C$ 至 $12K^{\circ}C$ ，因能輕易將工件熔化至汽化，而加工液體因受高溫影響而膨脹汽化，產生極大爆壓力道能將熔融材料予以沖除，達到去除材料效果。當脈衝放電結束，放電柱將消失，而兩極間即恢復絕緣，等下一次脈衝放電。此反覆進行脈衝放電，進而達到加工減法之目的。

電火花加工具有如下特點(<http://www.twword.com/wiki/電火花加工原理>)：

- (1) 可加工任何高強度、高硬度、高韌性、高脆性以及高純度的導電材料。
- (2) 適用於低剛度工件和微細結構的加工。
- (3) 脈衝參數可依據不同需求調整，可同機床上進行粗加工、半精加工和精加工。
- (4) 工件表面呈現之凹坑，有利於貯油和降低雜訊，但生產效率低於切削加工。
- (5) 製程中能量部份消耗在工具電極上，電極會損耗且影響成形精度。

2-1-2 CNC 銑削加工

CNC 電腦數值控制工具機(Computer numerical control, CNC) 銑削加工，係為電腦數值控制工具機使用數位訊號來控制生產系統執行程式之設備。其可透過事先編輯指令程式進行自動化加工之工具機。如圖 4 所示。

工業社會之進步，電腦數值控制系統也持續進步。工件之設計是依靠電腦輔助設計(Computer Aided Design, CAD)以及電腦輔助製造(Computer-aided manufacturing, CAM)等軟體輔助。電腦輔助製造軟體，如 mastercam 將分析工件模型設定參數後將自動計算加工流程。透過後處理將程式指令及其他加工過程中所需使用到的輔助指令等等轉出程式指令，使 CNC 工具機能執行預先編輯好之指令，完成自動化加工。



圖 4：電腦數值控制 (CNC) 工具機

資料來源：捷普綠點高新科(股)技公司提供

CNC 銑床加工機 (Milling Machine) 是以主軸迴旋的銑刀來進行切削加工。銑床能加工的項目有，銑削平面 (Plane)、鍵座 (Key seat)、齒輪 (Gear)、溝槽 (Slot)、鑽孔 (Drilling)、攻牙 (Taping)。也能走曲面複雜之工件，如模具等等。

切削加工為主軸轉動多刃的銑刀進行切削，是極高效率之加工方法。加工時刀具為主運動旋轉，工件為進給運動移動。工件固定在工作檯面上，旋轉的刀具主軸必須移動靠近工件（完成主運動和進給運動）。CNC 銑床機台有：臥式銑床、立式銑床或是大型的龍門銑床，最大台可到好幾十米。這些機床又可分是普通傳統機床或是 CNC 數控機床。銑削過程中有順銑 (Down Milling) 與逆銑 (Up Milling) 兩種方式。

銑削加工之特徵為：

- (1) 銑刀各刀刃周期性一致地間斷切削；
- (2) 刀刃在切削過程中，切削厚度是不同的。
- (3) 每齒進給量 af (毫米/齒)，為銑刀每轉過一個刀刃的時間內，工件的相對位移量。

根據"碧威股份有限公司"所解釋，銑刀切削加工逆銑(上銑法)與順銑(下銑法)，
(<http://tw.tool-tool.com/news/201112/conventional-milling-and-climb-milling>)

逆銑加工法：銑削方向和進給反方向（milling against the feed）稱為逆銑；其切屑由薄變厚(由下向上)，又稱向上銑削(up milling)。對刀口與工件表面容易產生擠壓及摩擦，對刀口壽命及表面粗糙度影響極大；因傳統加工多採此方式即為傳統銑削。如圖 5。

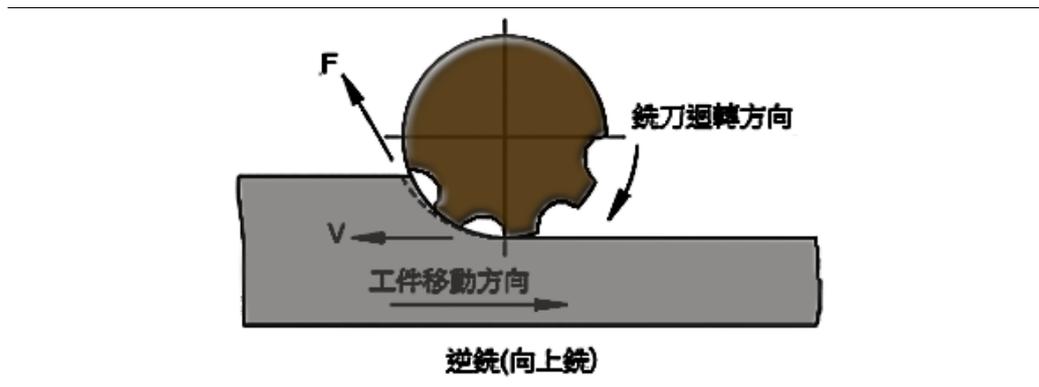


圖 5：CNC 加工之逆銑工法

逆銑加工法之特點：

- (1) 切削由薄而厚，銑刀避免受衝擊而斷裂，需受力始輕末重。
- (2) 較適銑削鑄件之黑皮面。
- (3) 不適合銑削薄件。
- (4) 適用於舊式銑床，不產生螺桿無效間隙運動。
- (5) 刀具壽命短且刀口易鈍，摩擦多。
- (6) 易震刀，加工面比較粗糙、精度較差。

順銑加工法：銑削方向和進給同向（milling with the feed）稱為順銑；是由切屑由厚變薄(工件未加工面向下)，又稱為向下銑削（down milling）或是爬銑（climb milling）切削。可少機械工率及消耗，可延長刀具壽命及表面粗糙度。如圖 6。

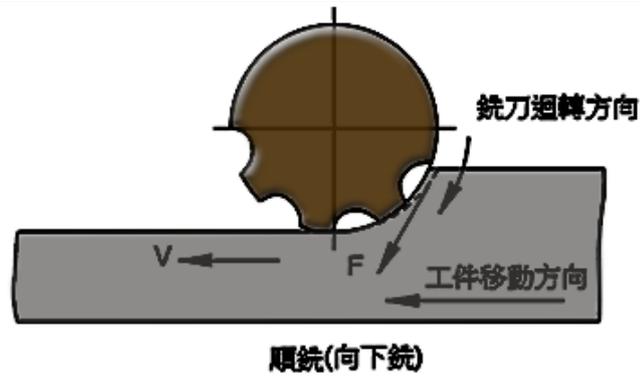


圖 6：CNC 加工之順銑工法

順銑加工法之特點：

- (1) 切削由厚而薄，銑刀易衝擊而使刀刃斷裂，需受力始重末輕。
- (2) 不適銑削鑄件、鍛件和銑削表面具有鱗皮之工件。
- (3) 適合銑削長薄型工件。
- (4) 銑床須有間隙消除裝置，否則易產生螺桿無效間隙運動。
- (5) 銑刀刀口壽命較長，且加工摩擦較少。
- (6) 易夾持且震動較輕，加工面精度高。

其中高速 CNC 銑削加工本質上為一種轉寫性的加工，可滿足模具製造業對於高速、高品質、與短交期之需求。以下是以 CNC 銑削加工針對鞋材 PU 合成皮革翻模模具表面紋理之加工應用。如圖 7 所示。



圖 7：CNC 銑床表面紋理加工應用

資料來源：捷普綠點高新科(股)技公司提供

2-1-3 雷射表面紋理加工

根據” Appropedia”(http://www.appropedia.org/Laser_surface_texturing)對雷射表面紋理加工 (Laser surface texturing, LST)之描述如下，係指提高材料摩擦特性之表面加工技術。如圖 8 所示。雷射在材料表面上微刻印出圖案化之微觀結構，可有效提升負載能力、潤滑壽命及磨損率，並降低不規則性的表面摩擦係數。此運用在於 20 世紀 60 年代被研究，並實施應用在幾種製造技術中；雖表面紋理加工經多年研究，但使用雷射加工圖案表面微觀組織，在 20 世紀 90 年代進行摩擦係數改進，且技術顯著進步。

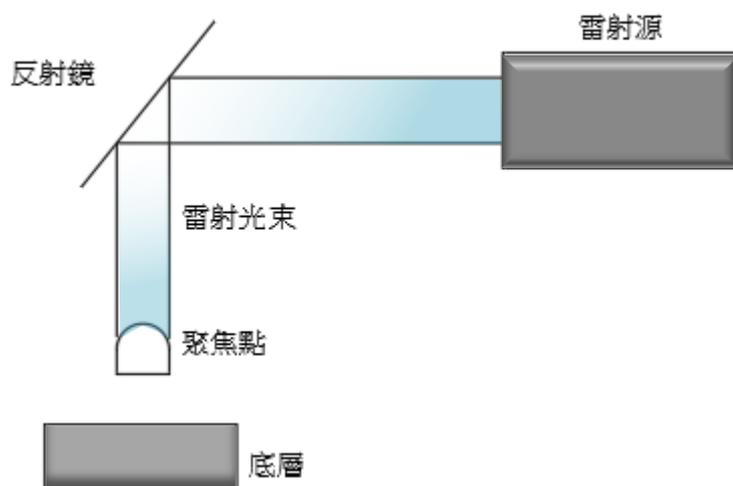


圖 8：雷射表面紋理

資料來源：http://www.appropedia.org/Laser_surface_texturing

3D 雷射光束掃描系統，結合五軸 CAM/CAD 控制技術，其應用於模具曲面上加工圖案或紋理化精微技術，透過切層掃描與縫合接圖加工技術，運用於 3D 曲面上自由加工。適用於金屬模具咬花、圖案製作、精微雕刻等。特點為具加工速度迅速、精度較高、品質均一化等數位化加工之優勢。以下是以雷射表面紋理加工針對生物科技醫療之晶片微流道模具表面紋理之加工應用。如圖 9 所示：



圖 9：雷射表面紋理加工應用

資料來源：捷普綠點高新科(股)技公司提供

2-2 鞋模技術探討

現今台灣製鞋產業嚴重外移，勞工已面臨高齡化。經濟部成立 1500 萬元的輔導專案將導入產業轉型，幫助國內廠商發展自動化生產線，以及建立產品資料庫（陳驚人，2017）。其中鞋底製程需靠人工塗膠，此製程不僅耗時且浪費人力，更嚴重的是接合劑揮發會影響到人體健康。因而導入 3D 影像辨識技術，使機械手臂能替代人力塗膠作業，使產業更有效率的生產。

近年模具製造的生產型態已經從人工轉為自動化設備，使得電腦輔助設計與製造迅速成長，並在工業加工上更為普遍。尤其在模具產業上更為明顯，此技術簡化了模型建立與開發之時間，大大縮短了製成時間(林朝源，2002)。

以鞋品上表面紋理、色彩、以及材質光澤等元素，在外觀造型也比以往更加的要求之下，模具製程加工就顯得更重要，然而模具價格與品質存在著相對的關係，尤其生產製程之時間與成本，也都反應產品消費競爭上。

2-2-1 產業背景

早期台灣傳統製鞋業是需勞動力之產業，而引進日本製鞋技術。國際技術轉移加上人力充足，於 1980 年代開始大量生展外銷，隨後取代日本成為製鞋王國，在當時我國製鞋產業出口值為世界第一。

在 1980 年中期，台灣經濟環境大幅變動，導致薪資高漲及勞工短缺、環保意識抬頭與土地成本上升，迫使製鞋產業快速外移至東南亞、大陸、泰國等地，甚至人才、資金與技術都移轉到成本較低的國家。造成台灣勞力產業西進大陸，進而影響到台灣製鞋上下游產業鏈大幅移轉(黃紹裘，2008)。

至今當初移轉到大陸的台商也面臨當初台灣遇到的產地幣值高漲與缺工的問題。經歷 2008 金融風暴造成鞋業倒閉潮，2013 年製鞋業又掀起倒閉潮，大陸沿海各省的台商也規劃往內移或是移轉到更低廉勞工的地方，如越南、印尼、緬甸等。然而 2015 年越南、柬埔寨、緬甸等國家，薪資也大幅上漲，部分廠牌也往更低廉的國家，例如孟加拉、印度；非洲等地。一切建設不但得重頭開始，還需在當地先造鎮，再設工廠(張聰欽、劉原超、唐啟發，2002)。

台灣製鞋產業已培養出許多優秀的製鞋人才，在世界各地持續發光，就是靠擁有深厚的技術底，能掌握鞋關鍵技術與資源，即使世界製鞋產業不斷在擴大移轉。台灣還是站穩製鞋界的龍頭。如今全球前十大製鞋廠中，台商就佔了七成，然而每三雙鞋子就有一雙是台商代工製造而成的(黃柏翰，2000)。

在製鞋逐漸導入自動化，出現了支持與反對的聲浪，就見單以三個不同角度：投資、利潤、回收，來探討導入自動化後的影響。如表 1。

表 1：製鞋導入自動化正反意見比較

角度	支持意見	反對意見
投資	<ul style="list-style-type: none"> ·機械化製程可取代人力需求，可解決缺工問題。 ·勞工意識高漲，後續訴訟問題更麻煩。 	<ul style="list-style-type: none"> ·一台機械化設備的投資，可養現在所有公司員工一輩子。 ·鞋廠是否有能力操作跟維護設備的能力？
利潤	<ul style="list-style-type: none"> ·可大量生產，減少製作成本。 	<ul style="list-style-type: none"> ·一旦客戶發現你導入自動化設備，勢必壓低單價，屆時毛利會降低。 ·我國應靠小眾市場區隔化，而不適大量生產。
回收	<ul style="list-style-type: none"> ·不應以生產成本方式去計算，而是以後續效益來看。 ·投資不可能立即見效，需要長時間與金錢的過程。 	<ul style="list-style-type: none"> ·鞋類款式眾多，製程皆不相同，如何製程標準化是一大考驗。

2-2-2 傳統製造流程

製鞋流程因鞋類不同而有變化，就一般主要流程有：原料、裁斷、針車、成型、包裝以及庫存。主要的作業項目內容有：裁斷作業、縫合作業、結幫作業、壓底座業、壓底機和整型定型機具。由於產品樣式不同，各種作業也有相當的差異，如固特異型的鞋類在針車製程上注重延條車縫，而貼合型的鞋類也大多沒有針車作業。固特異型的外翻鞋在成形製程中所配合之結幫設備也大不相同，外翻鞋的結幫基為特殊設備，必須另外購置。以下針對製鞋流程做介紹：

(1)原料：鞋子構成要素原料種類眾多，主要分鞋底、皮革、接著劑、化學原料、鞋楦模具、線類、商標、鞋五金、鞋飾等。其中影響最大的便是原料品質的維護與保存，如皮革原料應放置處乾燥陰涼處，避免變質與發霉，化學原料則應放置避免日曬或潮濕之處，對於進貨量的估算，因此原料保存與管理是相當重要的。

(2)裁斷：裁斷作業是將皮革裁剪成所需之形狀以供下個製程使用。除特殊需求外，大多採用機械裁剪，裁剪的刀具樣式種類多且不規則，必須具備有各式各樣的刀具。其皮料的性質不同也有不同的手法與工具。此外，裁斷作業為製程過程中的第一階段，尺

寸不能差距過大，否則影響後面製程之困難性。

(3)針車：針車是所有製程中人員與機器最多的一站，其品質往往是客戶的第一印象。針車前需要對皮革削皮、組合、整理與品檢等過程。針車過程中容易出現跳針、斷線、浮線、沉線、斷針與針頭損毀之問題，主要是作業人員操作不當。因此人員訓練在針車過程中極為重要。

(4)成型：主要的兩個工作為貼合與結幫，事關製鞋之成敗。其步驟有：入鞋襯、上膠、打中底釘、上鞋弓、電熱烘烤、前幫作業、腰幫作業、後跟定位、後幫作業、品質檢驗、整修模褶、配雙計數、高溫定型、磨底、藥水處理、電熱加溫、二次上膠、電熱加溫、貼底、壓底、品質檢驗、冷卻、脫楦與整理作業。此站和針車一樣，需要大量人員與機器，也需要注意人員訓練，以維持產品品質。

(5)包裝與入庫：鞋、靴成品包裝往往因為型號與包裝盒不一致導致客戶抱怨退件，對於聲譽損失極大。因此，外包的優劣通常是影響產品入庫保存時間，良好的包裝設計，不但影響到品質美觀與運送便利，最重要的是顧客對產品的評價(曾昱仁，2000)。

2-2-3 模具分析

隨著工業快速發展，塑膠製品用途日益廣泛，依靠人工經驗來設計模具已不能滿足現在科技之需求。因此注塑模流分析技術與設計漸漸盛行。透過(Computer Aided Engineering, CAE)軟體模擬分析，工程師能模擬塑膠在成形過程中的填充、保壓、冷卻及脫模後的變形，準確地預測塑膠在填充過程情況，也能知道瞬間在射出的壓力、溫度、剪切力與體積收縮等參數。利用注塑模流分析技術，能預先分析模具設計的合理化，減少修模次數與減少試模。並且加速研發時程，提供工作效率(楊琳鑑、王宣勝、張添財，2007)。

但模流分析在合理的範圍內是可看出其規律性與趨勢，而不一定是數據。一般模流分析都會改變條件多分析幾組結果，以觀察趨勢的變化。原則上，執行模流分析是越早

越好，最好是在 DFM 設計完，節定澆口、流道、水路後執行。模流分析可看出一些試模得不到的資訊，如產品內部溫度與壓力分佈。也能讓工程師更容易了解模具內所發生的問題(張聰欽、劉原超、唐啟發，2002)。

傳統鞋模的製作方式必須針對每種不同的鞋子製作出不同的鞋模，一副鞋底的形狀及不同紋路和每一雙鞋子的型號大小都必須製作出一副鞋模，對於成本上的花費上更是必須付出更多的模具製作費用、時間和人力。因此，在前期模具評估時，應用 CAE 軟體模擬分析，可以減少模具製作上的失誤，以及後續試模中反覆修改模具的問題。

2-2-4 快速客製化開發

鞋子款類隨著消費者之需求日增，衍生出相當多的樣式與款式。導致消費者不滿之問題多為足部不適，其為了穿不符合自己腳型的款式，容易引發相當多疾病。針對每人的腳型不一，要快速客製化鞋款，可透過專業客製化系統介面，找到符合使用者的特異點方式，並以型態差異分析將結果自行判斷，相似點高的為適合搭配鞋款，並符合人體足部之曲線，使顧客可以完全打造符合自己足型之鞋款，也較不易產生其他之不適(林士源，2005)。

愛迪達在 2005 年推出[我的愛迪達]服務，主要是由專人針對每個客戶不同的習慣與運動方式，提出對應的鞋款、鞋墊材質與避震功能。並為客戶量身訂做，提供不少增加健康訴求的服務。可透過量測得知消費者腳步的長度與寬度尺寸，再配合九十種的顏色與物料，則可創造出屬於自己風格的鞋款(黃台生，2008)。

符合快速客製化之原則，將運用模組化的方式，將鞋款模組化之概念規劃，分類出哪些部位可大量製作，其他須依顧客特殊足部所需製作的部位。使顧客能真正的得到快速客製化之鞋款(黃柏翰，2000)。最後運用電腦模擬差異的方式得知顧客腳型之需求，並運用電腦快速完成製鞋速度，以電腦呈現模擬狀況之虛擬效果，使消費者能快速得知鞋樣款之最終型態，針對以下方面是否符合消費者本身的想法。

- (1) 鞋款快速客製化流程與實用性。

(2) 改變現今市場，達到鞋款快速設計自動化之概念。

(3) 工業進步，運用電腦強大運算得知快速抓差異方式，可讓消費者快速看到模擬部分，進而快速製造成型，交付給消費者。

2-3 射出成形原理

鞋材所運用到的塑膠材質有 TPR(熱塑性橡膠)、TPU(熱可塑性聚氨酯)、PU(高分子聚氨酯)、RUBBER(橡膠)大底、EVA(醋酸乙烯)中底、PVC(聚氯乙烯)、EVA MD(一次性成型發泡)等等，都是塑膠原料經由射出機製造出所需要的鞋材飾片形狀，當然各種塑膠鞋材材質所需採用射出機種也不同。

射出成型機又稱為塑膠注射成型機，其原理是將熱固性材料或熱塑性材料，利用料管加熱與螺桿剪切力推擠，使熔融塑料射入成型模具內，然後在模具中冷卻成型，製成各式各樣的塑膠製品。

塑膠射出機根據塑化方式分為柱塞式塑膠射出機和螺桿式塑膠射出機，按機器的傳動方式又可分為液壓式、機械式和液壓機械(連杆)式，按操作方式分為自動、半自動、手動塑膠射出機。簡單說明一般射出機之優缺點比較，如表 2 所示。

表 2：射出機優缺點比較表

優點	缺點
1.產量高且能快速生產。 2.原料價格低廉。 3.能使用回收料(熱塑性材料)。 4.製造大型成品容易。 5.可自動化生產、節省人員支出。	1.模具設計及製作開發費高、且費時。 2.產出成品價格偏低。 3.機台及周邊配備價格偏高。

資料來源:本研究整理

目前射出機成型所使用的塑膠塑材，常用的類別整理。如表 3 所示。

表 3：射出機成型用的塑膠材料

塑膠材料	聚乙烯 (PE)	聚丙烯 (PP)	聚氯乙烯 (PVC)	聚苯乙烯 (PS)	ABS	POM	TPU	PU
比重	0.91~0.96	0.9~0.92	1.16~1.7	1.03~1.07	0.99~1.1	1.14~1.43	1.0~1.4	1.17~1.25
熱變形溫度	41~82	99~110	62~72	82~104	95~112	10~170	10~120	~
優點	耐寒性佳 衛生無毒 耐水性 柔軟性佳	耐熱性佳 重量輕	硬且強韌 耐候性佳 價格便宜	成型性佳 剛性佳 表面較硬 透明性優	外觀佳 收縮率小 耐酸鹼	強韌 富彈性 耐藥品性 耐熱性優	耐候性佳 耐磨耗 具彈性	耐候性佳 耐磨耗 耐老化 具彈性
缺點	耐熱性差 耐候性差 收縮率大	低溫 不耐衝擊 耐候性差	耐衝擊差 耐撓取差	耐衝擊差 耐熱性差	耐候性差 溶於溶劑	耐候性差 抗酸力差	易變黃 成性性差	稍不耐酸 鹼及熱水
產品	各種容器 玩具類 廚房用品	各種容器 玩具類 耐熱部品	玩具類 透明瓶子 水管	玩具類 文具 梳子	玩具類 電池箱 日用品	玩具類、 金屬用品	日用品類 鞋材用品 工業部品	緩衝材 斷熱材 合成皮革 座墊

資料來源：本研究總整理

一般塑膠射出機動作原理為：

- (1) 塑料粒進料預熱：將烘烤過之塑料，放入料斗中，同時加溫預熱，為塑料進入料管前之準備。
- (2) 塑料融化混和：漏斗中的塑料逐漸進入料管內，利用螺桿旋轉之前進，使塑料於料管內加熱後由固態變成液態，達到加入之目的。
- (3) 噴嘴射出動作：被融化的塑料在料管內，螺桿於高壓的推擠下，使塑料射出模具內。
- (4) 保壓：塑料於料管被射出後，螺桿並不會馬上退回，確保模內仍有壓力，待數秒後，螺桿才回位，使射出動作完全。

- (5) 模具水路冷卻：一般模具內都有設計水路，使高溫塑料能迅速向低溫度，並由液體變回固體，使其固化。
- (6) 開模與頂出：當塑料溫度降到適當溫度時，可將模具打開，確認塑料完全冷卻後，即可使用頂出動作，並小心地取出成品。
- (7) 成品處理：當成品取出後，必須修剪廢料，與修整毛邊等等。

其結構主要分為：射出系統、合模系統、控制面板、電器控制系統。如圖 10 所示。

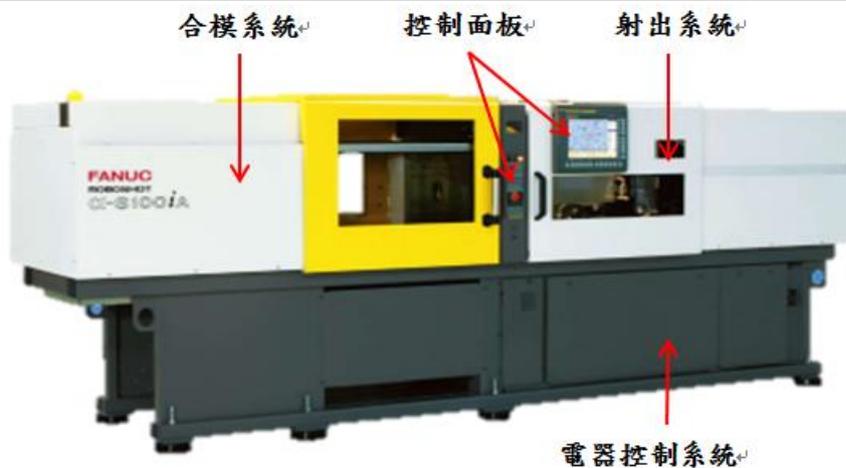


圖 10：射出機主要結構圖

資料來源: <http://www.injection-molding-machine007.net/>

2-4 快速成型技術

根據”Wiki”之描述，(https://zh.wikipedia.org/wiki/3D_列印) 3D 列印技術也稱為快速原型製造 (Rapid Prototyping, RP)，又稱加法製造、積層製造 (Additive Manufacturing, AM)，意旨在電腦控制下完成一個持續增加過程，其動作原理首先將某物體沿著一軸進行分割成一層一層等厚度之薄片，此薄片可視為 2D 物體，再利用層積堆疊加工原理 (Layer Manufacturing)，有順序地將原料一層一層透過列印頭輸出堆疊材料沉積之過程，並形成一個三維物體，其列印出三維物體可呈現幾何特徵和任何形狀，其簡略的流程如下圖 11、12 所示。



圖 11：快速原型製程 (連介廷, 2007)

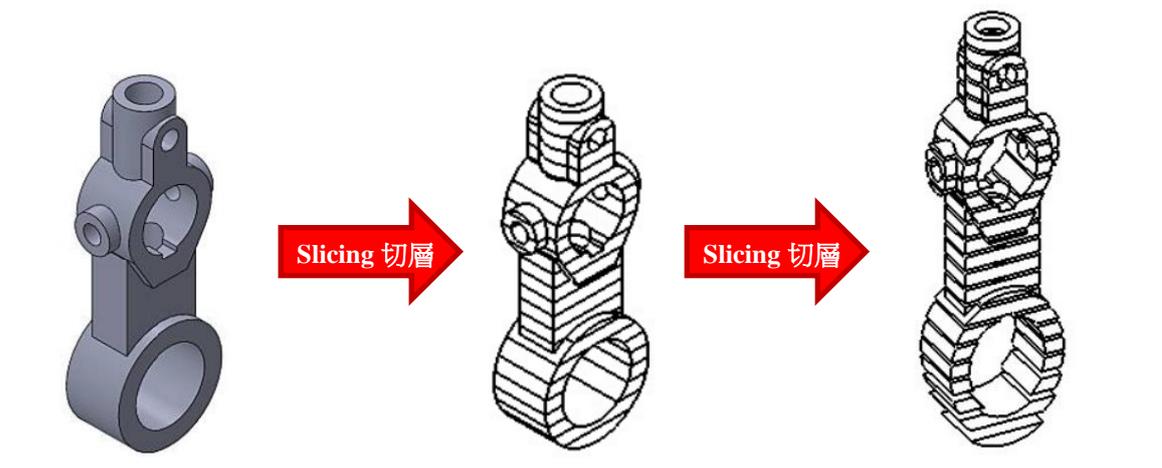


圖 12：分層堆疊示意圖

根據”IEK 產業情報網”(http://ieknet.iek.org.tw/)提供之 2013 年的材料市場總值報告，其內容顯示國際市場調查報告於 2013 年之全球積層製造設備銷售數量，推估出各種材料市場比重其中，以光敏聚合物用量最多(佔 56%)，熱塑性材料位居第二(佔 40%)，技術要求較高的工程塑膠與金屬材料，其比重最低(佔 2%和 1%)，如圖 13 所示。雖然工程塑膠與金屬材料比重最低，但其製作出的成品較高階，但此工業級設備價格不菲，售出機台數量少，其耗材料使用比例也相較低。

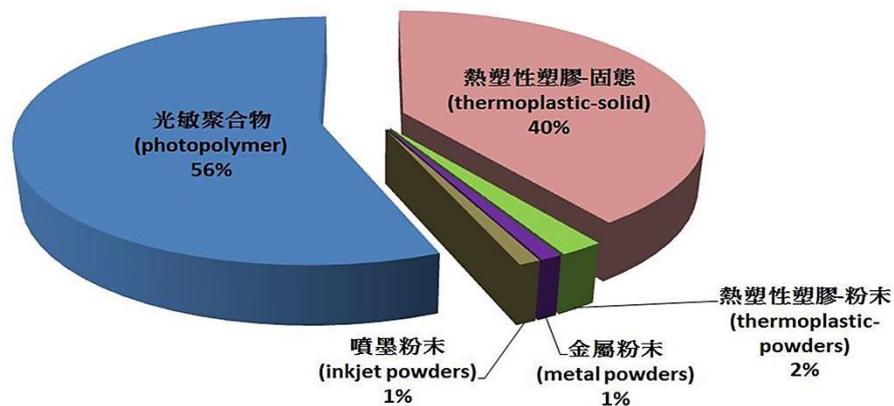


圖 13：2013 年積層製造材料市場總值

積層製造有相當多樣化成型種類，歸納統整依原料分三大類：固態類、液態類與粉末類。如表 4 所示。

表 4：積層製造之原料分類表

相變化分類	基本原理	材料	技術名稱	應用
固體→固體	雷射熱切斷	熱可塑性樹脂覆模紙	LOM	試作模型、脫模型、木型的代替
	切割刀切割	紙及粉體接著劑	LOM	
固態→液態 →固態	加熱熔融線狀、塊狀材料	熱可塑性樹脂、蠟	FDM	試作模型、脫蠟鑄造
		熱可塑性樹脂	FDM	概念模型
液體→固體	UV 紫光雷射光硬化反應	感光性樹脂	SLA、DLP	試作模型、脫蠟鑄造、射出成型
粉末→固體	適用之結合劑	陶瓷粉末及結合劑	SLS	試作金屬品
		金屬粉末及結合劑	SLS、SLM	試作金屬品
粉末→液態 →固態	紅外線雷射加熱熔融	熱可塑性樹脂、蠟、金屬粉末	SLS	試作模具、金屬模具、脫蠟鑄造
		金屬粉末	SLM	試作金屬模具

資料來源：本研究整理

2-4-1 熔融沉積成型 (FDM)

根據:Wiki”之描述(https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling)，關於熔融沉積成型(Fused deposition modeling, FDM)技術是 S. Scott Crump 在二十世紀八零年代後期研究開發設計的，並在 1990 年被商品化。係將一卷式熱熔性材料加熱融化，經撰寫程式使三維噴頭向下移動使用。依據工件截面輪廓形狀，將每層材料塗布在工件上層，當一層成型完後，加熱器將提高一層高度（即切層高度）再成型下層，一直循環，直到整個成品造形完成。如圖 14 所示。因列印省料和速度的關係，物件內部通常是空的，也無法防水。而是利用不同的結構保持表面之完整性，類似於蜂巢。

FDM 技術運用了 3D 列印機，擠出器加熱系統，推擠出熱塑性長絲，從流程順序前置後過程可分為三部份：

- (1) 預先處理：構建檔案且將 3D 檔案用軟體切片，並計算擠出熱塑性塑料和支撐材料之路徑。
- (2) 生產製造：於加熱器中將熱塑性塑料加熱至半融液體狀態，將融溶塑料其擠出，沿路徑繪製，直至成品整個完成。
- (3) 後處理：人工將支撐材去除，或將其溶解在洗滌劑中或水中，該成品即完成。

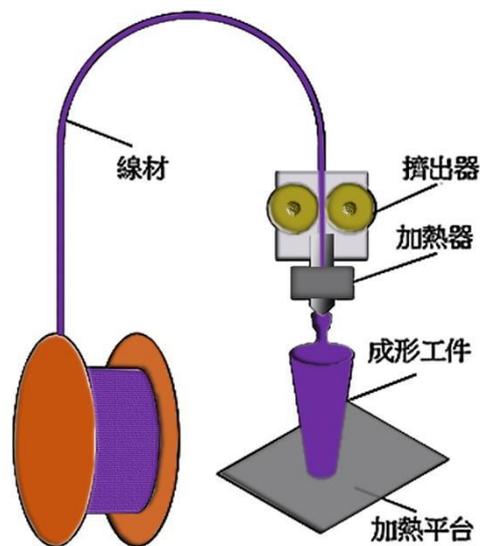


圖 14：FDM 熔融沉積成型

資料來源: <https://kknews.cc/zh-tw/news/41klj3.html>

其中採用 FDM 技術操作使用與製程特性上之優點與缺點比較，如下表 5 整理。

表 5：FDM 技術之優點與缺點比較表

FDM 優點	FDM 缺點
(1) 操作環境安全且乾淨，使用材料無毒，可在家庭或辦公室環境下列印。	(1) 成形後表面較粗糙，後續需手工拋光處理。目前最高精度為 0.1mm。
(2) 無雷射或其他貴重元件，價格較便宜。	(2) 成形速度偏慢，因噴頭移動為機械運作。
(3) 原料為捲軸絲形式，易存放，易搬運與替換且操作方便。	(3) 成品需要長支撐材料結構，會有廢料產生。
(4) 可備多種材料，材料利用率高，價格相對其他種耗材便宜。	

資料來源:本研究整理

2-4-2 層狀物體製造 (LOM)

根據:Wiki”之描述(https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing)，層狀物體製造(Laminated Object Manufacturing, LOM) 係是 Helisys 公司開發的一種快速 3D 成型技術，接近點陣式印表機的結構方式列印；LOM 技術是塑料薄膜利用雷射或刀具切成所需要之形狀，再每層使用黏膠劑貼附，堆疊立體物件。或採用含有熱溶性黏結劑材料切割，經滾輪加溫加壓，在層層堆疊而成製品。如圖 15 所示。此製造較 FDM 優勢在於可做出實心物體，且列印速度也較快。以越接近機台之列印極限大小，才會比較划算，廢料也較少。但製程限制是無法製作空心物件。(資料來源：Helisys 公司)

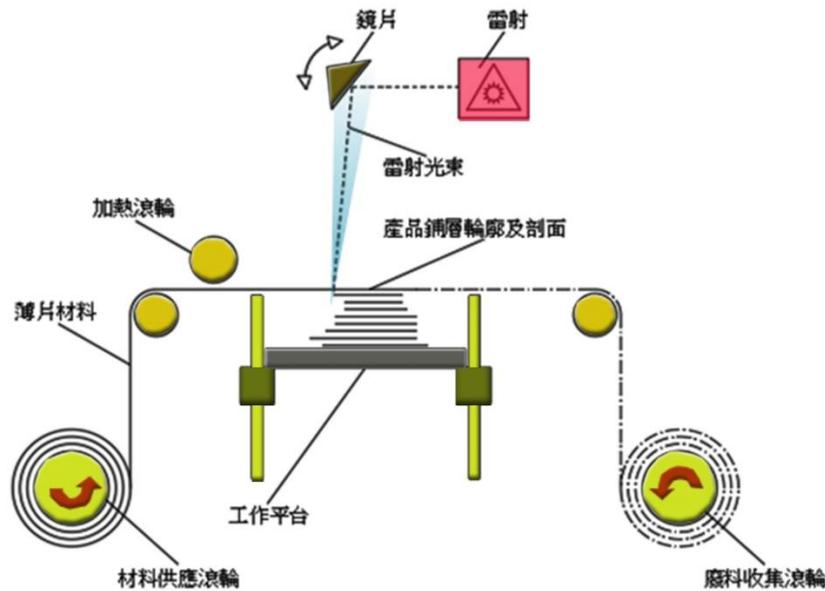


圖 15：LOM 層狀物體製造 資料來源 https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing

其中採用 LOM 技術操作使用與製程特性上之優點與缺點比較，如下表 6 整理。

表 6：LOM 技術之優點與缺點比較表

LOM 優點	LOM 缺點
(1) 操作環境安全且乾淨，使用材料無毒，可在家庭或辦公室環境下列印。	(1) 無法製造空心物件。
(2) 可做出實心物體且列印速度也較快。	(2) 有雷射或其他貴重元件，價格較貴。
(3) 原料為捲軸薄膜形式，易存放，易搬運與替換且操作方便。	(3) 成品無須長支撐材料結構，會有廢料產生。
(4) 越接近機台之列印極限大小，會比較划算，廢料也較少。	

資料來源:本研究整理

2-4-3 立體平板印刷 (SLA)

根據:Wiki”之描述(<https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>)，立體平板印刷 (Stereolithography, SLA) 其原理為在液槽容器中盛滿液態光敏樹脂，當雷射器發射紫外

雷射束照射下，樹脂產生化學反應將快速固化。在 1980 年代由最有名的就是美國 Charles W. Hull 所提出的 SLA，係樹脂或光固化印刷，是一種光學製造，又稱立體光成型。同時也建構出目前快速成型經常使用的 .stl 檔。SLA 與選擇性雷射燒結(SLS)所使用的雷射不相同，SLA 是利用紫外雷射，而 SLS 是利用紅外雷射。在製程開始成型時，將升降工作台位於液面底下，剛好一層厚度之高度。通過透鏡聚焦後的雷射束，按照程式控制將截面輪廓沿著液面進行掃描。使掃描區域之樹脂快速成形固化，循序完成一層截面得到一層塑料薄片的加工過程。之後下降工作台一層截面層厚之高度，再行固化另一層截面範圍。連續循環逐層疊加建構三維成品。如圖 16 所示。

是一種利用逐層方式創建原型、模型或圖案之成形方式。產出部件的 3D 印刷技術方式，採用光聚合使光分子鏈連接，形成聚合物之方式，而聚合物構成三維固體的體積。該技術的研究已經在二十世紀七零年代逐步進行，但是此術語是由 Chuck Hull 在 1986 年創立的，而且他設立了 3D Systems Inc，將其專利商業化，目前立體光刻用於創建產品和醫療建模的原型建造，以及其他多方面之用途。雖 Stereolithography 是快速的，可以生產幾乎任何設計，但是價格不菲是不爭之事實。

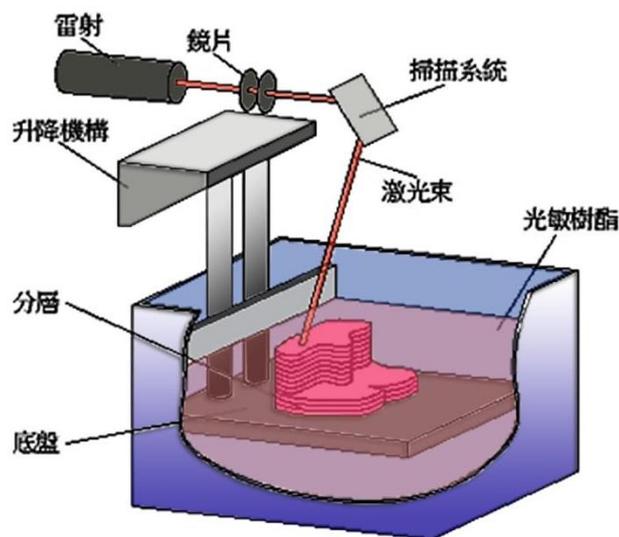


圖 16：SLA 立體平板印刷

資料來源：<https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>

SLA 技術之優點與缺點整理，如表 7 所示。

表 7：SLA 技術之優點與缺點整理比較表

SLA 優點	SLA 缺點
(1) 發展時間最久，技術最成熟，應用最廣泛。全世界安裝快速成型機中，光固化成型系統占 60%。 (2) 系統工作穩，成型速度快。 (3) 成品具有高度柔性。 (4) 可做到微米級等級，精度高。 (5) 表面質量較光滑，適合做小尺寸精細之零件。	(1) 需設計支撐材結構。支撐結構需半固化下去除，易破壞成品表面。 (2) 精密設備設備造價昂貴，使用和維護成本不斐。工作環境相對地要求苛刻。 (3) 光敏樹脂耗材有輕微毒性，對環境會有污染，人體皮膚接觸後會過敏反應。 (4) 樹脂材料價格昂貴，抗腐蝕能力不佳且易吸濕膨脹。不適合長時間保存。 (5) 樹脂溫度過高會使其熔化，工作溫度需 <100°C。不可再次加工。其機械性質有限。

資料來源: <https://kknews.cc/zh-tw/news/4lklj3.html>

2-4-4 數位光處理 (DLP)

根據“羽耀科技”所提供(<https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>)，數位光處理 (Digital Light Processing, DLP) 是一種以微振鏡為最小像素單位陣列組成的數位微型反射鏡元件(Digital Micromirror Device，簡稱 DMD)晶片，其中採用最初是由德州儀器在 1987 年由 Larry Hornbeck 開發的 DMD 晶片之顯示裝置，每個微震鏡都可以控制開或關的兩種角度，控制是否出光。再加上脈衝寬度調變(Pulse Width Modulation，PWM)產生灰度，色輪控制 RGB 輸出全彩。數位光源處理技術普遍應用在投影機，近年才發展再利用在 3D 列印上，運用其高對比的特性產生數位光罩。

DLP 技術係是由載台依切層設定移動把樹脂固定在單一層的厚度，然後由控制軟體告知 DLP 的光源透過 DMD 晶片產生的遮罩決定該層的固化範圍。在這之中 DLP 投影機決定了兩大製程能力速度與精度，因為光源的強度與波長影響了固化速度。對比度與解析度影響了列印的最小解析度與精度。

SLA 及 DLP 技術之液態光敏樹脂透過光照形成，是一層非常薄之固態面積，再陸續堆疊形成完整物體。機台因結構形式可分為上投影與下投影方式。其結構差異，如圖 17 所示。

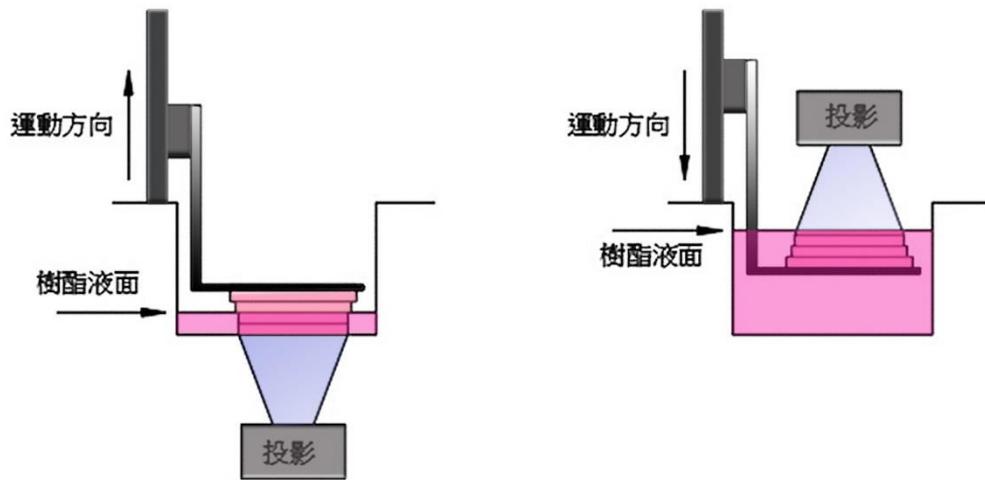


圖 17：DLP 數位光處理-上投影式和下投影式

資料來源：<https://www.feasun3d.com/archives/2017072001/>

其中採用 DLP 數位光處理技術-上投影式和下投影式，在操作使用與製程特性上之優點與缺點比較，如下表 8 整理。

表 8：DLP 數位光處理技術-上投影式和下投影式比較表

	上投影式	下投影式
方式	利用 Z 軸由下而上移動載台，以光源為上投影物件路徑至固化。	利用 Z 軸由上而下移動載台，以光源為下投影物件路徑至固化。
優點	(1) 成型槽深度較淺，耗材用量少。 (2) 精度較高，適合較小型細緻及高精度工件。(如：珠寶飾品，牙模) (3) 更換樹脂槽體材料較方便。	(1) 利用原本液體浮力，減少支撐材用量及地心引力之拉力現象。 (2) 工件不須因拉拔力而變形。但雷射光斑與誤差較大。 (3) 較適合做較大型工件。(如：工業外殼零件)
缺點	(1) 固化型成真空狀態時，上拉成型載台承受拉力大。拉拔力越大，失敗率較高。	(1) 成型槽深度較深，耗材要與列印工件高度一樣，一點都不能省，耗材料。 (2) 更換材料較不方便。

資料來源：本研究整理

另一種噴墨式 DLP 由小噴頭噴出樹脂材料(可同時列印多種材料),噴出材料同時立即照射 UV 光將材料固化。如圖 18 所示。

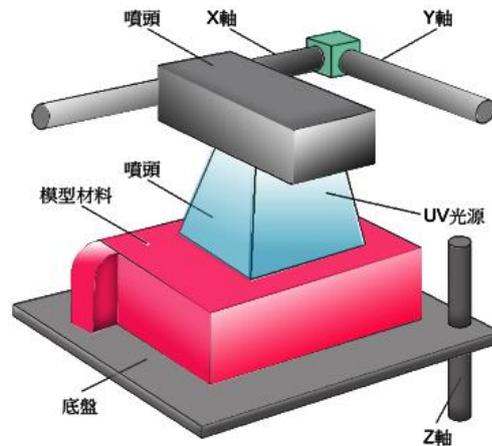


圖 18：DLP 數位光處理-噴墨式 資料來源：<https://www.feasun3d.com/archives/2017072001/>

DLP 技術之優點與缺點整理，表 9 所示。

表 9：DLP 數位光處理技術之優點與缺點比較表

DLP 優點	DLP 缺點
(1) 能製造出之物體外表光滑且細緻度高。 (2) 因光敏樹脂之特性，有透明效果之樹脂可選擇。 (3) 列印成品可達到極高的精度，可製作精緻的工藝品。 (4) 列印速度較 FDM 迅速。 (5) 耗材種類多，為近期研究之重點。 (6) 投影設備光學結構簡單，體積和重量較為優勢，價格較為低廉。	(1) 會有空心物品列印之問題。 (2) 懸空物件需長支撐材。固化後去除支撐材易傷到成品表面， (3) 光敏樹脂成品較貴，耗材開封後不適合長期存放。且不宜接觸光害。 (4) 固化使用之光源，會隨著時間增加致光源衰弱。 (5) 耗材屬於低危險之有毒物品，須做好防護措施。更換材料、列印過程中材料消耗比 SLA 大。

資料來源:本研究整理

2-4-5 選擇性雷射燒結 (SLS)

根據:Wiki”之描述(https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering),選擇性雷射燒結 (Selective Laser Sintering, SLS) 是種添加劑製造之技術,該技術使用鋪粉的方式,將一層層燒結之粉末材料(金屬、陶瓷、石膏...等),平坦鋪在已成型零件的表面上,並加熱至剛好低於該粉末燒結之溫度,使其未達到燒結之溫度。控制雷射束依照層之截面輪廓,在逐層粉層上掃描,使粉末溫度上升置融化點,進行燒結並與之前已成型的部分結合,實際生產出一個堅強之結構。當一層完成後,工作台將下降一層厚度,鋪料輥在上面鋪上一層均勻密實之粉末,再次進行新一層截面燒結,連續循環直至完成整個成品。如圖 19 所示。

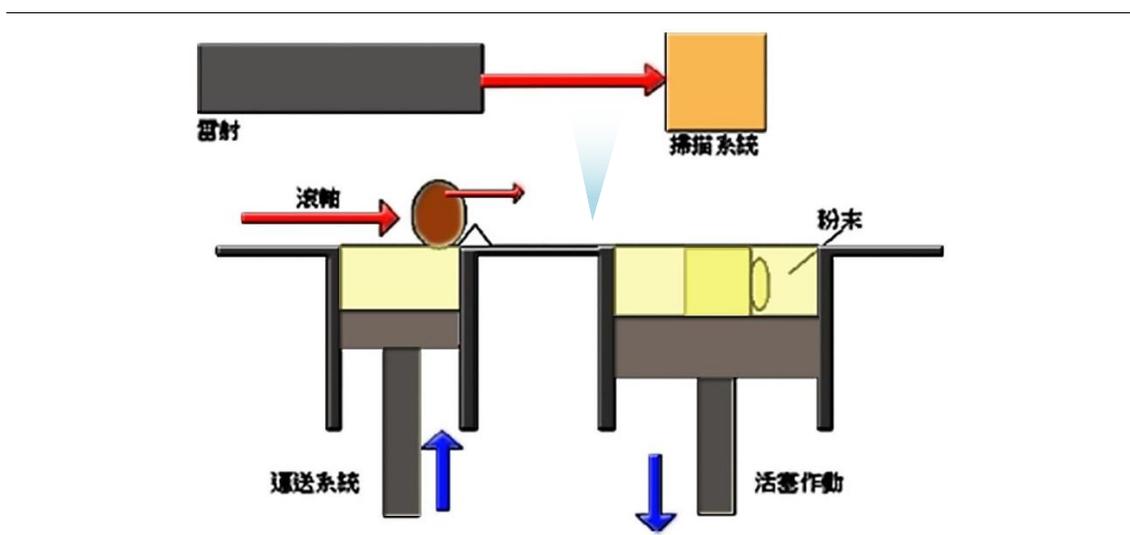


圖 19：SLS 選擇性雷射燒結 資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering

SLS 技術是較新技術的一種,目前為止主要用使用在快速原型設計與小量生產之組件,跟著快速成型技術進步且商業化,此技術在生產中的角色也不斷在擴大。

SLS 技術的優點與缺點整理,如表 10 所示。

表 10：SLS 技術之優點與缺點比較表

SLS 優點	SLS 缺點
(1) 可使用多種材料。其中包括高分子、金屬、尼龍、石膏、陶瓷等多種材料。現階段發展方向最熱門的是金屬粉末材料。	(1) 表面較粗糙。原材料是粉末狀，當粉層經加熱熔化，逐層粘結時，原型表面細觀來說是粉粒狀的，表面質量不高。
(2) 製成技術簡單。可使用材料較多，可依不同材料生產複雜形狀、型腔模三維構建或部件或工具。	(2) 燒結過程會有異味。粉層需雷射使其加熱到熔化之狀態，高分子材料或粉粒在雷射燒結時，易揮發異味之氣體。
(3) 成品高精度。可達工件整 0.05-2.5mm 之公差範圍。	(3) 陶瓷和金屬之高性能零件，無法直接成型。成型大尺寸零件時易產生翹曲變形問題。
(4) 無需支撐材結構。故無需添加底座之問題。疊層過程中懸空層可由未燒結的粉末來進行支撐。	(4) 加工時間國長。使用前需要預熱時間 2 小時；構建後，需冷卻 5 至 10 小時，才能從粉末缸中取出，完成成品。
(5) 材料重複利用率極高。為常見材料使用率最高的，而且價格相對較便宜。	(5) 設備成本與製造，及維護成本昂貴，且技術難度偏高，一般使用者無法負荷。

資料來源: <https://kknews.cc/zh-tw/news/4lkj3.html>

2-4-6 連續液面生長(CLIP)

根據：“3dprint 網站”之描述(<https://3dprint.com/51566/carbon3d-clip-3d-printing>)，連續液面生長 (Continuous Liquid Interface Production, CLIP) 技術於 2015 年 3 月 20 日被申請專利。由 Carbon3D 公司將 CLIP 技術登上了學術相關雜誌 Science 的封面。CLIP 製程原理是利用 DLP (或 SLA) 進行改進，其原理並不陌生複雜。讓光敏樹脂固化之主要光源是利用機構底部的紫外光投影；而氧氣抑制固化原理是由水槽底部的液態樹脂，接觸氧氣進而保持穩定的液態範圍，就是保證每層固化的連續性。

CLIP 技術要依賴於既透氣又透明的特殊窗口，同時允許氧氣及光線通過。由機台操控氧氣之確切量和進入樹脂槽之時間控制。因氧氣抑制某些區域的樹脂固化之作用，而與沒氧氣區域之樹脂照光固化，原文為(2~3 的紅血球細胞直徑)。意思為氧氣能在樹

脂槽內建造光固化的「鈍化區」。這「鈍化區」最小可到達幾 10 微米厚度。在區域的樹脂根本不可能發生光聚合反應。此設備將使用 UV 光源，像播放電影類似，3D 模型逐層依序地橫截面投射到槽體底部。如圖 20 所示。

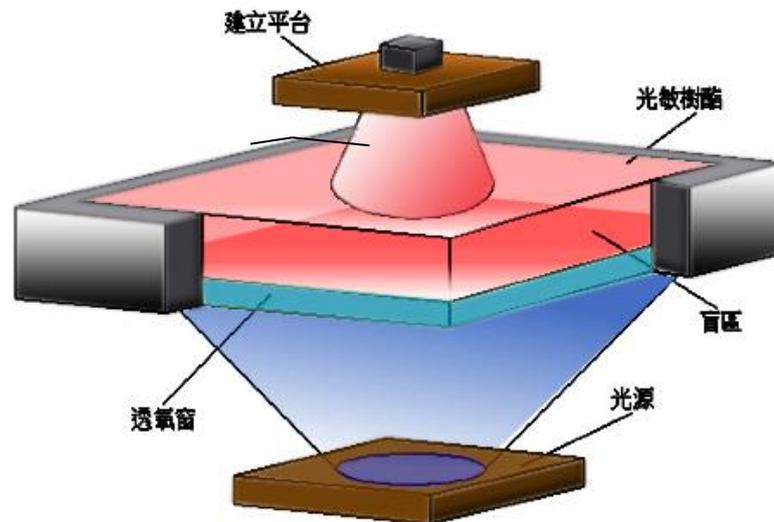


圖 20：CLIP 連續液面生長

資料來源 <https://3dprint.com/51566/carbon3d-clip-3d-printing>

3D模型切層技術類似疊加幻燈片，此原理將無法消除成品之粗糙度，而CLIP這項技術最重要有大兩優勢，其一是列印速度比傳統3D印表機要快25至100倍，快到了顛覆性之程度，實驗理論上有提高至1000倍之能力。另外一個是分層理論上，可無限精密且細緻。傳統的3D列印液面生產模式會在底部投影的光圖像可做到連續性之變化，相當於從疊加幻燈片進化成疊加得影像，雖然這個影像幀數無法無限大，但對幻燈片的方式來說將是巨大的進步。

2-4-7 小結

針對以上普遍使用 3D 列印技術的特性與加工技術之優缺點比較。如表 11 所示。

表 11：普遍使用 3D 列印技術的特性與加工技術之優缺點比較表

技術	FDM	LOM	DLP	SAL	SLS	CLIP
名稱	熔融擠製	層狀製造	數位光處理	光固化	選擇性雷射燒結	連續液面生長
材料	塑膠	塑料、紙張	光敏樹脂	光敏樹脂	各種粉末	光敏樹脂
XY 精度	0.2mm	0.1mm	0.05mm	0.05mm	0.05mm	0.01mm
Z 精度	0.1mm	0.2mm	0.02mm	0.025mm	0.05mm	0.01mm
特色	細緻度低	廢材較多	成形速度快	可製造較大物件	材料多樣化	成行速度非常快
成本	低	中	中	貴	昂貴	昂貴

資料來源:本研究整理

統整歸納出一般快速積層製造技術有以下特點：

- (1) 以數位製造，採 3D 建模檔案為基礎，空間限制較不拘限。
- (2) 以加法製造方式，其材料使用率高，較不浪費且可廢料回收再用。
- (3) 適用少量多樣，和客製化生產。易變更設計，使生產製造更為彈性且便利。
- (4) 從設計到研發，生產加工製作，皆可個人化生產。
- (5) 適用鏤空與複雜形狀之產品，易克服其傳統加工之限制。縮短製程加工時間。

其中同屬液態類的 SLA(Stereolithography) 與 DLP (Digital Light Processing) 兩種方法，都是由光敏樹脂為材料，製造原理非常相似，最大的差異是 DLP 的光源是 DLP 投影機；SLA 光源為振鏡式雷射或強光源。則相對 SLA 有較精準尺寸、強度的光源以點的方式。DLP 雖然有投影機畫素限制、投影變形、光均勻性等問題，但是設備價格低廉與面成型的列印速度優勢。

SLA 使用兩個電流計或振鏡（分別在 X 軸與 Y 軸上）馬達，其雷射光束可快速地瞄準列印區域，將其 3D 圖切層圖片轉換為點和線，作為振鏡反射雷射光的座標路徑使樹脂感光固化成形。

DLP 則採用數位投影機來光投影在平台上之單一影像。因投影圖像解析稱為像素，每層圖像放大皆呈現正方形像素組成。利用面光源在列印某些物件時，可達到較快列印時間，每次曝光一下就是一層，其速度相對快速。

光固化 SLA 與 DLP 列印技術製程方式只差別在固化光源的不同，SLA 為雷射光束掃描固化；而 DLP 則為投影機曝光固化。如下圖 21 簡易比較圖所示。

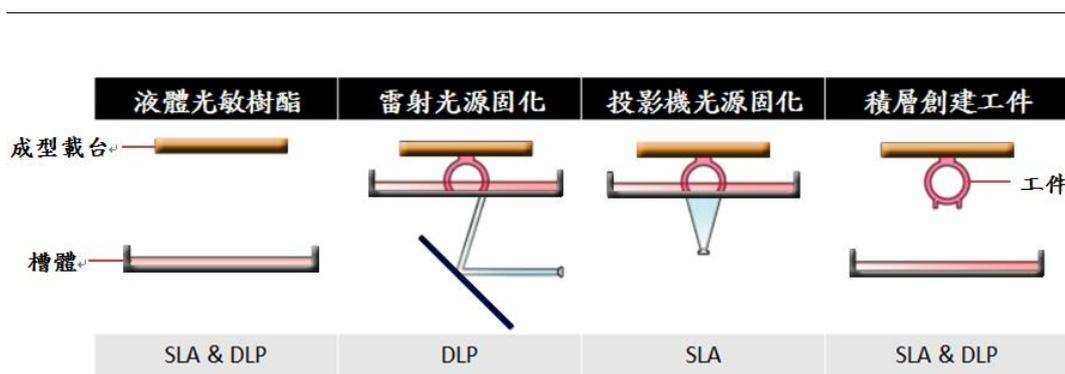


圖 21：光固化 SLA 與 DLP 列印技術製程方式比較圖

2-5 創新概念設計方法

從以往研究歷程發現，儘管設計程序大多依循既定企業目標或現行事業策略發展而規劃，卻也因此限制構想品質之發展性，該如何激發設計者於概念發想設計，快速整合出創新多元化之構想(陸定邦，2003)。目前創新概念設計之方法分為兩大項：第一大項為直覺式或聯想式設計方法；第二大項為邏輯式設計方法。其類型概念發想方法之分類(Kulkarni et al., 2001; Hentschel, 2011; Hernandez et al., 2010; Shah et al., 2000)，如圖 22 所示。

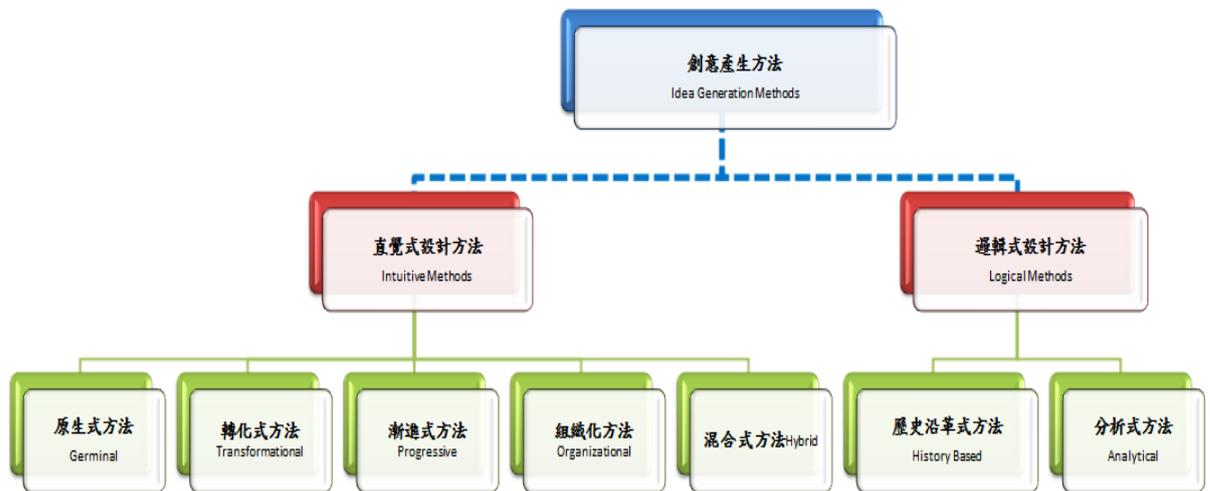


圖 22：創新概念設計之方法分類

資料來源:本研究整理

2-5-1 直覺式設計方法

直覺式設計方法 (Intuitive Methods) 又稱為聯想式設計方法 (Associative Methods)，其法強調創意思考之流動變化性、消除心理困惑，雖有較高機會衍生出新創意的機率，其思考過程也是最不為人所瞭解，其類型發想方法分類如圖 23 所示包含：



圖 23：直覺式設計之方法分類

資料來源:本研究整理

(a)原生式方法(Germinal)：是指設計者對解決對策沒既定想法時所採用之方法。

如：KJ 法、腦力激盪、型態分析法。

(b)轉化式方法(Transformational)：是指設計者採用既有解決對策進行轉化或修正。

如：PMI 法、隨機刺激法、檢核表。

(c)漸進式方法(Progressive)：是指產品設計者透過重複步驟，將離散之想法慢慢逐步聚焦。

如：協力草圖法、長廊法、6-3-5 法。

(d)組織化方法(Organizational)：是將一些具意義的想法加以組合而成。

如：魚骨圖、親近圖、故事板。

(e) 混合式方法(Hybrid)：係依據各階段之需求而採行不同的方法。

如：關聯法。

2-5-2 邏輯式設計方法

邏輯式設計方法(Logical Methods)又稱推論式(Discursive)、對比式(Confronting)或系統式(Systematic)之方法。是指在一種有意識可預期及詳細規劃之程序下，強迫性衍生出創意，採用工程原則或由過去經驗中歸納分類出的對策方案去衍生新的改善設計。其類型發想方法分類，如圖 24 所示包含：

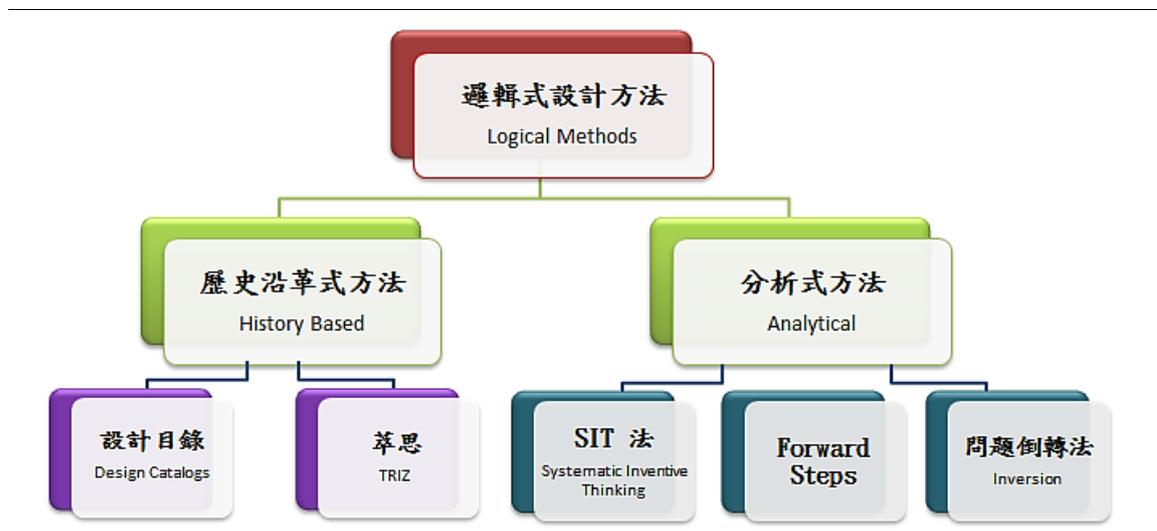


圖 24：邏輯式設計之方法分類

資料來源:本研究整理

(a) 歷史沿革式方法(History Based)：是指使用由分類或建檔的歷史資訊庫為基礎。

如：設計目錄、萃思。

(b) 分析式方法(Analytical)：是以系統化的方式摸索初始對策方案之可能的變化。

如：SIT 法、Forward Steps、問題倒轉法。

2-5-3 小結

研究概念設計方法之種類很多，都具有不同功能和作用。以上直覺式和邏輯式的方

法皆是發想創新概念重要之方法。本研究透過文獻探討及搜尋資料，了解一些相關的基本知識，其邏輯式方法是通常在一種可預期態度下被迫發想創意；而直覺式設計方法通常是由無意識之下的想法所激發創意，雖有較高機會衍生出新穎創意，然而其思考過程也最不為人所理解，且較難預測結果，(Hernandez et al., 2010; Shah et al., 2000)。

利用已故前蘇聯發明家的Genrish Squlovich Altshuller 所提出之TRIZ方法，針對TRIZ與工業設計構想發展之關係分析，並建構出適用於工業設計構想發展之輔助工具，並歸納結論如下(高天志，2004)：

- (1) 設計思考與TRIZ有密不可分之關聯性。
- (2) 工業設計與TRIZ常用之矩陣不同。
- (3) TRIZ建立完整40創新解題原則資料庫，可讓設計者清楚且迅速瞭解其原則，並想出新穎的設計。

研究提出運用創新設計手法協助速原型以及快速模具等兩項快速製程之改善，使用TRIZ法解決問題模式並經由實驗證實，TRIZ可協助在製程上遇到瓶頸時，設計者可迅速找出最可行之解決對策(連介廷，2007)。

TRIZ對於製程改善設計有以下優點：如表12所示。

表 12：製程改善設計有以下優點

製程改善設計	
優 點	除了用於產品設計外，更適合應用於製程改善。 用最短時間內找出可行之對策，進行改善提升製程之效能與便易性。
	用特性要因列出製程中，所有可能影響之變異參數。 讓設計者對於整個製程能更加了解。 快速找出相互影響之因子，以達降低問題影響率。
	針對設計者在開發製程上所遇到的問題點，其需求將轉換成工程參數。 依據工程參數間相對應之矛盾矩陣，系統化找出解決對策。

資料來源:(連介廷，2007)。

TRIZ方法在全球被廣泛應用，提出問題核心邏輯化之法則，以有效思考策略及建構創新對策，對於創新設計與製程改善有重要之作用。然而常用直覺式法分析解決問題，直觀思考於尋找任何有可能的方式去尋求對策；TRIZ方法能系統化且重於在矛盾關係之收集與整理分析，並以尋求範例或經驗找出任何有可能的解決方式。

故本研究將採用TRIZ方法來分析研究問題及啟發創作思維，來解決改善產品開發期間，所面臨之技術問題，合宜建構出之解決方案，協助設計概念轉換成模具設計，接著採用快速成型技術作為研究成果的實作，更加快速且成本也低於委外工廠製作，使其本研究實驗製程改善設計更加完善，進而提升開發效率。

2-6 TRIZ 基礎理論

TRIZ在俄文原意指發明創新問題理論，是(Teoriya Resheniya Izobretateleskikh Zadach的俄文縮寫)，在台灣中文是翻譯成「萃思」，取其義為「萃取思考」，英文譯為Theory of Inventive Problem Solving (TIPS)。TRIZ理論是在1946年由前蘇聯發明家亦是工程師的Altshuller創立的。Altshuller研究各領域的產品技術變革、改進、創新，發現都是有規律可循的。Altshuller偕同研究團隊，分析近二百五十萬份的世界專利發明，歸納總結各種技術發展進化遵循規律模式，如掌握這規律就能進行產品設計並能預測產品的未來趨勢。以此提出一套系統性的解決各種技術矛盾和物理矛盾之創新原理和法則，建立出TRIZ理論方法。(Altshuller, G.S.,1999)。

TRIZ理論方法係一種解決問題的思考方式，其基礎是利用解決矛盾問題的方法來衍生創新對策。包含最常用以39項工程參數與40項發明原則，將其系統化而組成矛盾矩陣，將問題轉成工程參數中的欲改善參數及不欲惡化參數，TRIZ可有效幫助工程師解決工程系統矛盾之問題，迅速找到解決對策。

2-6-1 TRIZ 方法沿革

Altshuller在二十萬篇專利中具有創新性代表性僅四萬篇，將這些資料匯集，依專利不同程度創新性特性分五個階段，稱為創新層級或發明層級，如表 13 所示。

表 13：創新問題之層級歸納表

創新層級	定義說明	解決內容	百分比(%)
標準化 (第一級)	於專業技術領域之既有技術得到改善。	改進改良	佔 32%。
改良化 (第二級)	於現有系統中之改良或由同領域中習得之方法。	技術矛盾	佔 45%。
模式內創新 (第三級)	於現有系統本質的大幅改善或參考不同領域之方法。	物理矛盾	佔 19%
模式外創新 (第四級)	改變基本原理及功能，突破性概念技術，發展新構想	重大發明	佔 3%
發明 (第五級)	一個全新本質的新發明或科學發現之研究。	新發現	佔 1%

資料來源：(J. Terninko ，1996)

Altshuller 認為第一階段不是創新，而第五階段則是「發明Invention」，這兩階段除外，則TRIZ 針對其他三個階段的創新思考效益更大。其中第二與三階段為「革新 Innovative」，第四階段為「創新 Inventive」。研究指出在經過了數十年以上證實與研究，TRIZ是一套效率高及可靠的創意思考之系統化設計方法，提供完整的產生創意工具，協助找出創新方向與創意的解決方案，以增加創新設計之品質與效率(林美秀，2005)。

2-6-2 TRIZ 解決工具

TRIZ主要的解決工具有四種：39 工程參數與 40 個創新法則、質-場分析與 76 個

標準解、ARIZ 及科學與技術成果資料庫。這四種方法做說明如下：

(1) 39 工程參數與 40 個創新法則

提出具體問題包含至少一個以上的矛盾衝突，當改進參數X時，參數 Y 可能被惡化。而 TRIZ 則追求如何去除當中所出現的矛盾，發現這些參數會形成技術矛盾，將這 39 個工程參數列成矛盾矩陣，所對應的工程參數套出總結 40 個創新法則，針對每個矛盾問題，建構了幾項創新原則，並藉由此法則迅速找到解決問題的對策。

(2) 質-場分析與 76 個標準解

是針對現有技術系統之相關問題，建構模式的重要工具(John Terninko，2000)。Altshuller 把功能分成兩個物質(1)(Object substance)和(2)(Tool substance)，(S) 與作用於它們中的場 (F) 之間交互作用，而質可為任何形式之零件，場則是一種能量形式 (高常青、黃克正、張勇，2006)。Altshuller 歸納了不同領域之問題和解決問題之通用標準條件對策，而這衍生成 76 個標準解。其歸類為五類：

76 個標準解分類	
1. 改變已有系統	23 個
2. 簡化和改善策略	17 個
3. 檢查與量測	17 個
4. 少量或不改變已有系統	13 個
5. 系統傳遞	6 個

(3) ARIZ

有些複雜問題裡存在著沒明顯的矛盾，無法採用衝突矩陣或質-場分析來解決，須分別進行建構分析。ARZI的核心分析工具是對於複雜問題，提出簡單化解決對策之邏輯結構。

(4) 科學與技術成果資料庫

研究人員如果需某些特定功能，資料庫則可提供多個選擇方法。此法是TRIZ 中最易應用之工具。包括物理和化學、幾何學、地理等方面之技術成果與專利，而開發新產品需豐富廣闊知識為基礎，故建立知識庫即可有效率的開發新品，對開發產品之品質提升及縮短時間，是很重要之工具(林美秀，2005)

針對以上較為普遍使用的三個工具，「39 個工程參數與 40 個創新法則」和「質-場分析與76個標準解」以及「ARIZ」之優缺點比較，如表 14 示。

表 14：TRIZ 解決工具之比較表

項目	39 工程參數與 40 個創新法則	質-場分析與 76 個標準解	ARIZ
應用	39 工程參數描述之技術 矛盾問題。	對於已有設計方案衍 生新創意。	解決各種較複雜之問 題。
優點	簡單易於使用，且提供 1201 種衝突之對策。	結構化分析問題，易 衍生不同新創意。	涵蓋廣，系統化解決各 種問題。
缺點	須確定系統衝突所在，並 需轉換為 39 工程參數。	需較強的相關問題之 工程背景。	解決問題之過程相對 繁瑣。

資料來源：(趙新軍，2004)

2-6-3 TRIZ 解決問題之流程

利用 TRIZ 系統化的先進行分析特定具體問題，進行類比並以轉換成 TRIZ 概念性問題，選取 TRIZ 方法之矛盾矩陣等工具，找出適合的 TRIZ 建議解決方案，最後根據問題建議解決方案思考，找出具體解決方案，如圖 25 所示。

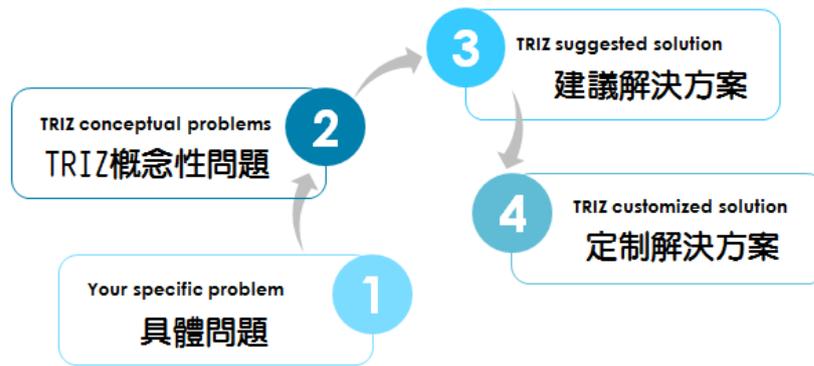


圖 25：TRIZ 解題架構圖

資料來源：<https://zh.wikipedia.org/wiki/TRIZ>

Altshuller 透過研究全世界眾多專利，整合出技術矛盾與物理矛盾之解決問題原則，指出在創新發明的過程中必會伴隨著衝突問題出現(Domb,E., 1997)。如冷與熱、長與短、緊與鬆...等相關技術矛盾，同時也伴隨著物理矛盾，其分四項為空間、時間、條件、系統轉移之分離原理，在物理矛盾無法解決問題時，則可採用技術矛盾進行解決，如圖 26 所示。

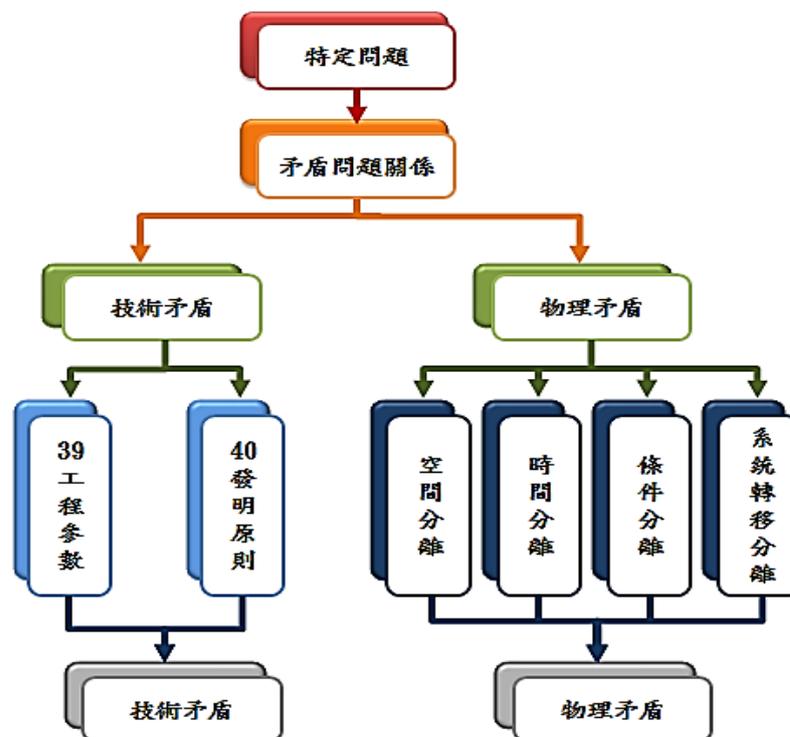


圖 26：TRIZ 解題流程圖

資料來源：(Terninko, J., Zusman, A., and Zlotin, B., 1988)

2-6-4 小結

Altshuller建構40創新發明法則時，並在研究眾多項世界專利後，約有1500個技術矛盾問題可用TRIZ法則，來解決工程特性相互矛盾之問題，其範圍廣泛使用。並提出：「40創新法則也可運用於軟體、機械、建築、營建、食品科學、品質工程、廣告、行銷、服務、商業、管理、財務...等廣泛領域，可以用來解決問題或衍生新產品概念」。其39工程參數(附錄A)是Altshuller針對系統問題可用這工程參數來描述，就是將具體問題用TRIZ方式描述表達，選擇工程參數時須特別注意，而以上這兩項解決工具，是TRIZ理論中最常用來解決問題所使用的。

矛盾表(附錄B)是將 39 個矛盾特徵以39X39工程參數所表示，表中提供共 1201 個問題解法，每種解法均可從40 創新發明法則(附錄C)中找尋創新答案。此使用須把具體問題轉換成TRIZ系統之39 個工程參數會出現的矛盾問題，建立縱軸及橫軸交叉之矩陣，套用40 個創新原則來找出解決方案。

矛盾衝突是提出特定具體問題時，首先須先判斷問題是屬於技術或物理矛盾，如果是技術矛盾，即可採用「矛盾矩陣」來解決矛盾與衝突。由矛盾矩陣表對應出一個到四個之創新法則。其矩陣表的組成，橫軸代表39個避免惡化參數，縱軸代表39個欲改善參數，橫軸與縱軸所交叉之欄位找出編號，並對照至40發明法則得到解決方案，如表 15。

表 15：矛盾矩陣部分簡圖

避免惡化參數 欲改善參數	1.移動物體的重量	2.不動物體的重量	-----	39.生產力
1.移動物體的重量				35,3 24,37
2.不動物體的重量				1,28 15,35
⋮				
39.生產力	35,26 24,37	28,27 15,3		



資料來源：(張祥唐，2003)

第三章 研究方法與實驗規劃

關於鞋品開發中，初期打樣須能有效分析與掌握產品之功能與特性，設計者在設計任何產品模具時，應要以產品的整個生命週期來考量。設計出一套適合模具，不僅能讓產品設計師進一步了解產品量產之可能性，能在開發時期中能有效從材料、設計、製造之最終完整鞋品，目標以試樣品材質更貼近未來市售品為主，達到設計者之設計靈感呈現才是更重要的。

產品開發試樣時期，主要重點不在製造，而是著重於產品的基本結構，以及產品的使用性評估，(Hallgrimsson, 2013)。然而模具設計上考量的主要三大方向：模具的結構設計、材質選擇及製造程序，這足以影響整個開發時程長短。在此本研究透過 TRIZ 創新法則，探討在整個製程中所會遇到之現有問題，可具體轉換問題相關之工程參數，並確定技術矛盾之所在，進而分析找出解決方案。

3-1 TRIZ 應用與分析

本研究主要結合 TRIZ 法則，即 39 個工程參數、矛盾矩陣表，與 40 個創新發明原則，來深入分析探討 3D Texture 鞋材生產製程之快速替換式模具，將對現有打樣模具開發流程問題進而改善其模具創新設計，其 TRIZ 研究流程，如下圖 27 所示：

- (1) 探討產品開發初期，找出現有問題需求。
- (2) 將問題轉換為工程參數。
- (3) 進行 TRIZ 矛盾矩陣表分析。
- (4) 對應出所建議的創新發明原則。
- (5) 針對創新發明原則，進行類比思考與分析。
- (6) 發掘設計出可行解決方案。

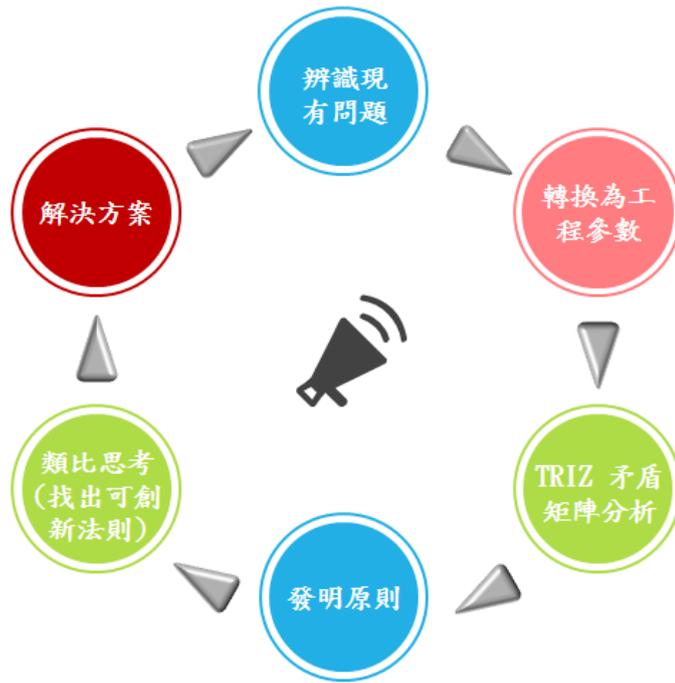


圖 27：TRIZ 的問題解決程序

利用 TRIZ 協助找出較可行方案，將目前以 3D Texture 鞋材生產製程之快速模具所遇到的特定問題，在初期開發過程中，所需加工設備與製程及模具成本費用，皆會導致開發花費昂貴且耗時。針對以上的關鍵問題及需求，有效地找出其相關問題對應的工程參數，如下圖 28 所示。

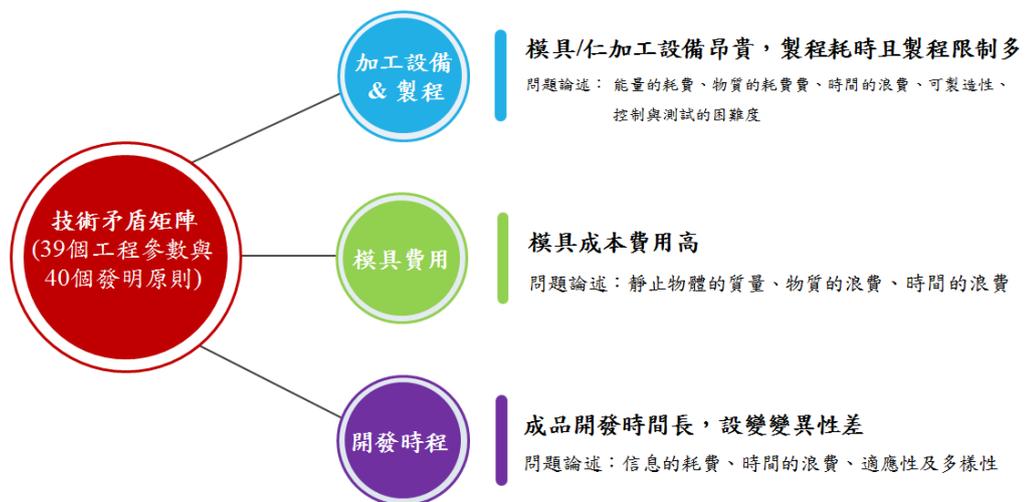


圖 28：利用 TRIZ 法則 將問題轉換成工程參數

資料來源:本研究整理

將在三個問題中欲改善的工程參數，簡略敘述套用參數說明，其相關問題對應的工程參數與說明，如下表 16 所示。

表 16：欲改善的工程參數轉換表

問題	欲改善的工程參數	套用參數說明
加工設備昂貴 製程耗時	#22 能量的耗費	製程加工會有能源的損耗。
	#23 物質的耗費	製程耗材。
	#26 時間的耗費	製程加工都用時間計算成本。
	#32 可製造性	機械加工有不同的製造限制。
	#37 控制與測試的困難程度	製程加工有一定技術門檻。
模具成本費用高	#02 靜止物體的質量	剛性材質機械加工成本較高。
	#23 物質的耗費	傳統方式是採減法加工。
	#26 時間的耗費	需搭配不同製程製作，不同工時。
成品開發時程長 設計變更性差	#24 信息的耗費	需配合不同製程製作時程，溝通耗時。
	#26 時間的耗費	設計確認與製程加工，溝通耗時。
	#35 適應性及多樣性	無法即時設計變更。

資料來源:本研究整理

將三個問題中避免惡化的工程參數，簡略敘述套用參數說明，其相關問題對應的工程參數與說明，如下表 17 所示。

表 17：避免惡化的工程參數轉換對應表

問題	避免惡化的工程參數	套用參數說明
加工設備昂貴 製程耗時	#12 形狀	機械加工有形狀定位限制。
	#27 可靠性	機械設備都需精準校正。
	#29 製造精度	不同精度要求，搭配不同設備。
	#32 可製造性	不同設備有不同的製程限制。
	#38 自動化程度	自動化設備可確製程穩定。
	#39 生產率	自動化設備可量產化。
模具成本費用高	#13 物體的穩定性	採機械加工，可確保模具製程穩定。
	#14 強度	材質選擇會影響模具強度。
	#16 靜止物體的耐久性	會影響模具使用的耐久性。
	#29 製造精度	不同加工製程，會影響製造精度。
	#36 裝置的複雜性	拆件加工，會提高複雜性。
成品開發時程長 設計變更性差	#14 強度	快速模具相對強度較差。
	#28 測定精度	快速模具的測定精度較差。
	#29 製造精度	快速模具的製程精度較差。
	#34 可維修性	快速模具維修性較差。
	#39 生產率	快速模具的壽命較短。

資料來源:本研究整理

將上面三個相關問題的工程參數 (表 18) 填入到矛盾矩陣表中，即可求出 表 19 表 20 表 21 盾矩陣表。

表 18：欲改善與避免惡化的工程參數轉換總表

問題設計參數 工程參數特性	欲改善的工程參數			避免惡化的工程參數		
	加工設備昂貴 製程耗時	模具成本 費用高	成品開發時程長 設計變更性差	加工設備昂貴 製程耗時	模具成本 費用高	成品開發時程長 設計變更性差
1.運動物件的重量						
2.靜止物件的重量		V				
3.運動物件的長度						
4.靜止物的長度						
5.運動物的面積						
6.靜止物的面積						
7.運動物的體積						
8.靜止物的體積						
9.速度						
10.相互作用力						
11.拉力、壓力						
12.形狀				V		
13.物體之穩定性					V	
14.強度					V	V
15.運動物體的耐久性						
16.靜止物體的耐久性					V	
17.溫度						
18.亮度						
19.運動物體使用的能量						
20.靜止物體使用的能量						
21.動力						
22.能量的浪費	V					
23.物質的浪費	V	V				

問題設計參數 工程參數特性	欲改善的工程參數			欲改善的工程參數		
	加工設備昂貴 製程耗時	模具成本 費用高	成品開發時程長 設計變更性差	加工設備昂貴 製程耗時	模具成本 費用高	成品開發時程長 設計變更性差
24.信息的浪費			V			
25.時間的浪費						
26.物質的量	V	V	V			
27.可靠性				V		
28.測定精確度						V
29.製造精確度				V	V	V
30.物體外部有害因素						
31.物體產生的有害因素						
32.可製造性	V			V		
33.可操作性						
34.可維修性						V
35.適應性及多樣性			V			
36.裝置的複雜性					V	
37.控制的複雜性	V					
38.自動化程度				V		
39.生產性				V		V

表 19：(問題：加工設備昂貴，製程耗時) 技術矛盾矩陣

矛盾矩陣		避免惡化的工程參數					
		#12 形狀	#27 可靠性	#29 製造精度	#32 可製造性	#38 自動化程度	#39 生產率
欲改善的工程參數	#22 能量的耗費		11 10 35			02	28 10 29 35
	#23 物質的耗費	29 35 03 05	10 29 30 35	32 10 24 31	15 34 33	35 10 18	28 35 10 23
	#26 時間的耗費	35 14	18 03 28	33 30	29 01 35 27	08 35	13 29 03 27
	#32 製造性	01 28 13 27				08 28 01	35 10 28 01
	#37 控制與測試的困難程度	27 13 01 39	27 40 28 08		05 28 11 29	34 21	35 18

資料來源:本研究整理

表 20：(問題：模具成本費用高) 技術矛盾矩陣

矛盾矩陣		避免惡化的工程參數				
		#13 物體的穩定性	#14 強度	#16 靜止物體的耐久性	#29 製造精度	#36 裝置的複雜性
欲改善的工程參數	#02 靜止物體的質量	26 39 01 40	28 02 10 27	02 27 19 08	10 01 35 17	01 10 26 39
	#23 物質的耗費	02 14 30 40	35 28 31 40	27 16 18 38	32 10 24 31	35 10 28 24
	#26 時間的耗費	15 02 17 40	14 35 34 10	03 35 31	33 30	03 13 27 20

資料來源:本研究整理

表 21：(問題：成品開發時程長，設計變更性差) 技術矛盾矩陣

問題：成品開發時程長，設計變更性差。						
矛盾矩陣		避免惡化的工程參數				
		#14 強度	#28 測定精度	#29 製造精度	#34 維修性	#39 生產率
欲 改 善 的 工 程 參 數	#24 信息的耗費					13 23 15
	#26 時間的耗費	14 35 34 10	13 02 28	33 30	02 32 10 25	13 29 03 27
	#35 適應性及多樣性	35 03 32 06	35 05 01 10		01 16 07 04	35 28 06 37

資料來源:本研究整理

從矛盾矩陣中可求得所對應之創新發明原則，統計如表 22 表 23 所示。

表 22：三個現有問題對應之 40 個發明原則統計表

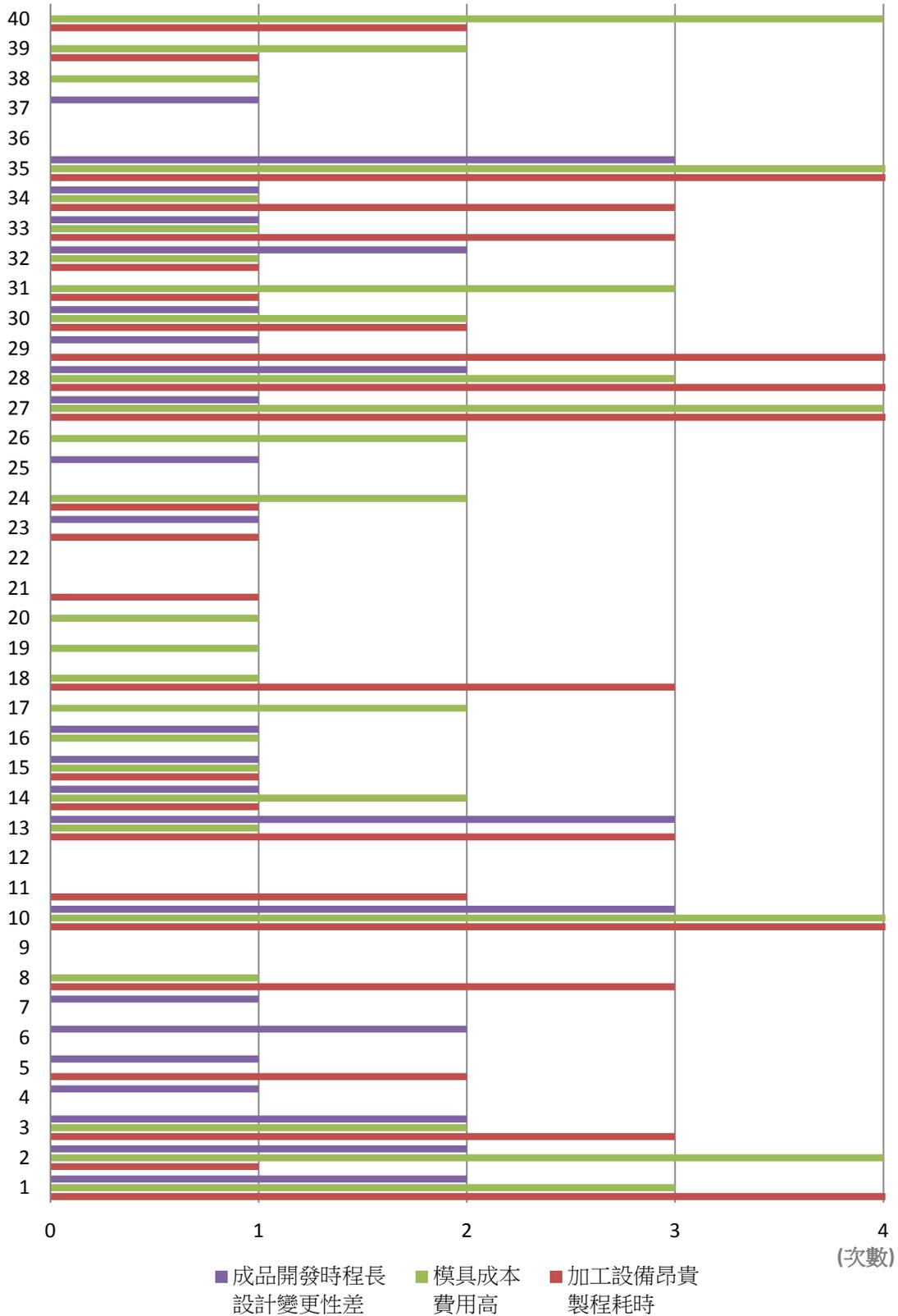
40 發明創新原則	加工設備昂貴 製程耗時	模具成本 費用高	成品開發時程長 設計變更性差	總計
1 分割	5	3	2	10
2 分離	1	4	2	7
3 局部性質	3	2	2	7
4 不對稱	0	0	1	1
5 聯合	2	0	1	3
6 多功能	0	0	2	2
7 套裝	0	0	1	1
8 質量補償	3	1	0	4
9 預加反作用	0	0	0	0
10 預先作用	7	6	3	16
11 預補償	2	0	0	2
12 等勢性	0	0	0	0
13 相反	3	1	3	7
14 曲面化	1	2	1	4
15 動態	1	1	1	3

40 發明創新原則	加工設備昂貴 製程耗時	模具成本 費用高	成品開發時程長 設計變更性差	總計
16 未達或超過的作用	0	1	1	2
17 維數變化	0	2	0	2
18 機械振動	3	1	0	4
19 週期性作用	0	1	0	1
20 連續有效作用	0	1	0	1
21 躍過	1	0	0	1
22 變有害為有益	0	0	0	0
23 反饋	1	0	1	2
24 中介物	1	2	0	3
25 自我服務	0	0	1	1
26 複製	0	2	0	2
27 低成本、不耐用的物體 代替昂貴、耐用的物體	5	4	1	10
28 機械系統的替代	8	3	2	13
29 氣動與液壓結構	6	0	1	7
30 柔性殼體或薄膜	2	2	1	5
31 多孔材料	1	3	0	4
32 改變顏色	1	1	2	4
33 同質性	3	1	1	5
34 拋棄與修復	3	1	1	5
35 參數變化	10	5	3	18
36 狀態變化	0	0	0	0
37 熱膨脹	0	0	1	1
38 強氧化	0	1	0	1
39 惰性介質	1	2	0	3
40 複合材料	2	4	0	6

資料來源:本研究整理

表 23：對應之 40 個發明原則統計圖表

(創新發明原則)



利用三個欲改善的問題點，透過 TRIZ 矛盾矩陣表對應分析所求得出有 36 項發明原則，本研究經評估思考將選用出現次數達 10 次以上的原則，即為 01 分割、10 預先作用、27 低成本、不耐用的物體，代替昂貴、耐用的物體、28 機械系統的替代、35 參數變化，作為本研究實驗設計的指標。如表 24 所示。

表 24：TRIZ 發明原則之設計構想（改善方案）

編號	發明原則	改善方案
#01	分割	將成品模具拆成多件，採共用模具方式，紋路區以模仁取代。應用於打樣期與試量產使用。
#10	預先作用	預先設計多款模仁可用的共用模具。
#27	低成本、不耐用的物體 代替昂貴、耐用的物體	用 3D printer 製作模仁，取代傳統鋼材模具，降低加工成本。
#28	機械系統的替代	用 3D printer 製作快速模具，取代機械加工傳統模具。
#35	參數變化	改變加工方式，以積層製造取代傳統減法加工。

資料來源:本研究整理

3-2 實驗規劃與流程

在鞋材上面的飾片材質所運用到的塑膠材質有 TPR(熱塑性橡膠)、TPU(熱可塑性聚氨酯)、PU(高分子聚氨酯)、RUBBER(橡膠)大底、EVA(醋酸乙烯)中底、PVC(聚氯乙烯)、EVA MD(一次性成型發泡)等等，都是塑膠原料經由射出機製造出所需要的鞋材飾片形狀。由於在開發期間，設計者往往要求廠商，協助採用未來趨近市售的材質來進行試樣。故需在開發期間都必須開暫用模具或簡易模具，來進行射出打樣。故目前仍無法找到有利的方式來取代模具生產製程。

本研究根據 TRIZ 矛盾矩陣解題求出多個原則，並找出五項對應之發明原則。然而矛盾參數與發明原則僅提供明確的設計方向，可直接選用該原則，或轉化為類比思考方式應用本研究之規劃。經評估思考提出一組設計方案，在此設計概念與流程原理作簡單說明。如圖 29 所示。

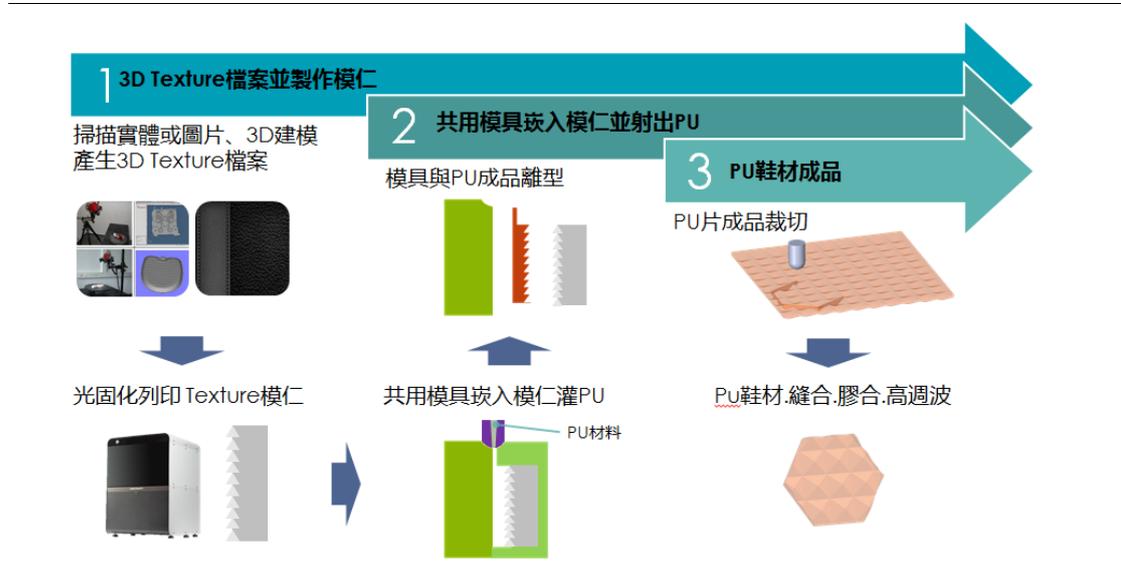


圖 29：研究方法模型之執行程序

資料來源:本研究整理

本論文實驗規劃將選用 DLP 光固化 3D 列印進行實驗，因光固化以打樣速度與精度來說都算是較符合考量，選用兩台不同光源來進行實驗驗證精度與製程時間進行比較。

另外，光固化樹脂的選用，因應用於射出模具中，需要較為耐高溫材質較為符合，故由材料專家建議，以目前市面上所市售較穩定的兩種耐高溫光硬化樹脂 CEX81 與 CE221 為實驗樣本，進行入子 Ra 值量測分析，PU 成品驗證轉寫率與傳統鋁模翻出成品進行比對，將其驗證樣本入子耐久度測試，與快速模具之共用性，其應用於快速製造 2D&3D 入子實際翻模驗證。如圖 30 所示。



圖 30：實驗規劃與驗證流程

資料來源:本研究整理

3-3 實驗設計

在開發期為了要求縮短生產時間，會將所需要的塑膠飾片一起進行開模射出，故本實驗將採用 3D Texture 運用在鞋頭上飾片，以及 2D Texture 運用在鞋身飾片，作為本研究的共用模具設計之可行性驗證。在一雙鞋上面的飾片材質所運用到的塑膠材質有 TPR(熱塑性橡膠)、TPU(熱可塑性聚氨酯)、PU(高分子聚氨酯)、RUBBER(橡膠)大底、EVA(醋酸乙烯)中底、PVC(聚氯乙烯)、EVA MD(一次性成型發泡)等等。本實驗將以鞋材常用的 PU 翻模紋理飾片進行製作。

3-3-1 模具設計概念

由上章節透過 TRIZ 法則矛盾矩陣得知，最多次數的發明原理有(#01 分割原理)、(#10 預先作用原理)、(#27 低成本、不耐用的物體，代替昂貴、耐用的物體原理)、(#28 機械系統的替代)、(#35 參數變化)等帶入設計概念，藉此提出兩種 Texture 樣式，如圖 31 所示。進行本實驗符合快速 3D Texture 鞋材生產製程之快速替換式鋁模的設計。

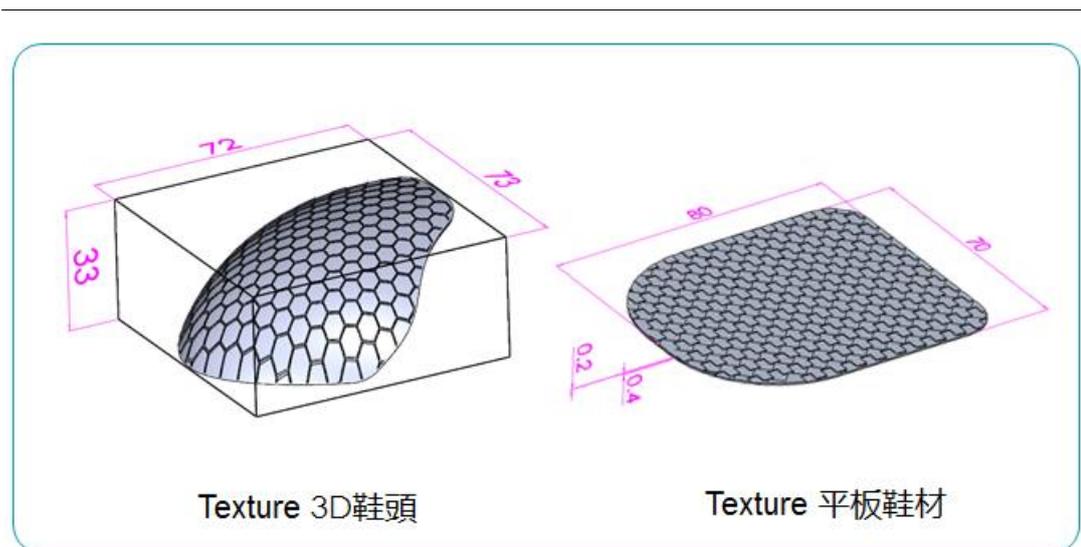


圖 31：3D 與 2D 的鞋材 Texture 為實驗樣本

資料來源:本研究整理

本實驗以 3D 與 2D 的鞋材 Texture 為實驗樣本，進行共用式替換模具設計概念，強調兩者互通共用性。以下為傳統 PU 機殼模具為樣本，作為共用式替換模具的 3D 繪製設計基礎，並以離型性鋁材做為本次實驗的模具素材，以達到節省模具開發成本之需求，如圖 32 所示。

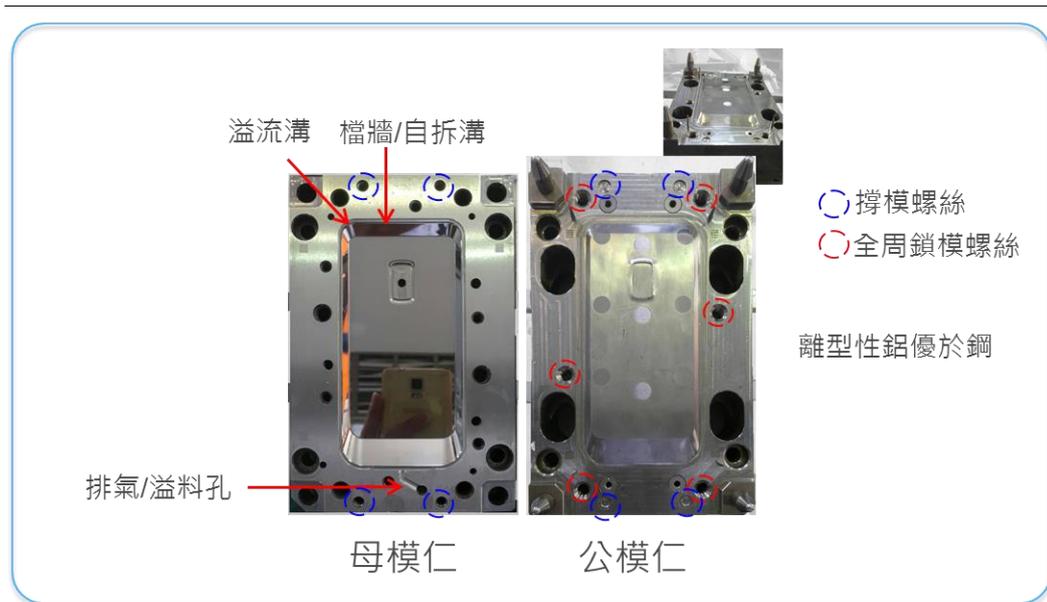


圖 32：以機殼模具作為快速替換式鋁模的設計概念

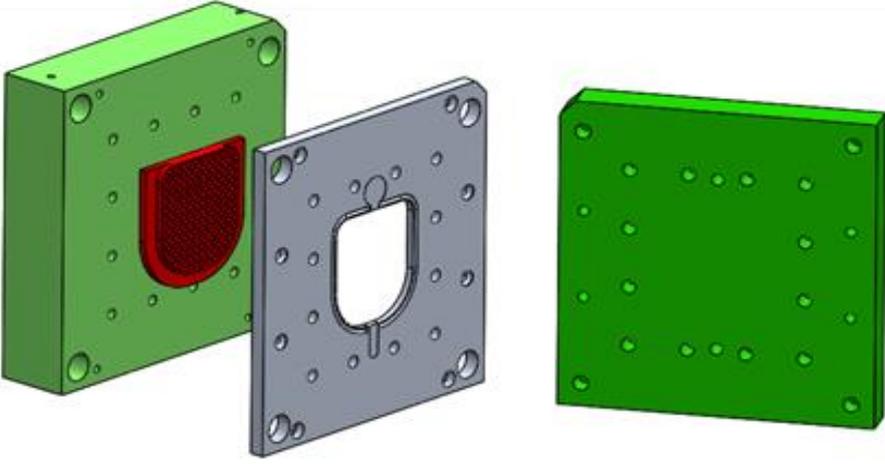
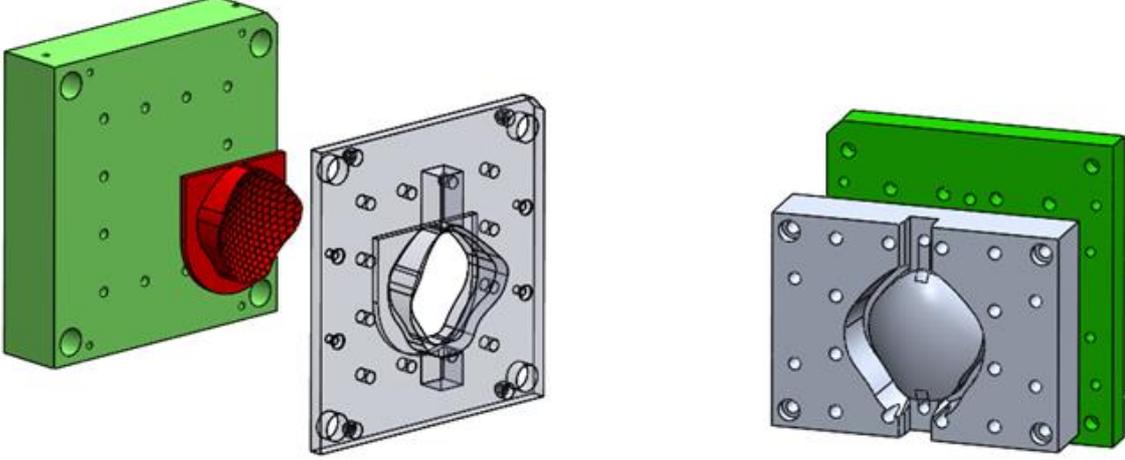
資料來源:本研究整理

3-3-2 共用模具設計

以下步驟利用 Solidworks 進行繪製設計，主採共用模具方式設計，將紋路入子預先以快速原型製作，放入母模定位固定，再將其射出導引流料板定位，再進行公模合模後實作射出成品。

- 步驟 1：先利用 solidworks 繪圖模擬，利用(#01 分割原理) 將成品模具拆成多件，並以(#10 預先作用原理)將用入子方式取代紋路區，可預先製作不同入子設計。如表 25 所示。

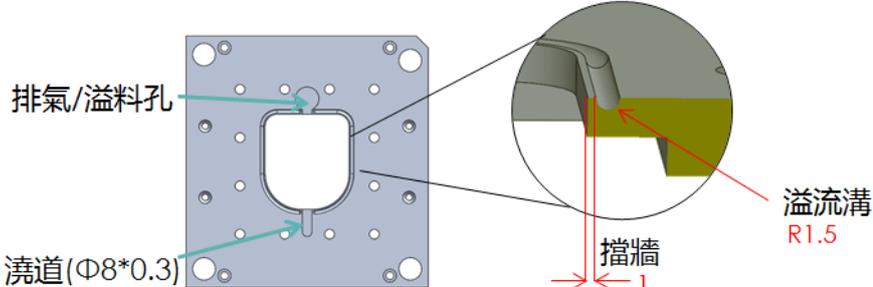
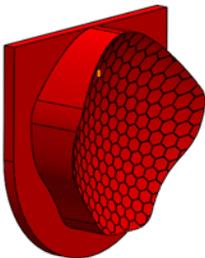
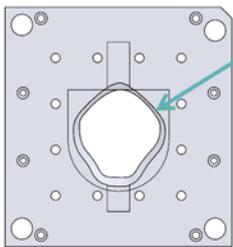
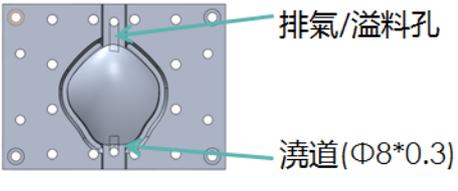
表 25：TRIZ 發明原則之設計概念圖 1

使用發明原則	改善設計方案
#01 分割	將模具拆成多件，採共用方式設計，以入子取代紋路區。
#10 預先作用	預先設計多款入子可用的共用模具。
設計概念圖	
<div style="text-align: center;">  <p>2D Texture 模具組成設計</p>  <p>3D Texture 模具組成設計</p> </div>	

資料來源:本研究整理

- 步驟 2：針對本實驗之樣本，以(#27 低成本、不耐用的物體，代替昂貴、耐用的物體原理)、(#28 機械系統的替代)、(#35 參數變化)法則，藉此提出 Texture 入子以 3D printer 製作，將其射出導引流料板改用鋁材替代模具鋼材，減少模具材料與加工成本。如表 26 所示。

表 26：TRIZ 發明原則之設計概念圖 2

使用發明原則	改善設計方案
#27 低成本、不耐用的物體 代替昂貴、耐用的物體	用 3D printer 製作入子，取代傳統鋼材模具，降低加工成本。
#28 機械系統的替代	用 3D printer 製作快速模具，取代機械加工傳統模具。
#35 參數變化	改變加工方式，以積層製造取代傳統減法加工。
設計概念圖	
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;">  <p>光固化入子</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>母模仁(鋁)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">2D Texture 設計</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;">  <p>光固化入子</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>母模仁(鋁)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>公模仁(鋁)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">3D Texture 模具組成設計</p> </div>	

資料來源:本研究整理

- 步驟 3：針對本實驗之樣本，繪製設計出模具大小尺寸為:201x212x130mm(3D module)及 201x212x130mm(2D module)。其設計如圖 33 所示。

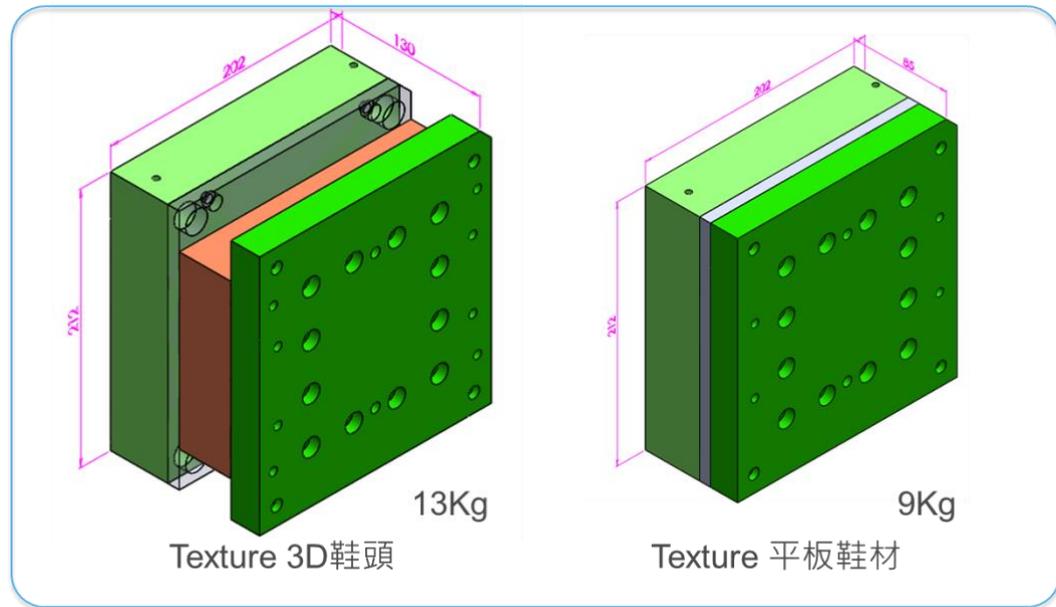


圖 33：共用模具設計

資料來源:本研究整理

- 步驟 4：本實驗模具之共用件為母模座與公模座，在母模座上有入子固定孔，可將其預先設計的入子固定，利用母模中導套引導公模導柱，以利公母模合模定位。其設計，如圖 34、35 所示。

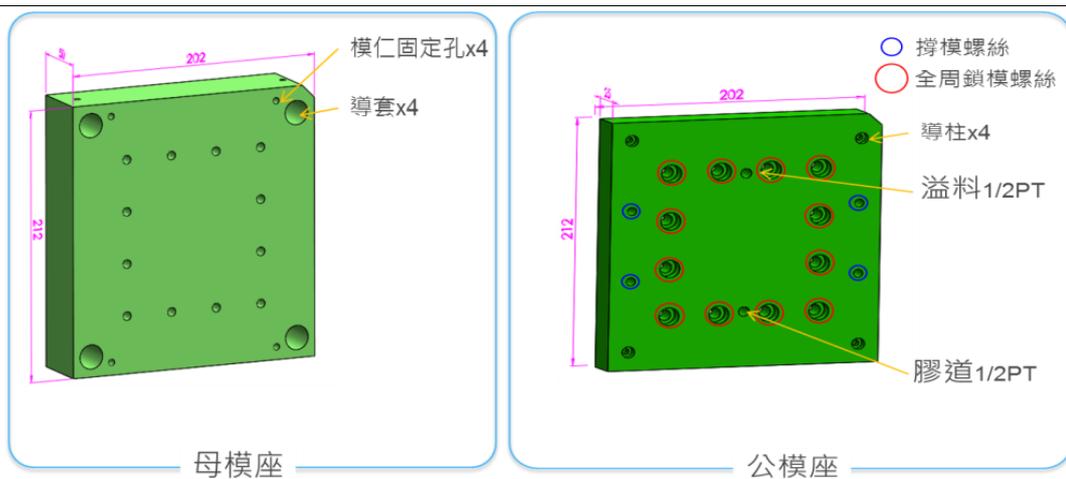


圖 34：共用模具設計之公母模座

資料來源:本研究整理

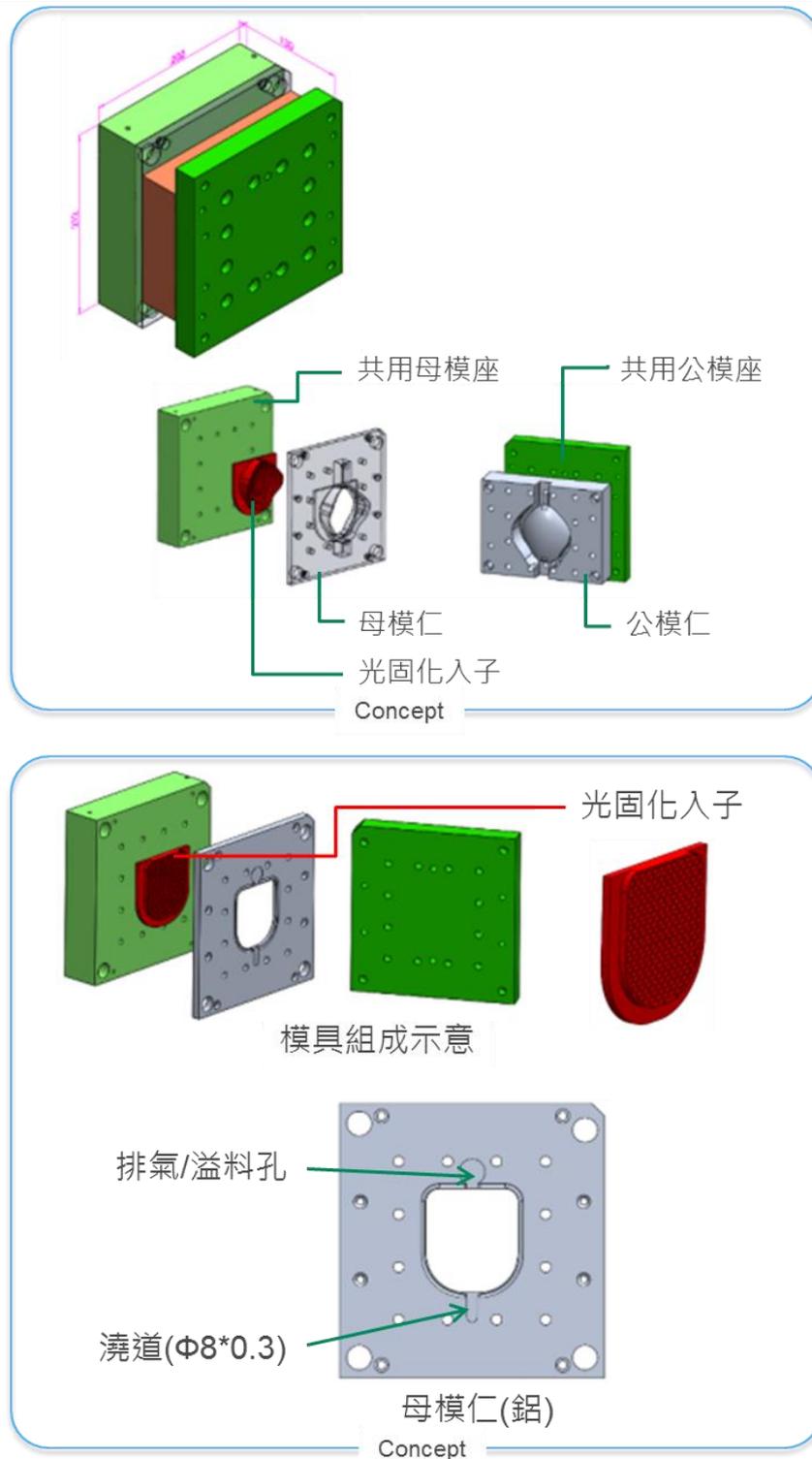


圖 35： 3D Texture 鞋材生產製程之替換式鋁模設計

資料來源:本研究整理

- 步驟 5: 用 Solidworks 將模具進行干涉檢查，並發包進行製作。

- 步驟 6: 將 Solidworks 建模的光固化入子，轉存為 STL 檔案，由 3D 切層軟體 (Autodesk Ember) 切割後存檔，放入 3D Printer 軟體中進行列印製作。

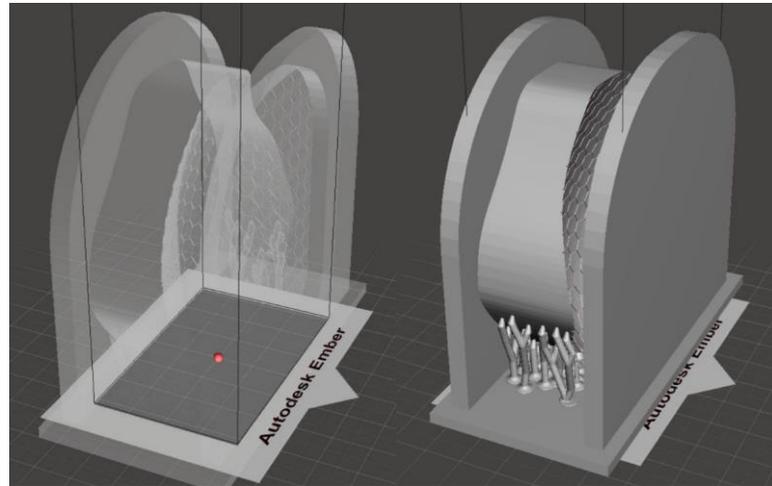


圖 36： Autodesk Ember 切層及建立支撐件

資料來源:本研究整理

第四章 實作與驗證分析

本研究將提出一種快速且又有效率的 3D Texture 鞋材打樣製程，採用 3D 列印入子替換傳統鋁模之模仁可行性。以最終射出 PU 鞋材紋理之樣本，且是否可符合開發時期客戶初期試樣品用量 5-10 模之可行性，來建構一個實驗實作來進行驗證。

本章將逐一說明所有研究及實作環境與執行細節，包含實驗所使用的設備與材料最終射出製作的成品驗證，實驗流程與實驗參數及數據的收集，最後進行後續的分析結果，並且與以往不同前例進行比較。



圖 37： 3D Texture 材料→切割→裝飾。(PU 皮革捲料)

資料來源：<http://www.flightclub.cn/news/a/sneaker/2014/1008/19947.html>

4-1 實驗設備

研究將使用不同光源之設備，分別為 Phrozen One (白光) 與 MiiCraft 125 (藍光)DLP 3D Printer 兩種快速成型機台；而在射出成型是採用反應射出成型(RIM)機台來進行實驗之研究。針對不同屬性的耐高溫光硬化樹脂進行製作並先將其初步測試篩選，後續實際進行鞋材的入子製作，並上實際機台射出成品，進行實驗結果相關判斷與分析。

4-1-1 3D Printer 快速成型機台

本研究所使用的兩種 3D Printer 機台規格，其主要差異為固化光源波長不同，一種是 400-680nm 可見光，另一種是 405nm 偏紫外可見藍光。由於光硬化樹脂成份中，對於光波長有固化快慢的差異。其快速成型打樣的主要優勢在於製作速度，縮短開發前期的打樣時間，設備光源將會是重要影響因素之一。

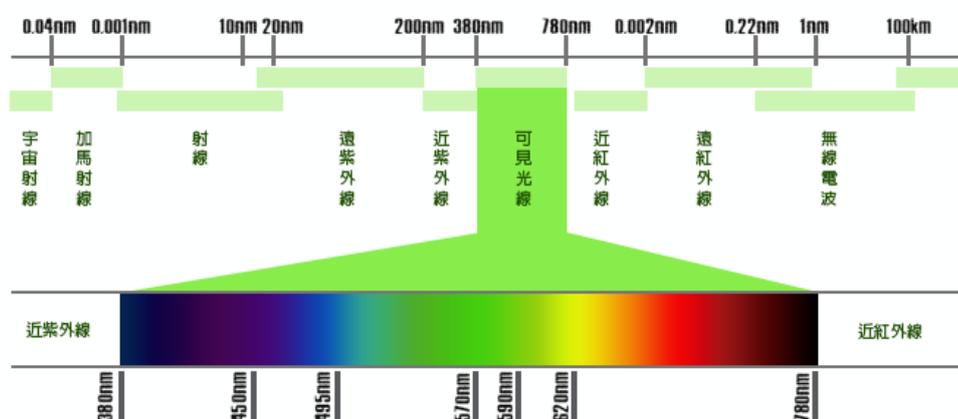


圖 38：光譜表

資料來源：<http://www.miicraft.com>

本研究選用 DLP 3D 列印機台的依據，以市面上較普遍的固化光源波段為白光與藍光為主要訴求。並由於實驗方便進行，在綠點高新科技的實驗室選擇現有機台，分別為 Phrozen One(白光)與 MiiCraft 125(藍光) DLP 3D Printer 來做驗證。

- (1) Phrozen One DLP 3D Printer：此固化光源為 DLP 設備，使用 Osram 高效能小型燈泡(波長為 400-680 nm)，最大列印範圍為 140 x 80 x H170 mm，其 XY 精度可達 75um。



圖 39：Phrozen One DLP 3D Printer

資料來源：<http://www.phrozen3dp.com>

(2) MiiCraft 125 DLP 3D Printer：是一款大型的通用設備，此固化光源也為 DLP 設備，但為 UV -LED（波長為 405 nm），最大列印範圍為 125 x 70 x H120 mm，其 XY 精度可達 65um。

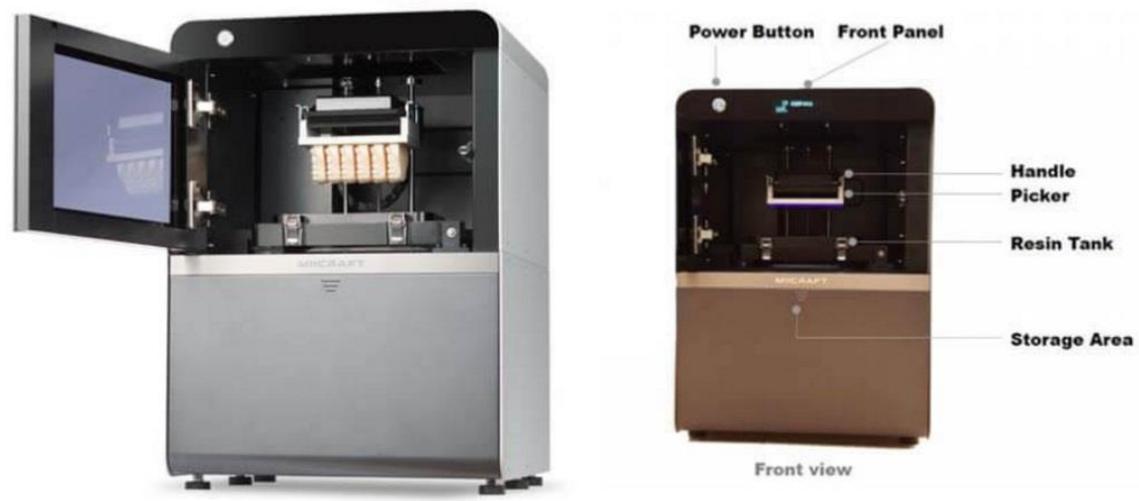


圖 40：MiiCraft 125 DLP 3D Printer

資料來源：<http://www.micraft.com>

以下是兩個機台的規格比較，如表 27 所示。

表 27：Phrozen One & MiiCraft 125 DLP 3D Printer 規格表

model	Phrozen DLP one	MiiCraft 125
Display panel	0.65" DarkChip™3DMD	DLP4710 (0.47") TI DMD
Resolution	1080p(1920x1080) Maximum WUXGA	1080p(1920x1080) 16:9
Lamp	Osram 高效能小型燈泡 400-680nm 白光	UV LED 405nm 藍光
Image Size	140 x 80 x H17mm / 75 μm	125 x 70 x H120 mm / 65 μm
解析度	35-75 μm	30-65 μm
切層層厚	0.02-0.2mm	0.05-0.2 mm
接受格式	. STL	. SLC、. ZIP (PNG)、. CWS、. MII
Optical Output Power	210W 110V	24V DC、3.75A 100~240V AC/2A、50 / 60Hz
外觀尺寸 / 重量	225 x 410 x 800 mm / 12 kg	430 x 430 x 590 mm / 36.5 kg
Photo		
售價	NT/5,6000	NT/45,0000

資料來源:本研究整理

4-1-2 反應射出成型機

反應射出成型(RIM), Reaction Injection Molding, 以 PSM90 高壓機為本實驗設備, 將兩種主物料與催化劑, 分別透過加熱降低其黏度, 在設備內進行循環以達到控制反應前狀態。射出時, 兩液體按照一定的比例通過計量泵, 以兩種主要物料加壓產生的能量, 再經過小口徑的噴嘴轉化成更高的動能相對噴射, 進行衝擊混合後, 緊接著注入模具中, 混合均勻的物料在模具中反應成型固化。如圖 41 所示。

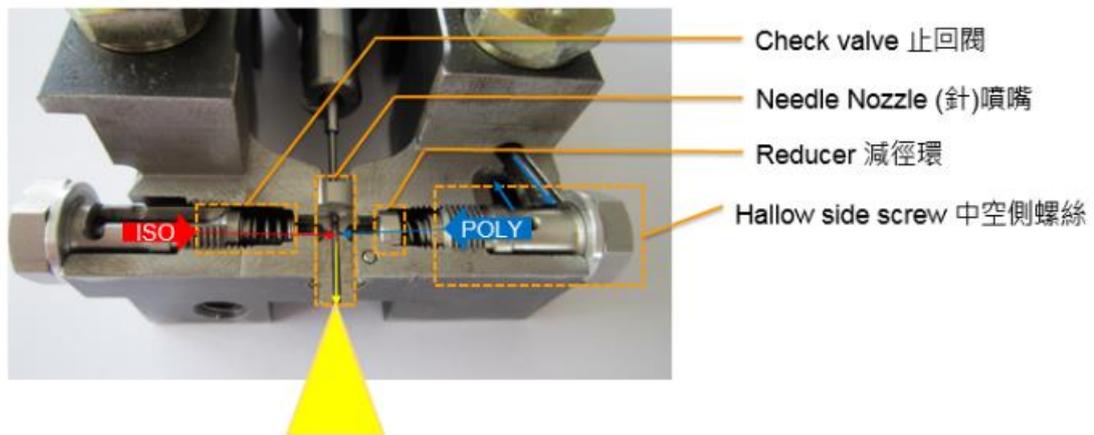


圖 41：混合頭切面圖

資料來源：<http://www.isothermasia.com>

PU RIM 屬於低溫低壓射出, 射出壓力最少 2 bar, 模內壓力最高只有 8bar, 所需模具夾持力低。由於 PU 射出在經雙劑化學反應過程中, 屬放熱反應, 所需的溫度低, 例如:料溫 20-90°C, 模溫 40-80°C 之間。

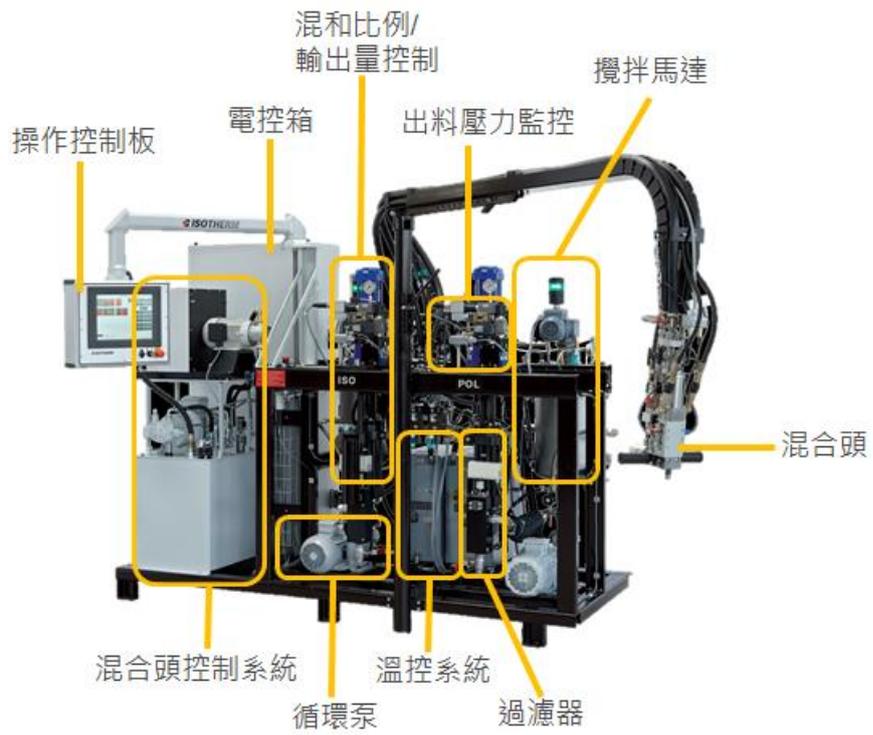


圖 42：Isotherm _ PSM90 反應射出成型機

資料來源：<http://www.isothermasia.com>

4-2 實驗材料

本實驗以一雙鞋所較常運用鞋材飾片之 PU 材料，作為最終射出試樣用料，並將 3D Texture 運用在鞋頭上，以及 2D Texture 運用在鞋身，作為本研究設計於同一共用模具的 3D 與 2D 樣本之可行性驗證。

4-2-1 射出成型材料

根據”Wiki”之描述(<http://wiki.mbalib.com/zh-tw/聚氨酯>)，射出成型塑膠原料(Polyurethane，PU)聚胺酯是指主鏈中含有胺基甲酸酯特徵單元的一類高分子。由異氰酸酯與多元醇反應製成的一種具有氨基甲酸酯鏈段重復結構單元的聚合物。聚氨酯(PU)既有橡膠的彈性，又有塑料的強度和優異的加工性能；而聚氨酯(PU)具有較高的物理機械性能，耐磨耗、耐溶劑性、硬度範圍廣，材質在高硬度上，仍能保持優異的回彈性能；此具有良好特性與多用途的熱塑性聚氨酯彈性體，可透過壓出成型、射出成型、吹塑成型等不同加工製程。其原料實際應用如下：

射出級：鞋材大底、運動鞋飾片、女鞋貼皮、機械零件、特殊護具...等。

吹塑級：運動鞋鞋墊、塑膠瓶、充氣用水帶、玩具...等。

壓出級：管材、薄膜、薄板...等。

本研究實驗因應鞋材飾片，採用 PU 液態雙料 A 劑與 B 劑材料，進行實驗製作之可行性驗證，其原料物理性質（詳細資料如附錄 F、G）。

4-2-2 入子材料

根據”南極熊 3d 打印網”之提供(<https://kknews.cc/zh-tw/tech/o2rx2o.html>)，在現今市售光硬化樹脂最常見的主基底分為兩大類：丙烯酸酯類和環氧樹脂類。就丙烯酸酯類是高分子單體與自由基光引發劑配合使用。而環氧樹脂類是高分子單體與離子光引發劑配合使用。

丙烯酸酯類經過光照後，該類引發劑產生自由基聚合反應形成高分子長鏈。自由基聚合反應的優勢在於其反應速度快，所需的固化時間較短。但自由基聚合反應受到氧氣的影響：自由基會與空氣中的氧氣發生反應，從而被消耗，導致聚合反應受阻。宏觀表現為，光固化樹脂固化後之表層未完全固化，會有手感粘黏。

至於環氧樹脂類經過光照後，該類引發劑產生離子聚合反應形成高分子長鏈。與丙烯酸酯類樹脂相比，其固化後有著更好的機械性能、溶劑抗性和熱穩定性。同時，離子聚合反應沒有氧阻聚效應，不會受到氧氣的影響，但會受到空氣中的水氣影響。且離子聚合反應的反應速度與自由基聚合反應相比較慢。故丙烯酸酯類樹脂固化後，會有 5 - 20% 的收縮；而環氧樹脂類只會用 1 - 2% 的收縮，固化後的翹曲變形會更輕微。

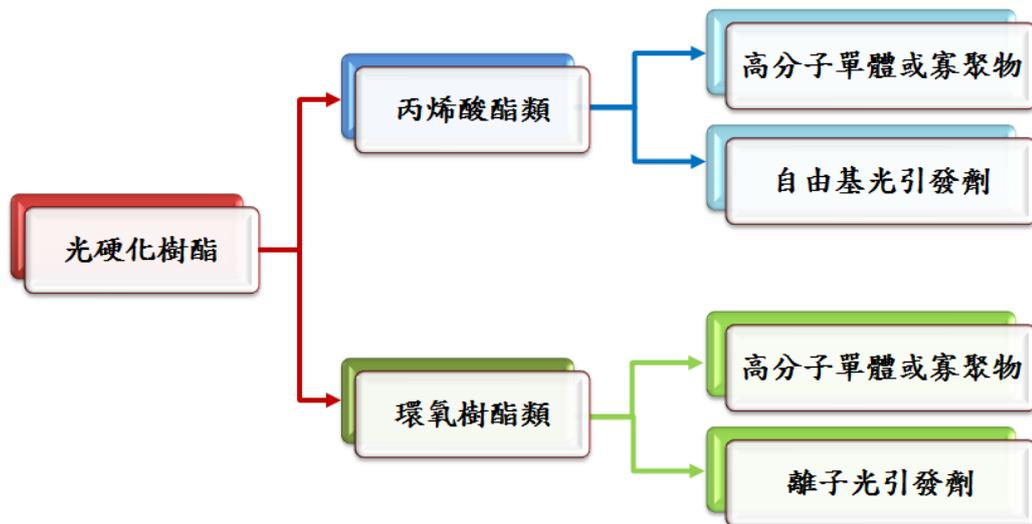


圖 43：光硬化樹脂之主基底分類

資料來源：<https://kknews.cc/zh-tw/tech/o2rx2o.html>

本實驗將光硬化樹脂製成快速模具之入子，其入子材質需求主要在於耐高溫且耐衝擊性能。而就目前市售的光硬化樹脂常見兩大分類，以材料物性表的熱變形溫度來做初步簡單材質耐溫篩選（如表 28 所示），再由詢問過材料專家之建議，採用 Carbon 環氧樹脂類兩種材料進行實驗驗證，以減少固化後的收縮率與變形量。其次避免樹脂中因成份組成與後處理等複雜變異性，本實驗材料將採用統一選定同一供應廠商 Carbon 所售的光固化樹脂進行實驗。

表 28：光硬化樹脂材料特性比較表

項目 \ 類別	丙烯酸酯類	環氧樹脂類
極限拉伸強度(MPa)	46±3	88±3
硬度 (Shore D)	86	90
彈性係數 (MPa)	2000±100	3140±105
衝擊強度 (J/m)	496±141	291±48
熱變形溫度 (°C)	51	140

資料來源：<https://www.carbon3d.com/materials/>

由於環氧樹脂類的熱變形溫度較高，故選其材料與改質性材料進行本實驗實作測試比較，試圖找尋出更適合的材料，以利應用在簡易模具中的替換入子上。

- (1) 入子材料 1：是 Carbon EPX 81 光硬化樹脂，其主成分為環氧樹脂，此有 140°C 的熱變形溫度和耐磨性優異，是市場上 Carbon 中具高強度剛性且最精確的材料。材料性質如表 29 所示(詳細資料如附錄 D)。

表 29：Carbon EPX 81 樹脂材料性質

項目 \ 型號	EPX 81
密度 (g/cm ³)	1.187 g/cm ³
斷裂伸長率 (%)	5.2±0.7%
硬度 (Shore D)	90
熱變形溫度 @ 0.45 MPa/66 psi, ASTM D648	140°C
熱變形溫度 @ 1.82 MPa/264 psi ASTM D648	131°C
熱膨脹係數 (60, 130 °C), ASTM E831	93 ppm/°C

資料來源：<https://www.carbon3d.com/materials/>

根據” carbon3d “之提供(<http://www.carbon3d.com/materials/ce-cyanate-es>)，EPX 81 材料的耐磨性較為優異，其材料特性較相似於電連接器製造中，常用的玻璃填充 PBT 機械性能。EPX 81 經實驗測試在拉伸斷裂前能承受超過 85MPa 的強度與剛度應力。

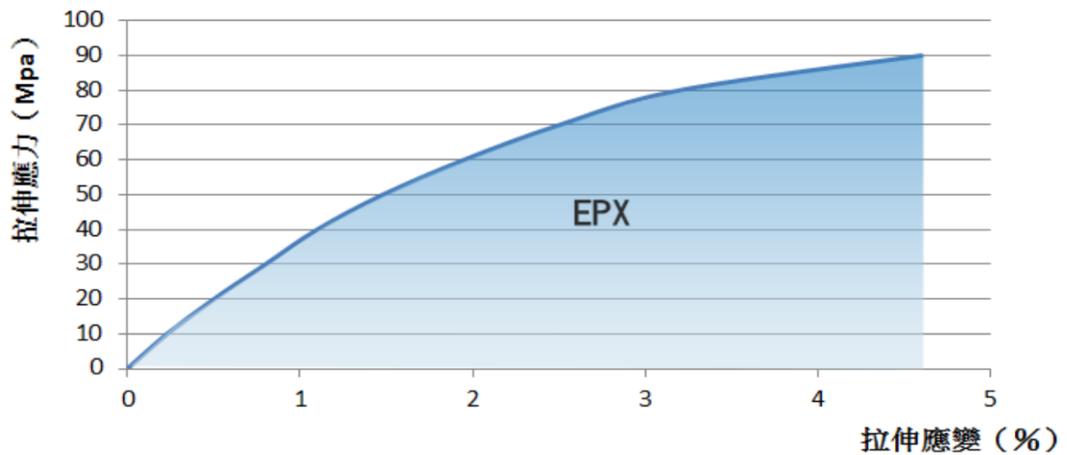


圖 44：EPX81 光硬化樹脂之機械性能表 資料來源：<http://www.carbon3d.com/materials/epx-epoxy>

入子材料 2：是 Carbon CE 221 光硬化樹脂，其主要成分為氰酸酯，是一種改性環氧樹脂材料。其複合性樹脂具有優異的力學性能，且此材料具有耐高溫特性為 231°C 的熱變形溫度，目前市售上在耐高溫特性上表現較為優異的，CE 221 具長期耐熱穩定性且高強度剛性的材料。材料性質如表 30 所示(詳細資料如附錄 E)。

表 30：Carbon CE 221 樹脂材料性質

項目	型號	CE 221
密度 (g/cm ³)		1.210 g/cm ³
斷裂伸長率 (%)		3.3±0.8%
硬度 (Shore D)		92
熱變形溫度 @ 0.45 MPa/66 psi, ASTM D648		231°C
熱變形溫度 @ 1.82 MPa/264 psi ASTM D648		201°C
熱膨脹係數 (100, 180 °C), ASTM E831		90 ppm/°C

資料來源：<https://www.carbon3d.com/materials/>

根據” carbon3d “之提供(<http://www.carbon3d.com/materials/ce-cyanate-es>)，其 CE221 的材料性能具有熱穩定性和耐化學性，相似於 14% 的玻璃填充尼龍。CE221 經實驗測試在拉伸斷裂前能承受超過 100 MPa 的應力。

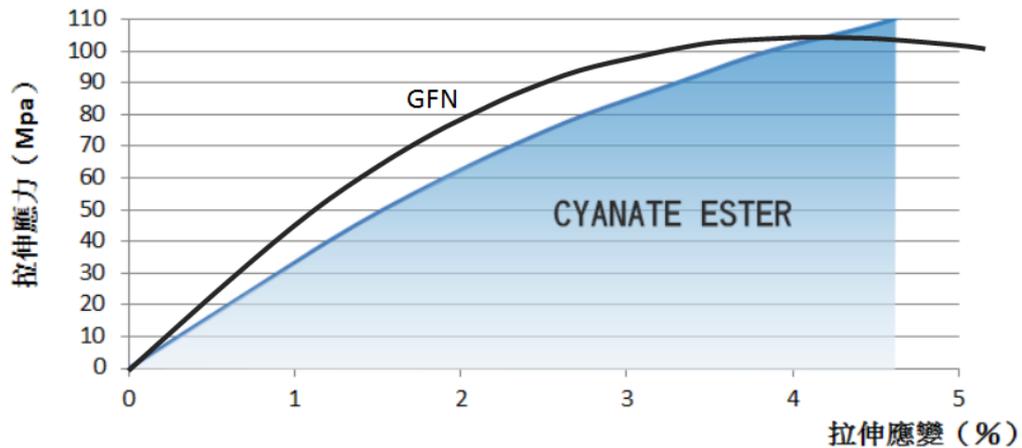


圖 45：CE 221 光硬化樹脂之機械性能表

資料來源：<http://www.carbon3d.com/materials/ce-cyanate-es>

4-3 量測設備

本研究所提出 3D 列印的替代式入子，為探討使用 3D 列印出來的入子之可行性及 PU 成品表面轉寫率，其驗證方法之量測工具，選用光學影像測量儀、3D 雷射共軛聚焦量測儀，判斷入子的表面形貌與粗糙度現象，以及量測射出成品的表面粗糙度檢測其轉寫性之品質。

4-3-1 JMT2010 光學影像測量儀

本研究所運用的工具影像量測儀來量測之輪廓表面尺寸，並探討製程前後之尺寸變化。如圖 46 所示，係為精實盟科技之影像量測儀(JMT2100)，機台採用連續式可調 LED 冷光源的底光和表面光方式打光，投射到量測物體上。其具有完善的自動導邊界去毛邊

功能，能有效減少人為誤差。研究中，主要用於 3D 列印入子初步檢測，檢測其尺寸精度，形狀缺陷毛邊與磨耗等問題，詳細規格表可參考，表 31 所示。



圖 46：JMT2100 光學影像測量儀

資料來源：精實盟科技 提供

表 31：JMT2100 光學影像測量儀之規格表

項目	型號	JMT2100
測量行程範圍 XYZ (mm)		200 x 100 x 200 mm
測量精度 (um)		3.0+L/150 um
光柵尺解析度 (um)		1um 三軸光學尺
攝像機		1/3" 彩色 CCD
鏡頭		0.7X-4.5X 手動連續變倍
總放大倍率		18X-120X
測量物件重量,Max (kg)		18 kg

資料來源：精實盟科技 提供

4-3-2 VK9700 激光共軛聚焦量測儀

為了使驗證量測準確性，本研究採用 VK9700 的 3D 激光 408nm 共軛聚焦功能進行表面粗糙度量測。如圖 47 所示，係為 Keyence 台灣基恩斯公司之影像量測儀(VK9700)，機台集結了共軛聚焦儀，SEM，粗糙度儀的功能於一機，可高解析度觀察其列印出入子的表面粗糙度 Ra 值，進行翻模後再次量測，以使用轉寫率驗證比較分析。儀器詳細規格表可參考，表 32 所示。



圖 47：VK9700_3D 激光共軛聚焦量測儀

資料來源：Keyence 台灣基恩斯 提供

表 32：VK9700 3D 激光共軛聚焦測量儀之規格表

項目	型號	VK9700
測量掃描範圍 (Pixels)		2048 x 1536
測量精度 (um)		0.014 um
激光波長 (nm)		408nm (紫激光)
總放大倍率		200X－18,000X
測量物件重量,Max (kg)		5 kg/H=28mm

資料來源：Keyence 台灣基恩斯 提供

4-4 實驗實作製程

4-4-1 機台解析度測試

首先在 Phrozen One & MiiCraft 125 DLP 3D Printer 兩種不同波長的快速成型機台，以 Carbon 所售的 EPX 81 與 CE 221 光硬化樹脂兩種材料，進行列印簡單的測試塊，其列印完成品以目視來觀看其入子個別的成形精緻度，以判別兩種機台的解析度差異與列印打樣速度，做為後續 3D 列印機台選定。

用 Solidworks (2015 版本)3D 軟體繪製 5cm x 4cm x 1cm 之立方體測試塊。方體頂面上繪製如下：

- (1)圓洞與圓柱各為 9 個，尺寸為 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0mm。
- (2)長方孔與正方柱各為 9 個，尺寸為 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0mm。
- (3)凹型與凸型文字各為 3 組。型態與元素排列如圖 48 所示。

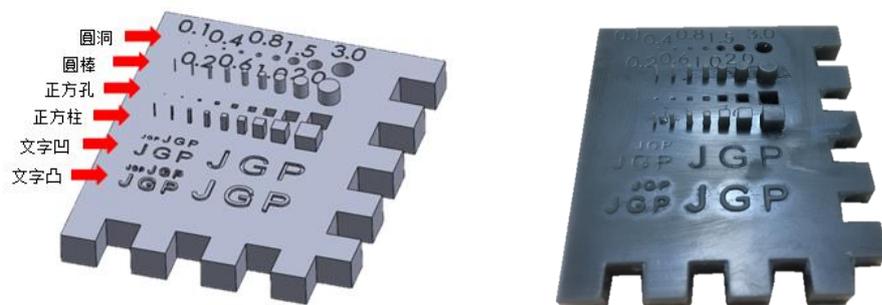


圖 48：入子材料選定初步測試塊之 3D 圖

資料來源：本研究整理

分別用 Phrozen One & MiiCraft 125 DLP 3D Printer 兩台列印，個別列印兩種 EPX 81 與 CE 221 光硬化樹脂兩種材料。精緻度以最後可列印出完整成品大小之判定。

表 33：機台 Phrozen One 之材料精緻度測試結果

項目	機台 Phrozen One / 樹脂 EPX 81& CE 221								
大小	3	2	1.5	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
圓洞	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG	NG
圓柱	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG	NG
正方洞	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG	NG
正方柱	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG	NG
文字寬度	0.48	0.32	0.19	0.1					
JGP 凹	OK	OK	NG	NG					
JGP 凸	OK	OK	NG	NG					

以機台 Phrozen One 列印樹脂 EPX 81& CE 221 兩種材料，其特徵精緻度 OK 者多落在為 0.6mm，文字部分則為 0.32mm，兩種材料精緻度沒有差異。

表 34：機台 MiiCraft 125 之材料精緻度測試結果

項目	機台 MiiCraft 125 / 樹脂 EPX 81& CE 221								
大小	3	2	1.5	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
圓洞	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
圓棒	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
正方洞	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
正方柱	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
文字寬度	0.48	0.32	0.19	0.1					
JGP 凹	OK	OK	OK	NG					
JGP 凸	OK	OK	OK	NG					

資料來源：本研究整理

以機台 MiiCraft 125 列印樹脂 EPX 81& CE 221 兩種材料，其特徵精緻度 OK 者多落在為 0.4mm，文字部分則為 0.19mm，兩種材料精緻度沒有差異。

機台精緻度測試結果之小結：

就初步以兩種樹脂 EPX 81&CE 221，不論在使用 Phrozen One 或 MiiCraft 125 DLP

3D Printer 機台列印，所目測出兩種材料在同一機台所列印成型精緻度沒有明顯差異，在此初步測試先行忽略樹脂篩選比較。但採用 JMT2010 光學量測儀進行量測觀察之總結果(表 35 所示)可明顯看出機台 MiiCraft 125 列印精度較為優，其機台 Phrozen One 列印精度稍微略差，其觀測精緻度比較如下：

在測試塊之圖形：MiiCraft 125 最小精細度為 0.4mm；Phrozen One 最小精細度為 0.6mm。

在測試塊之文字：MiiCraft 125 文字寬度 0.19mm；Phrozen One 文字寬度 0.32mm。

表 35：3D 列印機台精緻度測試比較結果總表

列印機台	光敏樹脂	圖形_凸	圖形_凹	文字_凸	文字_凹
MiiCraft 125	EPX 81	0.4mm	0.4mm	0.19mm	0.19mm
	CE 221	0.4mm	0.4mm	0.19mm	0.19mm
列印機台	光敏樹脂	圖形_凸	圖形_凹	文字_凸	文字_凹
Phrozen One	EPX 81	0.6mm	0.6mm	0.32mm	0.32mm
	CE 221	0.6mm	0.6mm	0.32mm	0.32mm

4-4-2 機台列印速度測試

在速度上，單以 EPX 81 所列印測試塊 5 公分樣品的高度，所需花費列印時間，MiiCraft 125 機台比 Phrozen One DLP 機台足足快了約 6 倍，明顯快很多。如圖 49 所示。

 <p>測試條件</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 光源:UV LED (405nm) ➢ 成品高度: 12.7 cm ➢ 切層厚度: 100um ➢ 光敏樹脂: Carbon- EPX 81料 ➢ 曝光時間: 2 sec ➢ 單層移動時間: 1 sec ➢ 列印時間: 64 min <p>MiiCraft125 DLP 機台</p>	 <p>測試條件</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 光源:Osram高效能小型燈泡 (全光) ➢ 成品高度: 12.7 cm ➢ 切層厚度: 100um ➢ 光敏樹脂: Carbon- EPX 81料 ➢ 曝光時間: 5sec ➢ 單層移動時間: 12sec ➢ 列印時間: 360 min <p>Phrozen DLP 機台</p>
---	--

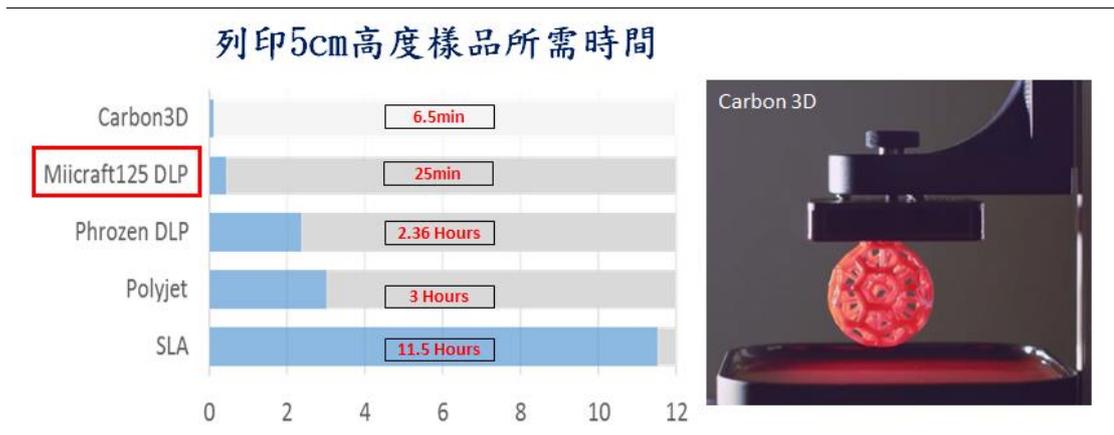


圖 49：Carbon EPX 81 樹脂_光固化列印成品之速度比較 資料來源：本研究整理

接下來針對 TRIZ 創新法則之設計概念中，分別以 3D 與 2D 的鞋材 Texture 為實驗入子，採用 Carbon 的 CE 221 樹脂和 EPX 81 樹脂，以列印最優的實驗參數條件下列印製作，測試兩台快速成形機台的打樣速度，進行比較之差異性。

光固化列印所花費的時間，決於列印工件的高度與切層精度，本研究不論是 3D 與 2D 的鞋材 Texture 為實驗入子，其總高度都是一樣的，故列印時間沒有差異。

Project name 光固化入子製作						
Technology	Machine	Layer Height (um)	Exposure (ms)	Base Layer Number	Base Exposure (ms)	Time
	Phrozen DLP	100	6000	5	10000	4:12:31
	MiiCraft 125 DLP	100	1500	5	6000	0:53:12
Photo						
		Texture 平板鞋材	Texture 3D鞋頭	Texture 平板鞋材	Texture 3D鞋頭	

圖 50：Carbon EPX 81 樹脂光固化入子列印成品速度之比較 資料來源：本研究整理

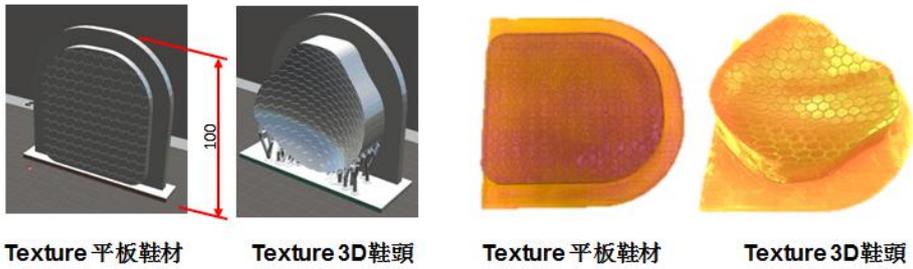
Project name 光固化入子製作						
Technology	Machine	Layer Height (um)	Exposure (ms)	Base Layer Number	Base Exposure (ms)	Time
	Phrozen DLP	100	8000	5	50000	5:13:12
	MiiCraft 125 DLP	100	2000	5	8000	1:01:21
Photo						

圖 51：Carbon CE 221 樹脂光固化入子列印成品速度之比較 資料來源：本研究整理

機台篩選測試結果(如圖 50、51 所示)：

以所售的 EPX 81 與 CE 221 光硬化樹脂兩種材料，使用 MiiCraft 125 機台進行打樣列印，在速度上確實明顯的比 Phrozen One DLP 機台快很多，由此可驗證出，光固化樹脂雖然可用在白光固化，但反應速度香較慢了許多，未來使用還是需要搭配適合的光波長光源固化，列印速度才會有實質效益，此 MiiCraft 125 機台在此較符合本研究快速製造成型之訴求，故以此結果選定 MiiCraft 125 為後續實驗的快速列印機台。

4-5 實驗驗證

此驗證方法為：實際列印出入子並確實置放於'PU 成型射出機測試。本研究測試兩種材質之入子能承受翻模之次數，進而量測入子與 PU 成品表面粗糙度 Ra 值變化與特徵之轉寫率。佐證此實驗方向之可行性。

4-5-1 耐久度測試

以 2D 的鞋材 Texture 入子作為實驗驗證之樣本，如圖 52。採用 Carbon 的 EPX 81 和 CE 221 兩種樹脂，使用 MiiCraft 125 機台採列印最優的實驗參數條件下，列印製作射出模具之光固化入子，進行 PSM90 反應射出成型機測試可行性之探討。



圖 52：2D 的鞋材 Texture 入子列印出作為實驗驗證之樣本

資料來源：本研究整理

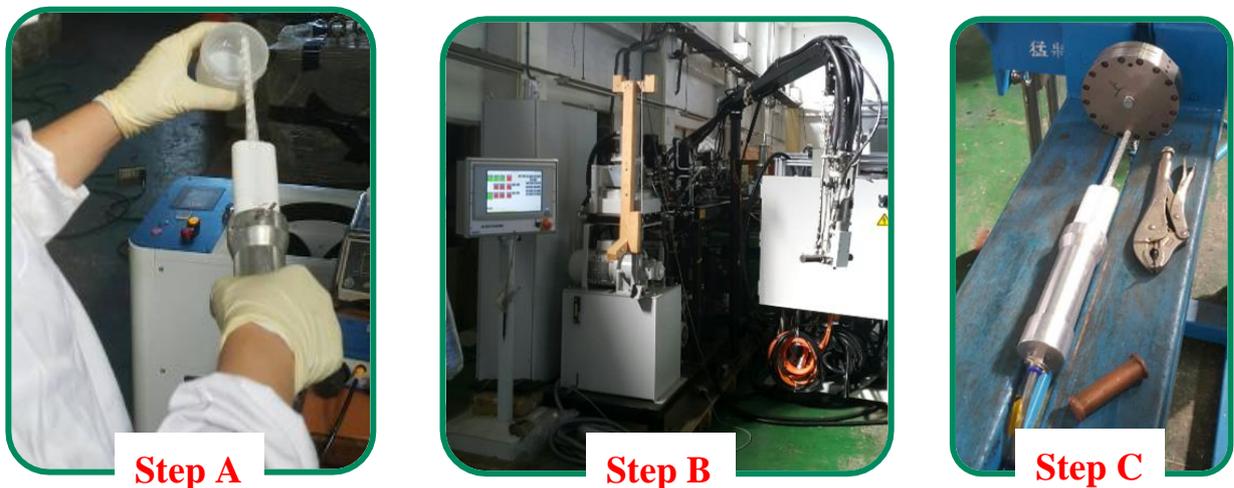


圖 53：2D Texture 入子進行上機射出成品測試步驟

資料來源：本研究整理

射出 PU 料之翻模過程：

1. 因 PU 混料機出料有無法排除的氣泡問題。依照經驗參數氣泡分布為（前 60% / 中 15% / 後 25%），如圖 53 中 Step A 所示。

2. PU 混料後須先進行脫泡，現行方法採取料用衛星離心機混合脫泡(單模劑量)，進行機台內自動脫泡(時間 30+30 分鐘，共 60 分鐘)。如圖 53 中 Step B 所示。
3. 進行實際射出為氣動點膠機室溫慢速擠出(由下往上)入模具中，如圖 53 中 Step C 所示。
4. 機台射料靜止，等待模內 PU 混料固化反應完成。
5. 由模具頂針將其 PU 成品下料完成翻模樣品。

表 36： isotherm_PSM90 反應射出成型機之 PU 混料參數

機台型號	塑料	射壓	射速	固化時間	Cycle time
isotherm _ PSM90	A 劑_670BA	120 (bar)	12-35(g/s)	2min	3min
	B 劑_N3300				

資料來源：本研究整理

入子篩選測試結果：

以 EPX 81 光硬化樹脂所製作的入子，進行 PSM90 反應射出成型機上實驗射出，在第 1 模射出時，因為入子承受不住射壓而產生龜裂。如圖所示。故此料不適用於作為射出模具之入子材料使用。如圖 54 所示。



圖 54： EPX 81 樹脂所製作的入子測試射出_第 1 模龜裂

資料來源：本研究整理

以 CE 221 光硬化樹脂所製作的入子，進行 PSM90 反應射出成型機射出成形實驗，在第 16 模射出時，入子背面出現有龜裂，以此料的實驗過程中之完成樣品，做為本研

究實驗之驗證樣本。如圖 55 所示。



圖 55：CE 221 樹脂所製作的入子測試射出_第 16 模龜裂

資料來源：本研究整理

表 37：EPX81 與 CE221 光硬化樹脂之射出成型耐久性測試比較表

光敏樹脂	主成分	熱變形溫度	耐久性次數
EPX 81	環氧樹脂	140	0
CE 221	氟酸酯	231	15

資料來源：本研究整理

其射出模具中的 EPX81 與 CE221 光硬化樹脂之入子耐久性，可產出 15 模有效樣品，如表 37 所示。此模數有達到開發期間所需之樣品數量需求。代表以現階段光硬化樹脂採用 CE221 較為適當。

4-5-2 入子表面粗糙度量測

針對本研究之實作射出紋理 PU 料成品，以紋理箭頭特徵在共軛聚焦儀下，進行表面粗糙度 Ra 值量測，以判定光硬化入子使用射出成形之可行性。

以 Carbon 的 CE 221 樹脂，所列印製作射出模具之光硬化入子，進行上機台射出耐久性測試。並利用以 VK9700 進行量測每次射出成形後的表面粗糙度數值，量測點如 56 圖下所示。

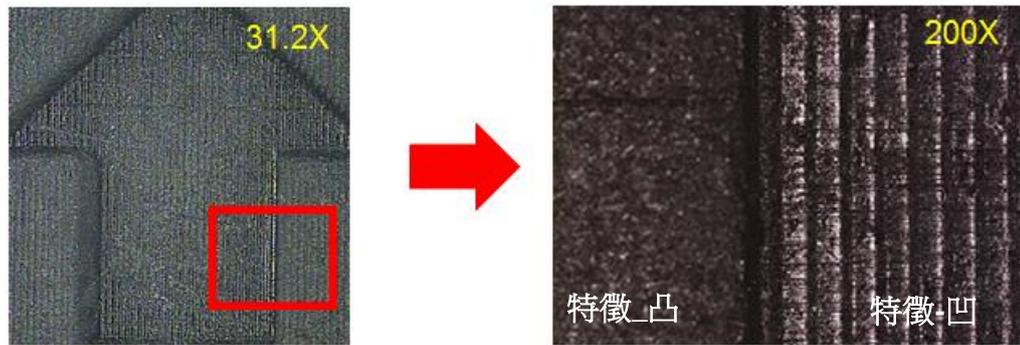


圖 56：微觀量測 CE 221 樹脂所製作的入子

資料來源：本研究整理

為了避免量測位置有所差異，故配合模具之入子上表面微特徵-箭頭的右下方，作為量測基準進行量測工作，分別量測左邊(特徵-凸)及(右邊特徵-凹)，以減少量測時的不確定性，其量測所得數據，如表 38 所示。

表 38：本研究快速模具射出之實驗入子驗證表面粗糙度 Ra 數據表

機台 PSM90 反應射出成型機 / 樹脂 CE 221											
射出次數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
表面_凸 粗糙度 Ra(um)	9.295	9.827	10.423	11.604	12.148	11.730	12.381	12.450	13.311	13.292	15.846
表面_凹 粗糙度 Ra(um)	9.694	10.106	11.755	11.391	12.076	12.127	12.519	13.087	14.073	14.114	15.952
可行性	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○
射出次數	11	12	13	14	15	16					
表面_凸 粗糙度 Ra(um)	15.122	16.341	25.174	31.015	32.768	34.583					
表面_凹 粗糙度 Ra(um)	16.271	17.891	19.101	23.412	28.307	36.144					
可行性	○	○	○	○	○	X					

資料來源：本研究整理

透過 VK9700 共軛聚焦儀觀察到，在陸續進行射出時，光硬化入子的表面特徵，會慢慢被磨耗沖刷變成平緩，其表面會因 PU 射出塑膠料高溫的影響，出現沾黏粗糙面，進而影響轉寫性的表現。

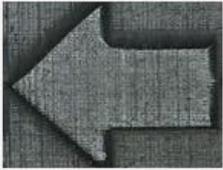
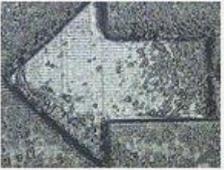
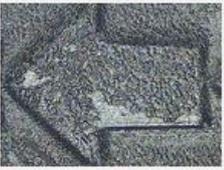
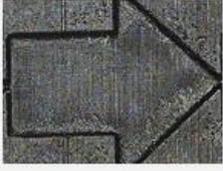
可行性判別	◎	○	X
表面特徵_凸			
表面特徵_凹			

圖 57：觀察 CE 221 樹脂所製作的入子之耐久性比較

資料來源：本研究整理

CE221 入子由快速成型列印完成時，其表面粗糙度為(凸_9.295um/凹_9.694um)。當每次射出後表面，會與 PU 塑料再融溶狀態下接觸並產生形貌變化，因而直接影響著表面 Ra 值的變化。當第一模到第六模時，表面粗糙度由(凸_9.827um/凹_10.106um)上升到(凸_12.381um /凹_12.519um)。再者第七模到第十五模，表面粗糙度產生較大變化 Ra 由(凸_12.450um /凹_13.087um)升到(凸_32.768um /凹_28.307um)，並同時觀察 PU 成品表面仍是在初期打樣時可以接受的範圍內。最後第十六模時 Ra 值也到達了(凸_34.583um / 凹_36.144um)，入子表面特徵已經產生平緩模糊及裂痕。此時入子壽命也到了極限。

4-5-3 PU 成品表面粗糙度量測

以射出 PU 塑料所製作之翻模完成品。並利用以 VK9700 進行每次射出成形樣品的表面粗糙度數值量測，並與其入子表面粗糙度進行比對，以判定 PU 料翻模的轉寫率。

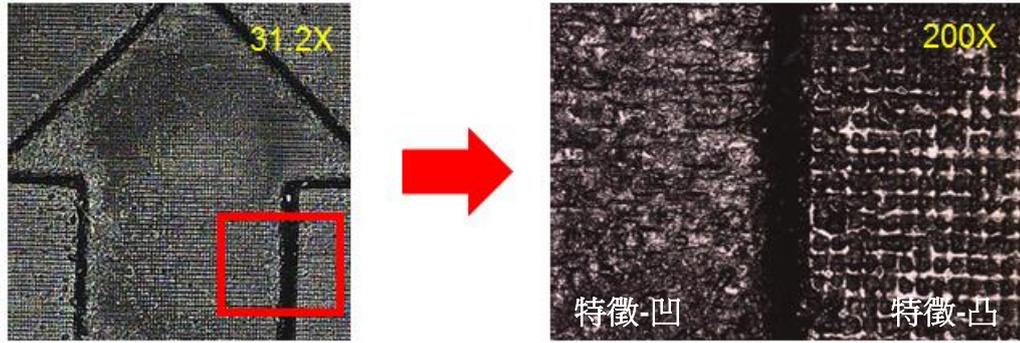


圖 58：微觀量測射出 PU 料所翻模製作成品

資料來源：本研究整理

為了避免量測位置有所差異，故配合翻模後 PU 料上表面微特徵-箭頭的右下方，作為量測基準進行量測工作，分別量測左邊(特徵-凹)及右邊(特徵-凸)，以減少量測時的不確定性，其量測所得數據，如表 39 所示。

表 39：本研究快速模具射出之實驗 PU 翻模成型品驗證數據表

機台 PSM90 反應射出成型機 / PU 料											
射出次數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
表面_凸 粗糙度 Ra(um)	N/A	8.375	8.987	10.821	10.938	10.086	10.506	10.939	11.156	11.893	13.943
表面_凹 粗糙度 Ra(um)	N/A	9.173	9.566	10.001	10.982	10.689	11.44	12.081	12.74	12.338	14.3
射出次數	11	12	13	14	15	16					
表面_凸 粗糙度 Ra(um)	12.136	13.955	22.742	29.253	30.819	33.497					
表面_凹 粗糙度 Ra(um)	14.455	15.421	17.787	19.018	26.781	34.658					

資料來源：本研究整理

相同情況在透過共軛聚焦儀觀察到，不同射出次數的翻模 PU 料表面特徵，會因為光硬化入子慢慢被磨耗沖刷變成平緩，其表面特徵的轉寫性會逐漸不佳，出現沾黏粗糙面，進而影響表面粗糙度的數值。

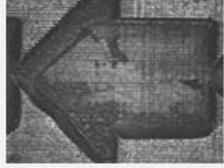
可行性判別	◎	○	X
表面特徵_凸			
表面特徵_凹			

圖 59：觀察 PU 料射出翻模所製作的成品之可行性比較

資料來源：本研究整理

利用 CE221 入子所射出來的 PU 成品模，樣品可達 16 模。當 PU 料第一模翻出表面 Ra 值還有(凸_8.375um /凹_9.173um)，但當經過翻模次數越多，PU 表面 Ra 值也跟著提升，當第十六模時 Ra 值已經到了(凸_33.497um /凹_34.658um)，此 PU 成品表面也就沾黏著光固化入子熔融剝落之樹脂。

4-5-4 快速模具之入子轉寫率

在未進行射出機台翻模時，先利用 VK9700 共軛聚焦儀進行量測光硬化之入子的表面特徵的斷差，以此為最主要 PU 射出翻模成品的轉寫率基準，在共軛聚焦儀下，可清楚看到表面特徵有明顯的高低差，整個箭頭的幾何形狀邊緣較為銳利。如圖 60 所示。

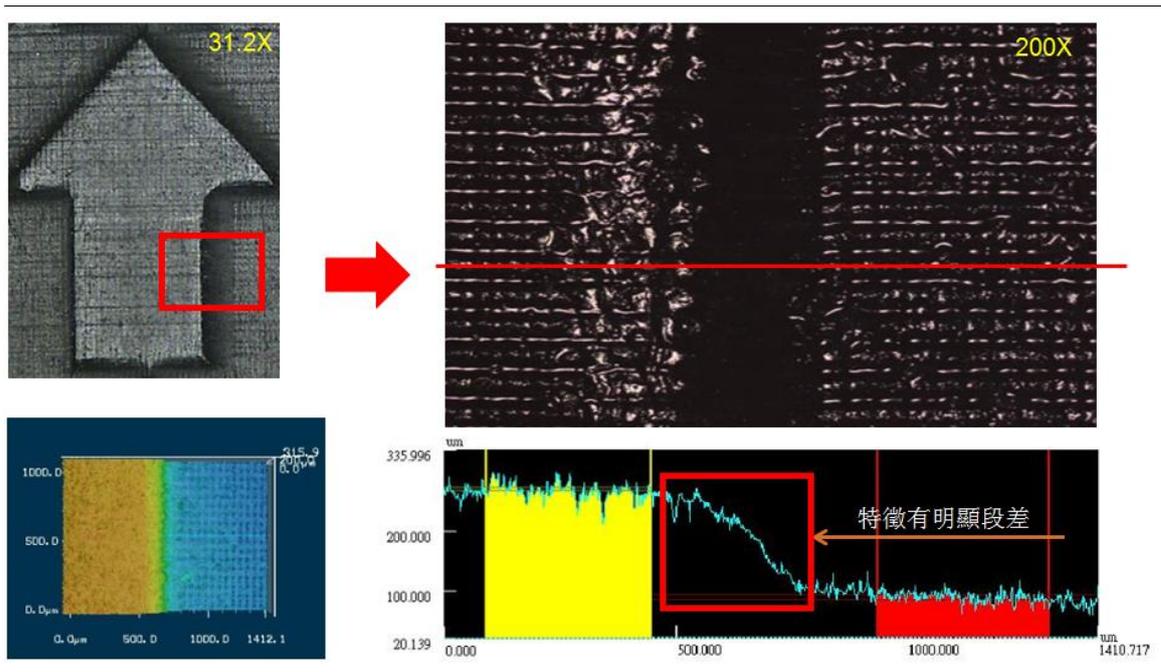


圖 60：觀察光硬化入子之射出前表面特徵

資料來源：本研究整理

經過射出機台陸續翻模至光硬化入子出現裂痕時，再利用 VK9700 共軛聚焦儀進行量測光硬化之入子的表面特徵的斷差，以此經過 15 次翻模射出後，在共軛聚焦儀下，可清楚看到表面特徵的高低差已被磨耗呈現平緩，整個箭頭的幾何形狀邊緣較為模糊不銳利，其表面粗糙度也趨近變大。如圖 61 所示。

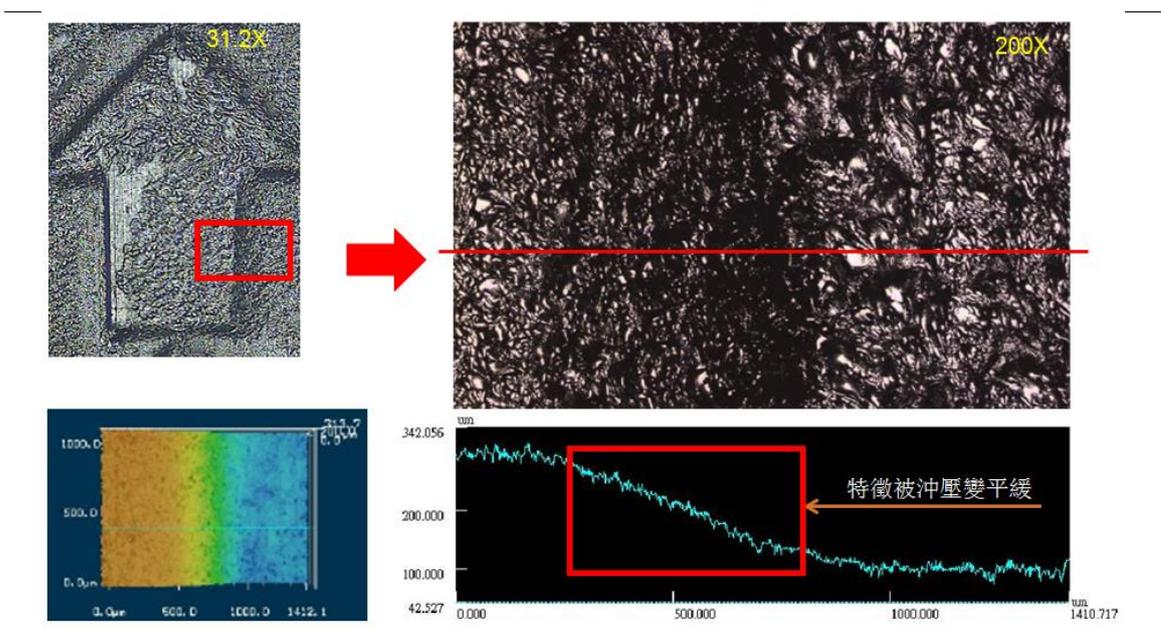


圖 61：觀察光硬化入子經過射出 16 後表面特徵變化

資料來源：本研究整理

以 VK9700 共軛聚焦儀量測其射出翻模的 PU 料成品，觀察量測其表面特徵的轉寫率。分別看以轉寫率好壞之表面微觀形貌以及量測特徵斷差之數據。在共軛聚焦儀量測下，可觀看出，其 PU 成品在首次射出翻模的轉寫率為複製表面之成品為 97.2%，明顯看出表面之形貌的完整性及邊緣銳利度較為平整完好，表面特徵的紋理清楚一致，如圖 62 所示。

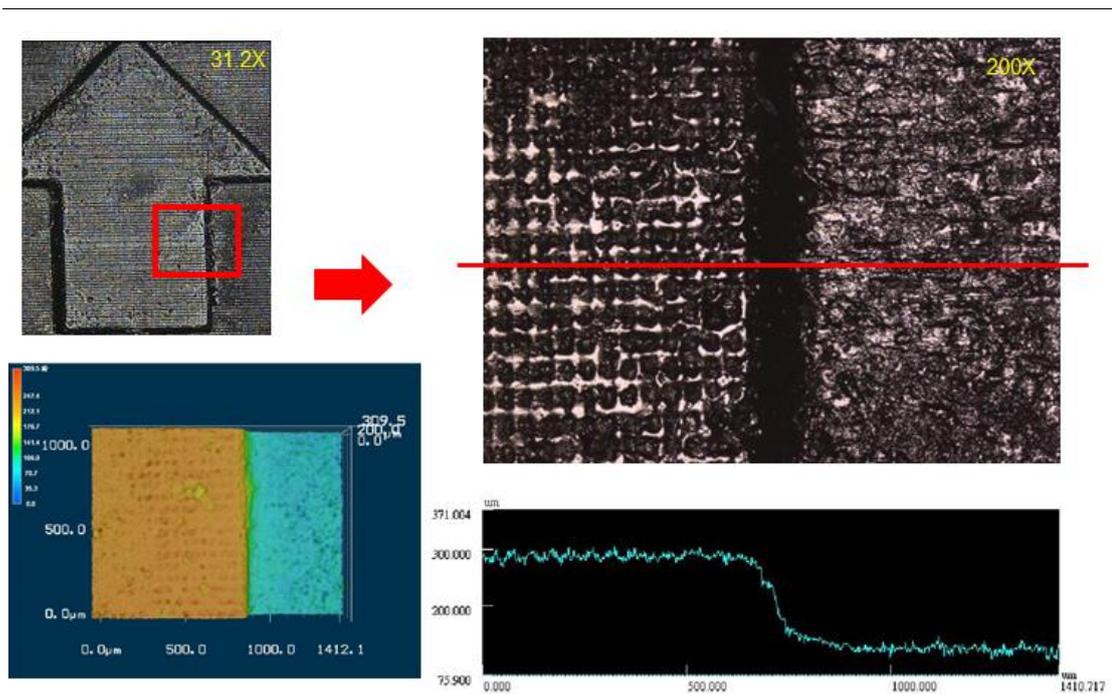


圖 62：PU 料射出翻模成品(轉寫率 97.2%)之表面特徵

資料來源：本研究整理

相較之下，其 PU 成品經過 15 次射出翻模的轉寫率為 84.9%，在共軛聚焦儀相同倍率微觀其表面之形貌，可清楚看見表面已呈現出大小不一的粗糙顆粒，及斷差邊緣也出現微崩塌缺角，如圖 63 所示。

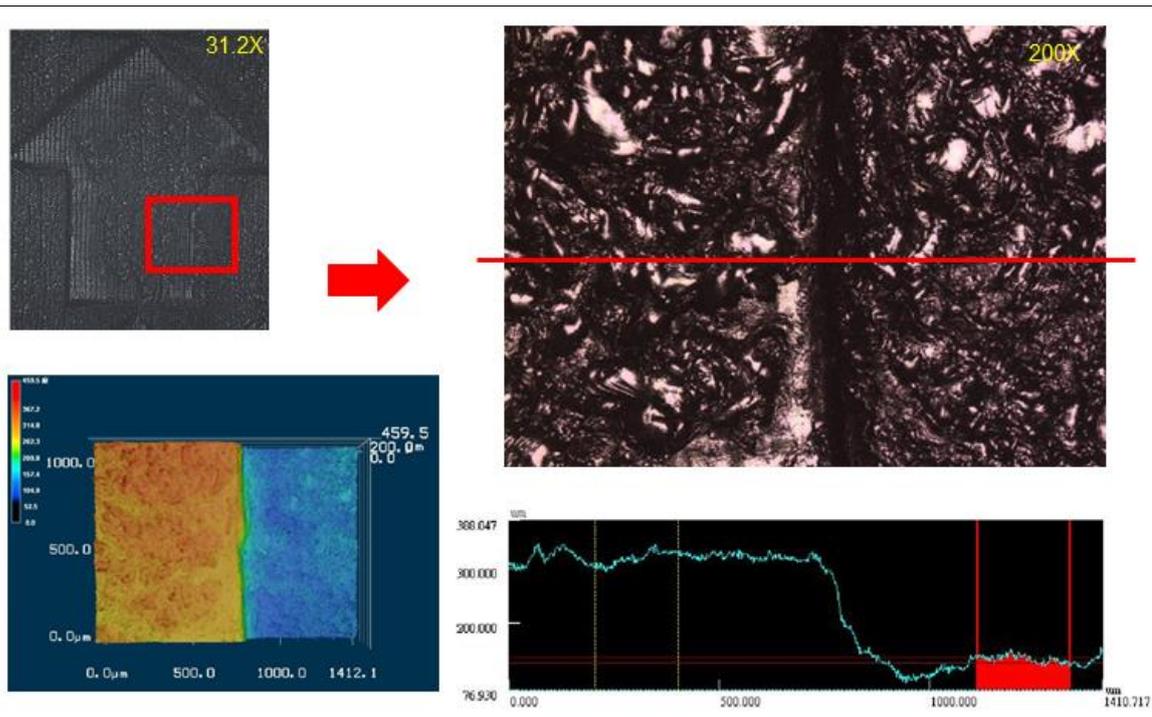


圖 63：PU 料射出翻模成品(轉寫率 84.9%)之表面特徵

資料來源：本研究整理

透過 VK9700 共軛聚焦儀相同倍率量測表面粗糙度，以快速成型列印之入子量測其特徵箭頭高低差為 197.841um(作為基準對照組)。再射出實驗中將其第一模至第 15 模的 PU 射出完成品分別進行量測特徵箭頭高低差，經過數值計算分析得出其轉寫率，如表 40 所示。

表 40：本研究實驗射出 PU 翻模成形品之轉寫率驗證數據表

3D 列印光硬化入子_樹脂 CE 221 & 射出翻模_PU 料											
射出次數	入子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
翻模特徵高低差(um)	197.841	192.372	190.136	189.253	189.911	187.234	188.905	189.234	184.911	183.667	184.227
轉寫率(%)	N/A	97.2%	96.1%	95.7%	96.0%	94.6%	95.5%	95.6%	93.5%	92.8%	93.1%
射出次數	11	12	13	14	15	16					
翻模特徵高低差(um)	186.067	181.596	182.964	180.978	173.320	167.938					
轉寫率(%)	94.0%	91.8%	92.5%	91.5%	87.6%	84.9%					

資料來源：本研究整理

PU 射出翻模成品測試結果：

以 CE221 入子列印出時表面特徵箭頭高低差，經過首次 PU 射出翻模的成品，經量測特徵_箭頭高低差為 197.841um，第一模的轉寫率為 97.2%，此轉寫率在開發初期打樣已達到高水準；經過連續性射出耐久實驗。在第十六模的成品表面特徵_箭頭高低差為 167.983um 及轉寫率為 84.9%，入子本體吸收 PU 混料反應固化放熱效應，入子出現裂痕，導致 PU 成品無法完整，故本研究之 CE221 入子射出成型之耐久次數為 15 次。

4-6 快速模具之可替換性

2D&3D Texture 成型模具射出:在共用鋁製模具中置入所列印的光硬化入子，合模後進行 PU 注塑。如圖 64 所示。

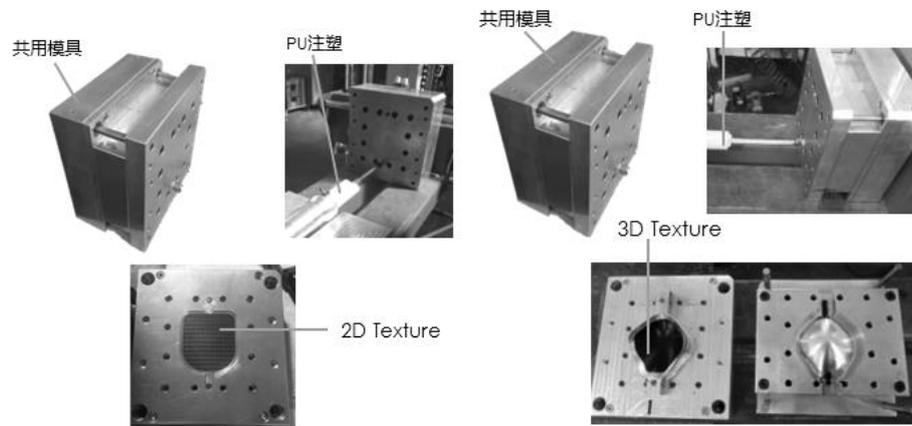


圖 64：2D &3D Texture 成型模具射出實作

資料來源：本研究整理

射出成形之成品應用：2D 平面 Texture 利用雷射切割，可同時產出多種樣式的幾何外型。如圖 65。



圖 65：實驗 2D Texture 射出成型品&雷射切割成品

資料來源：本研究整理

射出成形之成品應用：3D 幾何直接成型無需裁切，可直接進行鞋頭打樣縫織製程。如圖 66。



圖 66：實驗 3D Texture 射出成型品

資料來源：本研究整理

4-7 結論

本實驗 2D 與 3D Texture 之共用模具經過 PU 射出後的樣品，即可提供給設計者在初期開發試樣，可直接提供客戶做最終確認樣品材質，此可減少時間與成本浪費。另外，針對模具之入子加工方面進行分析，約分為三大方面進行說明與比較。(1) 加工設備成本(2)材料價格成本(3)加工工時成本。

(1) 加工成本解析：入子製程加工機械設備成本，如表 41 所示。

表 41：加工設備成本比較分析表

項目 \ No.	傳統製造 (減料加工)	快速成型製造 (增料加工)
入子素材	鋁合金	光硬化樹脂
加工機 / 成本設備成本	CNC 銑床(EMV860) NT\$/ 200 萬	3D 列印機(MiiCraft 125) NT\$/ 32 萬
後加工 / 設備成本	放電加工機(CNC250) NT\$/ 20 萬	UV 固化機(PHROZEN) NT\$/ 1.1 萬
總計 (NTD)	NT\$/ 220 萬	NT\$/ 33.1 萬
節省成本		降低 85%

資料來源：本研究整理

(2) 材料價格成本解析：入子材料價格成本，如表 34 所示。

表 42：材料價格成本比較分析表

項目 \ No.	傳統製造 (減料加工)	快速成型製造 (增料加工)
原材材質	Al 60601	環氧樹脂類
原材密度 (g/cm ³)	2.71	1.21
原材單價 (NT\$/kg)	150-180	2,000-12,000
Model 尺寸 (mm)	95x95x10	90x90x9.6
Model 重量 (kg)	0.245	0.094
材料成本總計 (NTD)	NT\$/ 約 50	NT\$/ 約 1000
節省成本	約 20 倍	

資料來源：本研究整理

(3) 加工工時成本解析：製程加工機械設備成本，如表 35 所示。

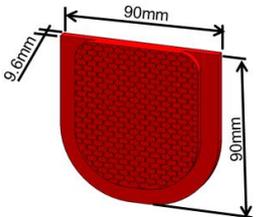
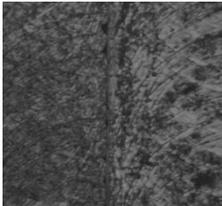
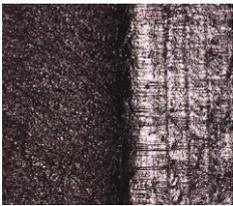
表 43：入子加工工時成本比較分析表

項目 \ No.	傳統製造 (減料加工)		快速成型製造 (增料加工)	
製程加工費 / 耗費工時(hr)	原材銑床 1200/hr	2hr	檔案處理 600/hr	2hr
	六面研磨 1200/hr	2hr	3D DLP Printer 600/hr	2hr
	CNC 加工 2200/hr	8hr	後製清洗 300/hr	0.5hr
	銅極+放電 2000/hr	16hr	UV 固化 300/hr	0.5hr
總計 (NTD) / 工時 (hr)	NT\$/ 約 5.5 萬	28hr	NT\$/ 約 3000	5hr
節省成本	降低 94.5% (加工費) / 82.1% (工時)			

資料來源：本研究整理

傳統鋁製入子與光固化入子耐久性分析比較，如表 36 所示。

表 44：本研究實驗入子與傳統鋁製入子之比較表

項目 \ No.	傳統製造_入子 (減料加工)	快速成型製造_入子 (增料加工)
成品 3D 立體圖		
量測尺寸 (mm)	89.98x89.91x9.60	89.43x87.24x9.63
精度 (um)	2 - 5	30 - 65
實驗微觀照片		
表面粗糙度 Ra (um)	8.0	9.295-9.694
轉寫率 (%)	99%-97%	97.2%-84.9%
耐久性次數	2 千-1 萬模	10-20 模

資料來源：本研究整理

第五章 結論與未來展望

由於傳統成型模具製造生產時間過長且成本昂貴，有錯誤不易修改，直接與間接地造成研發設計在開發產品初期的時間與成本浪費，可藉由 3D 列印快速成型技術於共用替換式模具設計之應用，解決改善這些問題，並可透過材料分層堆疊技術之應用，來直接製造入子或模具，有效的改善設計者遭遇的時間與成本壓力。

5-1 結論

本研究運用 TRIZ 創新設計研究方法，協助塑膠射出模具之快速製程進行設計改善。其改善方案在 3D Texture 鞋材開發試樣生產期間，並有效快速因應產品設計變更，大幅降低製程成本與時間之優勢。

本研究主要以四個觀點切入探討，以本實驗光固化入子大小樣本，分別用傳統 CNC 切削後加放電加工製造與 DLP 3D 列印快速製造所產生的成本：

- (1) 加工設備成本：傳統製造設備高達約 220 萬；而 DLP 3D 列印設備約 33.1 萬，降低 85%。
- (2) 材料成本：以 95x95x10mm 體積計算，傳統製造用鋁合金材料；而快速製造列印用光敏樹脂材，提高 20 倍。
- (3) 加工工時：傳統製造約 28 小時；而快速製造約 5 小時，以工時來說足足省下 82%。模具設計製造時程比較。如圖 67。
- (4) 入子加工費用：傳統製造約 5.5 萬；快速製造約 0.3 萬，降低了 94.5%。

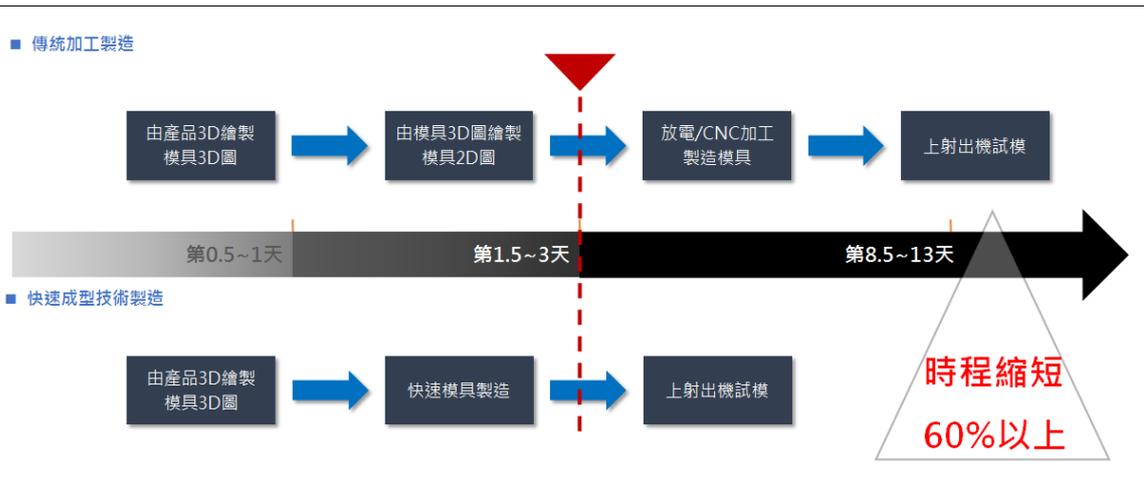


圖 67：傳統加工製造與快速成型技術製造 時程比較圖

資料來源：本研究整理

在近年來 3D 列印技術日新月異快速發展，其製程特性為成本低廉及只需 3D 建檔即可印出實體物件。但由於鞋業開發期試樣，都會要求打樣所需材質需接近最終樣品，才能做試樣的性能測試驗證，鞋材所用到的塑膠材質有 TPR(熱塑性橡膠)、TPU(熱可塑性聚氨酯)、PU(高分子聚氨酯)、RUBBER(橡膠)大底、EVA(醋酸乙烯)中底、PVC(聚氯乙烯)、EVA MD(一次性成型發泡)等等，而光固化 3D 列印目前材料現階段仍只有光敏樹脂類，因此使用模具射出塑膠成品，目前仍無法被 3D 列印直接完全取代。

再則，與傳統塑膠射出成型機相較之下並無法快速大量製造，且其較適合製作 mocup 少量生產製作。

5-2 未來研究展望

本研究實驗所提出一個有效的改進方法，可解決鞋材紋理在開發初期快速打樣，且能有效節省製程成本與開發時程。建議後續研究所需要改進的目標與未來研究方向為：

- (1) 利用光硬化方法所製作的射出成形用模具的限制，模具之強度、熱傳導性與耐磨耗性不及金屬模具，因此未來可針對光敏樹脂材料進行開發研究，使其材料本身之機械性能與物理性能更為提高且優化。

- (2) 3D 列印之光固化入子，導熱係數欠佳，可在成品表面增加金屬鍍層(Spray metal coating)，增加導熱係數與表面粗糙度。
- (3) 針對光固化入子所使用之射出機，以材料本身限制為基礎，開發設計一套演算程式，進而發展成一個有效的專家系統，求得最佳的模具設計與成形條件，以期能滿足產品設計需求、提高品質及縮短開發時程，且未來能達到智能生產。

參考文獻

中文文獻

- 高天志 (2004)。TRIZ法應用於工業設計構想發展之初探。國立台灣科技大學設計研究所碩士論文，未出版，台北市。
- 陸定邦 (2003)。構想發展與企業發展—事業導向之設計程序。設計學報，8(1)，17-32。
- 連介廷 (2007)。應用創意設計理論改善產品製程之研究，未出版，機械工程研究所碩士班，逢甲大學，台南市
- 劉志成 (2003)。TRIZ方法改良與綠色創新設計方法之研究。國立成功大學機械工程學系研究所博士論文，未出版，台北市。
- 劉勤興 (2009)。應用TRIZ 理論於通用設計：以蛋糕刀為例，大同大學與工業設計研究所碩士論文，未出版，台北市。
- 林朝源 (2002)。運用逆向工程於鞋模設計與製造。大葉大學工業工程學系碩士論文，未出版，彰化縣。
- 林士源 (2005)。鞋款設計之快速客製化系統設計研究。朝科技大學研究所碩士論文，未出版，台中市。
- 林美秀 (2005)。運用TRIZ 原理探討專利開發實例，中原大學機械工程研究所碩士論文，桃園市。
- 曾昱仁 (2000)。鞋模生產系統之分析與模擬。大葉大學工業工程研究所碩士論文，未出版，彰化縣。
- 楊琳鑑、王宣勝、張添財 (2007)。塑膠模具設計、塑料選用與模流分析之研究。德霖技術學院機械工程系。
- 張聰欽、劉原超、唐啟發 (2002)。台灣製鞋產業海外投資當地化策略之研究。
- 陳尉勇 (2010)。運用 TRIZ 創新於電子踢靶無線傳輸產品之研究，臺北科技大學與工業工程與管理系碩士論文，未出版，台北市。
- 陳俊雄 (2002)。運用逆向工程於鞋模設計與製造。大葉大學工業工程學系碩士論文。
- 陳鷺人(2017)。導入自動化技術製鞋業轉型再升級。中時電子報。
- 黃紹裘 (2008)。製鞋業發展現況與展望。中華民國全國工業總會財經文摘產業透視。台北市中華民國全國工業總會。
- 黃柏翰 (2000)。於網際網路上提供客製化產品設計與服務之研究—以製鞋業為例。國立台灣科技大學工業管理系碩士論文，未出版，台北市。

黃台生(2008)。3D 量測在鞋款設計之應用。朝陽科技大學設計研究所。

趙新軍(May/2004)。技術創新理論(TRIZ)及應用，北京，化學工業出版社。

Atshuller, G., (2007)。「TRIZ 創意 40 錦囊妙計」, Shulyak, L. and Rodman,S., 潘智文、蕭永今譯，建速個人工作室，台北。

Bjarki Hallgrímsson (2013)。產品設計的原型與模型(楊九穎 譯)。台北市：旗標。(原著出版於 2012)

英文文獻

Altshuller, G.S., "The innovation algorithm: TRIZ systematic innovation and technical creativity", *Technical innovation center Inc., Worcester.* (1999)

Domb, E., "Contradiction Matrix", *The TRIZ Journal*, July 1997

Hentschel, G. (2011). Tracing unorthodox use - A TRIZ-related ideation method in systematic product innovation, *Procedia Engineering*, 9, 545-558.

Hernandez. N. V., Shah, J. J., & Smith, S. M. (2010). Understanding design ideation mechanisms through multilevel aligned empirical studies. *Design Studies*, 31,382-410

Journal of Materials Processing Technology Volume 142, Issue 2, 25 November 2003, Pages 326-333

Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering VOLUME 31 ISSUE 2 December 2008

John Terninko, Su-Field, *The TRIZ Journal*, 4/2000

J. Terninko, A. Zusman & B. Zlotin, "Step-by-step TRIZ : Creating Innovative Solution Concepts", *Responsible Management Inc*, 1996

J. Terninko, A. Zusman & B. Zlotin, "Step-by-step TRIZ : Creating Innovative Solution Concepts", *Responsible Management Inc*, 1996

Kulkarni, S., Summers, J. D., Vargas-Hernandez, N., & Shah, J. J. (2001). Evaluation of Collaborative Sketching (C-Sketch) as an Idea Generation Technique for Engineering Design. *The Journal of Creative Behavior*, 15(3), 168-198

Larry J. Hornbeck, "Digital Light Processing™ for High-Brightness, High-Resolution Applications", *SPIE*, 3013, 27 (1997)

Shah, J. J., Kulkarni, S. V., & Vargas-Hernandez, N. (2000). Evaluation of Idea Generation Methods for Conceptual Design: Effectiveness Metrics and Design of Experiments. *Journal of*

Mechanical Design, 122(4), 377-384

Terninko, J., Zusman, A., and Zlotin, B., "Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ", CRC Press, New York, 1988.

網路文獻

蕭亞漩. (2014). "產業議題評析 IEK 產業情報網."

http://www.injection-molding-machine007.net/abcde/big_articles/2008-11-26-23.html

3D 列印

<https://formlabs.com/blog/3d-printing-technology-comparison-sla-dlp/>

39 個通用參數和阿奇舒勒矛盾矩陣

<https://tieba.baidu.com/p/749920573>

Carbon, ce-cyanate-ester

<http://www.carbon3d.com/materials/ce-cyanate-ester>

Carbon, EPX: Epoxy

<http://www.carbon3d.com/materials/epx-epoxy>

Carbon3D Unveils Breakthrough CLIP 3D Printing Technology, 25-100X Faster

<https://3dprint.com/51566/carbon3d-clip-3d-printing>

Contradiction Matrix

<http://wiki.mbalib.com/zh-tw/矛盾矩陣>

Continuous Liquid Interface Production

https://en.wikipedia.org/wiki/Continuous_Liquid_Interface_Production

Digital Light Processing

https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Light_Processing

羽耀科技公司

<https://www.feasun3d.com/archives/2017072001/>

Helisys 公司或其台灣經銷商網頁資料

www.3dprinting.com.tw、www.git.com.tw。

科普：三種常見 3D 列印技術：FDM、SLS、SLA 技術原理 (2016.08.19)，重慶 3D 虎發表資訊

<https://kknews.cc/zh-tw/news/4lk1j3.html>

附錄 A: 39 個工程參數

來源: Domb, E., "The 39 Features of Altshuller's Contradiction Matrix", The TRIZ Journal, November 1998.

編號	工程參數	意義
01	移動物體的重量 Weight of moving object	可移動物體的重量
02	不動物體的重量 Weight of non-moving object	固定之物體的重量
03	移動物體的長度 Length of moving object	可移動物體的任一維尺寸
04	不動物體的長度 Length of non-moving object	固定之物體的任一維尺寸
05	移動物體的面積 Area of moving object	可移動物體內部或外部的任意二維尺寸
06	不動物體的面積 Area of non-moving object	固定之物体內部或外部的任意二維尺寸
07	移動物體的體積 Volume of moving object	可移動物體的三維尺寸
08	不動物體的體積 Volume of non-moving object	固定之物體的三維尺寸
09	速度 Speed	物體的速度：一製程或一動作的速率
10	力 Force	意圖改變物體狀態的任意互動或影響
11	張力/壓力 Tension/Pressure	單位面積所受的力
12	形狀 Shape	系統或物體的外觀或輪廓
13	物體的穩定性 Stability of object	系統或物體抵抗因相關物件互動產生改變的能力
14	強度 Strength	物體抵抗破壞的能力
15	移動物體的耐久性 Durability of moving object	可移動物體可執行動作的時間：失效之前的服務壽命
16	不動物體的耐久性 Durability of non-moving object	固定之霧體可執行動作的時間：失效之前的服務壽命
17	溫度 Temperature	一系統或物體的熱狀態：包括各項熱力參數
18	明亮度 Brightness	單位面積的光通量：各項亮度特性
19	移動物體消耗的能量 Energy spent by moving object	可移動物體作動期間所需的熱量
20	不動物體消耗的能量 Energy spent by non-moving object	定之物體作棟期間所需的熱量
21	功率 Power	能量使用的速率：功與時間的比率
22	能量的浪費 Waste of energy	對系統作動並無貢獻所消耗的能量
23	物質的浪費 Waste of substance	對系統作動定無貢獻所消耗的物質
24	資訊的遺漏 Loss of information	資料或系統輸入項的遺漏
25	時間的浪費 Waste of time	完成依指定動作所額外增加的時間

26	物質總量 Amount of substance	一物體的元件數量或物質總量
27	可靠度 Reliability	一系統是當執行其功能的能力
28	量測的準確度 Accuracy of measurement	一物體的量測值與真值間接近的程度
29	製造的準確度 Accuracy of manufacturing	一物體的真正特性與設計特性接近的程度
30	有害因子作用於物體 Harmful factors acting on object	作用於系統的外部影響力，造成系統效率或品質的降低
31	有害的副作用 Harmful side effects	作用於系統的內部影響力，造成系統效率或品質的降低
32	製造性 Manufacturability	一系統或物體於製造上的容易程度
33	使用的方便性 Convenience of use	一系統於操作或使用上的容易程度
34	修護性 Repairability	物體或系統故障後，可容易修護恢復功能
35	順應性 Adaptability	當外在條件改變，系統或物體仍有正面的反應
36	裝置的複雜性 Complexity of device	形成物體或系統元件的數量和相異性
37	控制的複雜性 Complexity of control	用於量測或監控系統之元件的數量和相異性
38	自動化程度 Level of automation	物體或系統執行功能時，無人為影響的程度
39	生產力 Productivity	單位時間理系統完成操作或執行功能的次數

附錄 C: 40 個 TRIZ 發明法則

來源:Gennady, R. "TRIZ and 40 Business Survival Imperatives", The TRIZ Journal, September 2008.

編號	發明法則	解釋
1	分割 Segmentation	a. 將物體分割成獨立的零件。 b. 作成組合式的物體。(為了簡單組裝或分解)。 c. 增加物體分割的程度。
2	抽出 Extraction	a. 從一個物體中取出(移除或分離)具妨礙性的零件或屬性。 b. 僅取出需要的零件或屬性。
3	局部特性 Local Quality	a. 將一物體或外在環境(動作)由相同成分組成的結構轉變成由不同成分組成的結構。 b. 具有不同零件的物體以執行不同的功能。 c. 將物體各零件置於最適合操作的條件下。
4	不對稱 Asymmetry	a. 以不對稱形狀取代對稱形狀。 b. 如果一物體已經不對稱,增加其不對稱的程度。
5	結合(整合) Combining(Integrating)	a. 同質或產生連續作業的物體在空間上加以結合。 b. 同質的或連續的作業在時間上加以結合。
6	多面性 Universality	具備多功能的物體,可消滅對其他物體的需求。
7	大小依次套疊 Nesting	a. 物體內可依序放入其他物體。 b. 一個物體可通過另一個物體的孔洞。
8	平衡力 Counterweight	a. 連接另一個具有舉升力的物體,以抵銷物體的重量。 b. 與環境提供之空氣動力或水力互動,以抵銷物體的重量。
9	先前的反作用力 Prior Counteraction	事先給予反張力補償物體上過度與不想要的應力。
10	先前動作 Prior Action	a. 事先完成全部動作或至少完成部分動作。 b. 安置物體使其在行動時,不浪費時間等待。
11	事先緩和 Cushion in Advance	事先採取對策以補償低可靠性的物體。
12	等位性 Equipotentiality	改變工作的狀況,使得物體不需被舉起或降低。
13	倒轉 Inversion	a. 執行相反的動作,以取代制式的動作。(如:冷卻取代加熱)。 b. 使物體的可動零件或外在環境固定,且不動零件可

		移動。 c. 使物體上下顛倒。
14	球狀化 Spheroidality	a. 以曲線取代線性零件或平面，以球體取代立體。 b. 使用滾筒、球、螺旋。 c. 以旋轉運動取代線性運動，或利用離心力。
15	動態 Dynamicity	a. 使物體的特性或外在環境能在作業的各階段，為了達到最適性能而調整。 b. 將物體分割成元件，使各元件間的位置能被改變。 c. 使無法移動的物體可移動或可替換。
16	局部或過度的動作 Partial, Overdone or Excessive Actions	如果不易獲得100%的預期效應，可將動作作得多一點或少一點以簡化問題。
17	移到新的次元 Moving to a New Dimension	a. 利用二維運動來移動物體，以取代線性運動。利用三維運動來移動物體，以取代平面運動。 b. 以多層組合取代單層。 c. 傾斜物體。 d. 投射影像到物體的鄰近區域或另一側。
18	機械振動 Mechanical Vibration	a. 使物體振動。 b. 如果物體已有振動，增加它的頻率，甚至可達到超音速。 c. 使用共振頻率。 d. 使用壓力振動以取代機械振動。 e. 利用電磁場與超音波振動結合。
19	週期性動作 Periodic Action	a. 以週期性的動作（或脈衝），取代連續動作。 b. 如果已經是週期性的動作，改變它的頻率。 c. 在脈衝間暫停，並提供額外的動作。
20	有效動作的連續性 Continuity of Useful Action	a. 不間斷的完成一個動作。一個物體的全部零件皆全力運作。 b. 移除閒置的及中間的動作。 c. 以巡迴動作取代來回動作。
21	急速通過 Rushing Through	a. 在高速下完成有害或危險的作業。
22	將害處轉換為益處 Convert Harm into Benefit	a. 利用環境上的有害因素或效應以獲得一個正面的效應。 b. 加上另一有害因素，以移除原有的有害因素。 c. 增加有害動作的量，直到它的害處被終止。
23	回饋 Feedback	a. 導入回饋。 b. 如果回饋已存在，將它反轉。

24	中介物 Mediator	a. 利用一中間物體去轉換或完成一動作。 b. 暫時地將一物體和另一個可方便移除的物體接。
25	自助 Self-Service	a. 使物體自己完成補充及修護作業。 b. 使材料和能源的使用不浪費。
26	複製 Copying	a. 使用簡單、便宜的複製品，以取代複雜、昂貴、易脆或不方便的物體來操作。 b. 以光學複製品或光學影像取代一物體或系統，一尺度可被用來縮小或放大影像。 c. 以紅外線或紫外線複製取代可見光複製。
27	以便宜而壽命短的物體取代昂貴而持久的物體 An Inexpensive Short-Life Object Instead of an Expensive Durable One	以便宜的物體取代昂貴的物體，以補償其他性質。(如：壽命)。
28	更換機械系統 Replacement of a Mechanical System	a. 以視覺的、聽覺的或嗅覺的系統取代機械系統。 b. 以電場、磁場或電磁場來使物體互相影響。 c. 更換場。 d. 利用結合了強磁性粒子的場。
29	使用氣動或水力的構造 Use a Pneumatic or Hydraulic Construction	以氣體或液體取代一物體的固體零件。這些零件能利用空氣或水的膨脹，或利用空氣或流體靜力作為衝。
30	彈性膜或薄膜 Flexible Film or Thin Membranes	a. 以彈性膜及薄膜取代原來構造。 b. 以薄膜將物體與外界環境隔離。
31	使用多孔材料 Use of Porous Material	a. 使物體多孔化或使用附加多孔元件的物體（插入物、覆蓋物等）。 b. 假如物體已有許多孔，可預先填充某物質。
32	改變顏色 Changing the Color	a. 改變一物體或其周圍事物的顏色。 b. 改變一物體或其周圍事物的透明程度。 c. 使用顏色添加劑去觀察不易看到的物體或過程。 d. 如果顏色添加劑已被使用，可再利用發光追蹤元素。
33	同質性 Homogeneity	使物體的相互作用來自於相同材料，或性質相近的材料。
34	拋棄及再生零件 Rejecting and Regenerating Parts	a. 當物體的功能已完成或無用時，把它拋棄或修正(如：拋棄、分解、揮發)。 b. 直接復原已耗盡的零件或物體。

35	物理或化學狀態的變換 Transformation of Physical or Chemical States of an Object	改變物體各種狀態、密度、濃度、彈性或溫度等。
36	相的轉變 Phase Transitions	在物質的相的轉變過程中執行一有效的發展。如：在體積改變過程中可釋放熱量或吸收熱量。
37	熱膨脹 Thermal Expansion	a. 利用熱使得材料收縮或膨脹。 b. 使用具不同膨脹係數的材料。
38	使用強氧化劑 Use Strong Oxidizres	a. 以加濃空氣取代正常空氣。 b. 以氧氣取代加濃空氣。 c. 在空氣或氧氣中進行離子化。 d. 使用氧離子。
39	非活性的環境 Inert Environment	a. 以惰性環境取代正常環境。 b. 在真空中完成過程。
40	合成材料 Composite Materials	以複合材料取代同質材料。

附錄 D: EPX81-TDS

來源: <https://www.carbon3d.com/materials/epx-epoxy/>

CarbonResin EPX 81

DOC #103729 REV B
TECHNICAL DATA SHEET, LAST UPDATED 1/24/2017

Tensile Properties—ASTM D638-Type V, 1mm/min	Metric	U.S.
Tensile Modulus	3140 ± 105 MPa	455 ± 15 ksi
Ultimate Tensile Strength	88 ± 3 MPa	13 ± 0.4 ksi
Elongation-at-Break	5.2 ± 0.7 %	5.2 ± 0.7 %

Flexural Properties —ASTM D790, 0.1mm/mm-min	Metric	U.S.
Flexural Strength	119 ± 21 MPa	17 ± 3 ksi
Flexural Modulus (chord, 0.5-1% strain)	3250 ± 45 MPa	471 ± 6.5 ksi

Impact Properties	Metric	U.S.
Notched Izod (Machined), ASTM D256	23 ± 5 J/m	0.43 ± 0.09ft-lb/in.
Unnotched Izod, ASTM D4812	291 ± 48 J/m	5.5 ± 0.9 ft-lb/in.

Thermal Properties	Metric	U.S.
Heat Deflection Temperature @ 0.45 MPa/66 psi, ASTM D648	140 °C	284°F
Heat Deflection Temperature @ 1.82 MPa/264 psi ASTM D648	131 °C	268 °F
Coefficient of Thermal Expansion (-60, 60 °C), ASTM E831	65 ppm/°C	36 ppm/°F
(60, 130 °C), ASTM E831	93 ppm/°C	52 ppm/°F
(130, 200 °C), ASTM E831	160 ppm/°C	89 ppm/°F
Heat Capacity, 23°C, ASTM E1269	1.19 J/g-°C	0.284 BTU/lb-°F

Electrical Properties	Metric
Dielectric Strength, ASTM D149	22.4 kV/mm
Dielectric Constant, 1kHz, ASTM D150	3.04
Dissipation Factor, 1kHz, ASTM D150	0.00668
Volume Resistivity, ASTM D257	3.08E + 14 ohm-cm

General Properties	Metric
Hardness, ASTM D2240	90, Shore D
Density (liquid resin)	1.12 g/cm ³
Density, ASTM D792	1.187 g/cm ³
Water Absorption, 23°C, 24 hours, ASTM D570	0.16%
Water Absorption, 23°C, long term ASTM D570	0.80%

附錄 E: CE 221-TDS

來源: <https://www.carbon3d.com/materials/ce-cyanate-ester/>

CarbonResin CE 221

DOC #103474 REV B
TECHNICAL DATA SHEET, LAST UPDATED 1/24/2017

Tensile Properties—ASTM D638-Type V, 1mm/min	Metric	U.S.
Tensile Modulus	3870 ± 140 MPa	561 ± 20 ksi
Ultimate Tensile Strength	92 ± 13 MPa	13 ± 2 ksi
Elongation-at-Break	3.3 ± 0.8 %	3.3 ± 0.8 %

Flexural Properties —ASTM D790, 0.01mm/mm-min	Metric	U.S.
Flexural Strength	131 ± 27 MPa	19 ± 4 ksi
Flexural Modulus (chord, 0.5-1% strain)	3780 ± 113 MPa	548 ± 16 ksi

Impact Properties	Metric	U.S.
Notched Izod (Machined), ASTM D256	15 ± 1 J/m	0.28 ± 0.02 ft-lb/in.
Unnotched Izod, ASTM D4812	291 ± 46 J/m	5.5 ± 0.9 ft-lb/in.

Thermal Properties	Metric	U.S.
Heat Deflection Temperature @ 0.45 MPa/66 psi, ASTM D648	231 °C	448 °F
Heat Deflection Temperature @ 1.82 MPa/264 psi ASTM D648	201 °C	394 °F
Coefficient of Thermal Expansion (-60, 100 °C), ASTM E831	52 ppm/°C	29 ppm/°F
(100, 180 °C), ASTM E831	90 ppm/°C	50 ppm/°F
(180, 200 °C), ASTM E831	147 ppm/°C	82 ppm/°F
Heat Capacity, 23°C, ASTM E1269	1.17 J/g-°C	0.279 BTU/lb-°F
Thermal Conductivity, ASTM C518	0.167 W/m-k	0.097 BTU/hr-ft-°F

Electrical Properties	Metric
Dielectric Strength, ASTM D149	22.0 kV/mm
Dielectric Constant, 1kHz, ASTM D150	3.12
Dissipation Factor, 1kHz, ASTM D150	0.00456
Volume Resistivity, ASTM D257	2.24E+14 ohm-cm

General Properties	Metric
Hardness, ASTM D2240	92, Shore D
Density, ASTM D792	1.210 g/cm ³
Water Absorption, 23°C, 24 hours, ASTM D570	0.21%
Water Absorption, 23°C, long term ASTM D570	0.55%

附錄 F: PU 塑膠材料-A 劑 物性表

來源: 台灣科思創股份有限公司提供 <https://www.covestro.tw/>



Desmophen[®] 670 BA

Characterization	Slightly branched hydroxyl-bearing polyester. As a co-reactant primarily with Desmodur [®] N 75 and N 3390 in the formulation of weather-stable flexible coatings.
Form supplied	approx. 80 % in butyl acetate

Specification Property	Value	Unit of measurement	Method
Hazen color value	≤ 150		DIN EN 1557
Acid value	1.8 ± 1	mg KOH/g	DIN EN ISO 2114
Viscosity at 23°C	3,000 ± 400	mPa·s	DIN EN ISO 3219/A.3
Non-volatile content 1 g resin/ 1 h 125 °C, convection oven	80 ± 1	%	DIN EN ISO 3251
Hydroxyl content	3.5 ± 0.3	%	DIN 53 240/2
Water content	≤ 0.1	%	DIN 51 777/1

Other data* Property	Value	Unit of measurement	Method
Equivalent weight	approx. 485		
Density at 20°C	approx. 1.11	g/ml	DIN EN ISO 2811-2
Flash point	approx. 32	°C	DIN EN ISO 2719

*These values provide general information and are not part of the product specification.

附錄 G: PU 塑膠材料-B 劑 物性表

來源: 台灣科思創股份有限公司提供 <https://www.covestro.tw/>



Desmodur® N 3300

类型	脂肪族聚异氰酸酯(HDI 三聚体)		
供应形式	无溶剂		
用途	在耐光聚氨酯涂料体系中用作固化剂组分		
产品规格			
特性	数值	测量单位	测试方法
NCO 含量	21.8±0.3	%	DIN EN ISO 11909
粘度, 23 °C	3000±750	mPa·s	DIN EN ISO 3219/A.3
色值(HAZEN/APHA)	≤40		DIN EN 1557
HDI 单体	<0.15	%	DIN 55 956
其他数据*			
特性	数值	测量单位	测试方法
粘度, 25°C	约 2500	mPa·s	DIN EN ISO 3219/A.3
当量	约 193		
闪点	约 158	°C	DIN 22 719
密度, 20°C	约 1.16	g/ml	DIN 53 217/2

*以上数值为一般信息, 不属于产品规格部分。

溶解性/稀释性 Desmodur® N 3300 可以用酯类、酮类、芳香族烃类溶剂如: 乙酸乙酯、乙酸丁酯、丙二醇甲醚乙酸酯、丙酮、甲乙酮、甲基异丁基酮、环己酮、甲苯、二甲苯、100# 溶剂石脑油及其混合物等进行稀释。一般与上述溶剂具有良好的混溶性。但必须测试所制成溶液的储存稳定性。应使用聚氨酯级溶剂(水含量低于 0.05 %, 无羟基或氨基等活性基团)。脂肪烃类不适合作溶剂。

Desmodur® N 3300 不应稀释至固体份 40% 以下。基料含量低的溶液, 长期储存后可能会出现浑浊和沉淀。

相容性 Desmodur® N 3300 一般可与以下产品配用。即: Desmodur® N 100、N 75、N 3200、N 3400、N 3600 及 Desmodur® Z 4470 类脂肪族聚异氰酸酯; Desmodur® L、HL 和 IL 类芳香族聚异氰酸酯; Desmophen® 670 类聚酯多元醇; Desmophen® A 类聚丙烯酸酯。但是须测试所配溶液的相容性。Desmodur® N 3300 与支化聚酯多元醇类产品如 Desmophen® 651 或聚醚多元醇类产品如 Desmophen® 550 U 不相溶。