

聚乳酸(PLA)可生物分解材料射出成型流動性之研究

蘇寶林

中州科技大學機械與自動化工程系

摘要

本文使用超高速射出成型機與渦流模具製作聚乳酸(PLA)可生物分解材料渦流試片，探討射出成型不同製程參數—射出速度、射出壓力、射出時間與保壓壓力對於渦流試片重量與流動長度之影響；另將不同回收料含量應用於渦流試片中，探討回收料含量對材料流動性之影響。

從研究結果可知：射出速度與射出時間為影響聚乳酸(PLA)純料充填流動特性的最主要因子，保壓壓力增加到 60 kgf/cm² 以上時則無回彈現象，而使用射出速度 140 mm/sec、射出壓力 120 kgf/cm²、射出時間 0.6 sec、保壓壓力 60 kgf/cm² 等製程條件製作 PLA 材料的渦流試片成型性較佳，適當的添加 PLA 回收料含量有助於增加材料的流動性。

關鍵詞：射出成型、流動性、聚乳酸(PLA)、回收料



壹、緒論

由於近年來由於石油資源大量消耗，以及塑膠垃圾製造量與日俱增，已造成了不可忽視的能源危機和環境污染，處理各種廢塑膠，不再是一個簡單的環境問題，在許多國家已經演變成為社會和政治問題。為此，各國政府制訂相應的政策，研究發展廢塑膠處理的相關技術，其中研發可生物分解高分子和循環回收再生利用技術是兩條主要途徑。

可生物分解高分子及其製品是近年來各國科學家研究、開發、生產的重點，已開發國家不僅政府支持研究開發，各大公司、科研機構、大學研究部門也投入大量人力物力進行研究開發。在短短幾年中，已公佈了大量的專利，並開發出多種可生物分解高分子材料。

另外，在全球一體化的經濟貿易活動中，許多國家對產品包裝設置「綠色技術壁壘」，而可生物分解塑膠包裝製品特別是完全生物分解塑膠包裝製品有助於打破這種壁壘。可再生的天然生物資源如澱粉、植物莖桿等衍變得到的生物基高分子具有良好的生物分解性，由於原材料豐富易得，其研究開發更是受到各國的重視。相對於普通的石油基高分子，生物基高分子可降低 30%~50% 石油資源的消耗，減少人們對石油資源的依賴；同時在整個分解過程中分解成二氧化碳和水，可以減少二氧化碳排放；生物分解高分子製品可以和有機廢棄物一起堆肥處理，與一般塑膠垃圾相比省去了人工分揀的步驟，大大方便了垃圾收集和處理。所以，從可持續發展的意義上分析，「源於自然，歸於自然」的生物基高分子完全可以滿足可持續發展的要求[1]。

貳、文獻探討

張[2]研究指出 PLA 其主要問題是 PLA 材料乾燥問題，如果含水量高，在射出成型過程中 PLA 會發生降解，導致成品品質下降，影響其成品機械強度。在射出成型中 PLA 熔膠溫度不能太高，高溫下之 PLA 材料易裂解。PLA 除了良好的生物可分解性、高度的生物可相容性以外，PLA 也具有優良的物理及機械性質，但其韌性不佳，使其應用受到限制。但純聚乳酸其結晶速度慢、易質脆、熔膠溫度穩定性差以及耐久性差會限制其應用[3]。因此，改善聚乳酸的機械性質以及熱性質成了目前重點之一，而添加纖維或是其他強化材料作為聚乳酸改善主要方法之一[4]。

巫[5]使用杜邦 Biomax WB200 與偉盟 PLA3001D 兩種生物可分解材料進行射出成形研究，由實驗結果得知，對收縮率及拉伸強度影響最大的參數為保壓壓力，其次為保壓時間，而模溫的提高也有明顯的幫助，各參數間的交互作用並不明顯。

張[6]採用 NATURE Green 生產 PLA7000D 材料進行射出成形研究，透過比對實際射出及 Moldflow 模擬軟體兩者間之的差距，結果顯示較高的模溫對於降低殘留應力有明顯改善，而且高模溫時，射出速度愈快則可以提高衝擊強度。

陳[7]在研究中將聚乳酸與強化材洋麻纖維和蒙脫土做材料混練，在射出成形時，藉由改

變模具溫度與保壓時間影響複合材料高次構造的形成，並做後續形態觀察與機械性質測試。由研究結果顯示，聚乳酸需要高溫且長時間的保壓才会有高次結構的產生，但若是高次結構不夠密集，亦無法對拉伸強度有所強化。

Richard Haibach[8]研究探討射出成型製程對 NatureWorks® PLA3051D 材料之影響，從研究結果得知影響材料劣解最顯著的條件為停留時間，當材料在料管內停滯 7.6 分鐘，其拉伸強度下降 4.7%，而拉伸彈性模量增加了 29%。

Robert L.Aungst[9]研究用 PPO 添加 0 wt%、30 wt%、70 wt%、100 wt% 比例回收料，研究結果顯示，回收料比例增加時，抗拉強度會降低、折彎強度會增加，衝擊強度則遽降。蘇 [10] 探討多次回收加工之聚酰胺 6 工程塑料之物性，研究得知聚酰胺 6 易受到熱螺桿剪切力與水分吸收影響其物性。李 [11] 指出回收料雖然價錢一定比新料低，但是一般塑膠廢棄物資源再生過程中分子會裂解、氧化或老化，使得再生料品質下降，要提昇回收料市場之競爭力，可透過降低回收料成本或提高回收料品質，才可以有競爭力。

Tantakom[12]的研究中指出對於要減少成品的充填時間可以使得更多的進澆口和更高的射出壓力來解決。在文中由於提高了料溫塑料的流動性增加但反而造成塑料的劣化，因此便可藉由提高模溫的方式來處理。

賴 [13] 於研究中提及，射出壓力與射出速度並不完全聽從油壓回路上控制閥之設定，而受熔融塑料之粘度、流道形狀、模穴阻力及流動速度等種種因素所左右。如果設定的射出壓力，高於塑料射入模穴的阻力，則射出作動中，射出油壓缸之壓力不會升到設定壓力，此時之射出速度可以達到控制閥設定的流量速度；如果設定的射出壓力，低於塑料射入模穴的阻力，則射出作動中，在尚未克服模穴阻力之前，油壓系統的壓力即已升到設定壓力而開始溢流，所以射出速度就無法達到控制閥所設定的預期速度。

Miller[14]研究中探討提高料溫對於薄殼成品機械性質之影響，研究結果得知當料溫提高時，會因固化層變薄導致成品的衝擊強度和剛性遽降。

綜合上述，目前為解決廢棄塑膠所造成的環境影響，可生物分解高分子材料隨之因應而生，其需求特性係在使用前或使用過程中，須具備與一般塑膠相近的性能，而在完成其使用功能後，能在自然環境條件下較快地分解成碎渣，進而易為環境所消耗，而達到永續發展的效果。本文使用超高速射出成型機與渦流模具製作 PLA 可生物分解材料渦流試片，探討射出成型不同製程參數—射出速度、射出壓力、射出時間與保壓壓力對於渦流試片重量與流動長度之影響；另將不同回收料含量應用於渦流試片中，探討回收料含量對流動性之影響。期望本研究成果有助於產業界將可生物分解高分子材料廣泛應用於各種製品中，抑或相關開發生產方面皆可以得到有益的參考經驗。



參、研究方法

一、超高速射出成型機

本文使用鏈發射出機公司所生產的 LF107HSS 射出成型機，安裝高速射出閉迴路控制器，並搭配射出成型製程監控裝置；射出成型機的螺桿直徑為 18 mm，機器是使用油壓系統作為驅動單元，最高的射出率為 508 cm³/sec，最大射速為 2,000 mm/sec，最大熔膠射出量為 20 g，系統最大油壓為 200 kgf/cm²，最大射壓為 3,240 kgf/cm²，最大鎖模力為 100 ton。

二、除濕乾燥機

實驗中使用信易電熱機械公司所生產的 SD-50H 蜂巢轉輪除濕乾燥機，蜂巢轉輪在理想狀態下可達露點-40 °C 之乾燥度；除濕乾燥機另安裝露點計監測除濕效果，安裝濾油器確保蜂巢轉輪有最佳性能，本實驗之烘料溫度設定為 100 °C，烘料時間為 3 小時。

三、熔液流動指數試驗機

本實驗使用 HT-9431 融熔指數測定儀量測 PLA 材料融熔指數(MI 值)，本研究 PLA 材料設定溫度為 190 °C，荷重為 5 kg，量測 10 分鐘內所流出的重量，即可得知其流動性。

四、實驗模具

本實驗使用渦流試片模具探討 PLA 製程特性與不同回收料含量對於流動性之影響，渦流模具的直徑為 3 mm，渦流試片模具與成品如圖一、二所示。

五、實驗材料

本實驗使用偉盟公司所生產的可生物分解高分子材料(NCP0005)，回收料含量添加比例分別為 0 wt % (純料)、10 wt %、25 wt %、50 wt % 與 100 wt % (完全回收料)，射出套筒溫度介於 190~230°C，模溫為 30~50°C。

六、實驗方法

本文首先在探討如何有效因應射出成型製程瞬間急速減速的運動慣性，使得產品的成型性得以穩定控制，因此研究中製程參數因子將以影響充填製程運動慣性比較有相關的不同射出速度、射出壓力、射出時間與保壓壓力為主，製程參數如表一所示，探討不同製程參數變化對於渦流試片重量與流長之影響。次之為將不同回收料含量應用於渦流試片中，探討渦流試片的流動特性變化，製程參數如表二所示，研究中使用固定製程條件探討不同回收料含量對流動性之影響。

本研究中回收料混合方式為先將一定比例重量的回收料放置容器內再將一定比例重量的純料放置容器內均勻混合，例如回收料含量 10 wt% 之混合，為先將 10 g 回收料放置容器內，

再將 90 g 純料放置容器內均勻混合，本研究每次混合以 100 g 為一次量。

本研究使用之射出成型機可以擷取射出成型製程之射出壓力與射出速度之設定值、螺桿位置、螺桿移動速度、螺桿於製程中所承受壓力值(射出缸油壓進出口壓力差值)，由於各參數之單位不一致，因此統一換算為百分比值(亦即油壓壓力 100 % 為 200 kgf/cm²、速度 100 % 為 2,000 mm/sec、位移 100 % 為 100 mm 等)繪製射出成型製程特性曲線。

肆、研究結果與討論

一、不同製程參數對 PLA 純料流動性之影響

圖三、圖四可知，隨著不同的射出速度、射出壓力、射出時間與保壓壓力等的水準上升，渦流試片之重量與流長亦隨之增加；若是以水準 1 的渦流試片重量與流長為基準，探討各參數水準上升至水準 5 之影響程度，則可以計算得知，射出壓力隨著水準的上升其重量略增 10.3 %、流長略增 20.37 %，保壓壓力隨著水準的上升其重量增加 28.53 %、流長增加 49.7 %，射出時間隨著水準的上升其重量增加 76.31 %、流長增加 156.67 %，射出速度隨著水準的上升其重量增加 95.08 % 以及流長增加 161.22 %。於本實驗之射出機 V/P 切換有位置與時間兩種切換方式，雖然設定 V/P 切換位置為 0mm，但是為了探討材料之流動性，射出成型製程的 V/P 切換點皆會由射出時間做切換控制，亦即螺桿不可能移動至 0mm，所以射出時間越長其射膠量就越多，因此渦流試片重量與流長也隨之增加，而四個參數中以射出速度對流動性之影響最大。

由圖五不同射速所擷取實際 V/P 位置之位置與時間相互對應下得知，射出速度越快時，螺桿之 V/P 切換點位置越靠近射嘴端，亦即熔膠充填進入模穴之料量也較多，所以射出速度越快渦流試片之重量較重、流長較長，充填成型性比較佳。

另由圖六中得知，改變射出壓力、射出時間、保壓壓力對於實際射出充填製程之最大射速是沒有太大的影響，而在其它製程參數不變的情況下，隨著射出速度水準的上升，螺桿實際最大射速隨之明顯增加；當於低射速水準時，由於螺桿移動射出動能不足，導致射出機無法達到所設定之射出速度水準，當於較高射出速度水準時，由圖中可知實際最大射速能夠達到所設定之射出速度，其原因在於射出速度增加時，剪切率增加使得剪薄效應增強，熔膠高分子摩擦黏滯熱增加，因此熔膠黏性降低，流動阻力降低，流動性增強，所以擷取到的最大射速也較高。

再由圖七、圖八可得知，射出速度從 20 mm/sec 增至 100 mm/sec 時，所擷取螺桿於 V/P 位置之射速隨之增加；然而射出速度從 100 mm/sec 增至 180 mm/sec 時，螺桿於 V/P 位置之射速隨之降低，此乃因為於較快射出速度時到達最大射速所需的時間較短，已充填進入模穴的料量也較多，因此於 V/P 位置點之充填流動阻力變大，所以到達 V/P 位置時之螺桿實際射速會明顯降低。至於改變射出壓力、射出時間與保壓壓力等水準，對於螺桿於 V/P 位置時之實際射速則沒有太大的影響。



在不改變射出速度、射出壓力與射出時間的水準下只改變保壓壓力水準時，當設定保壓壓力在 0 kgf/cm² 與 30 kgf/cm² 時所擷取的實際螺桿位置中有回彈的現象，而在保壓壓力設定在 60 kgf/cm²、90 kgf/cm² 與 120 kgf/cm² 時其擷取的實際螺桿位置中則無回彈的現象，如圖九所示。

綜合前述討論可以得知，使用射出速度 140 mm/sec、射出壓力 120 kgf/cm²、射出時間 0.6 sec、保壓壓力 60 kgf/cm² 等製程參數水準製作聚乳酸(PLA)生物分解高分子材料渦流試片的成型性較佳。

二、PLA 不同回收料含量 wt% 對流動性之影響

在 PLA 的不同回收料含量中，PLA 隨著回收料含量的增加渦流試片重量隨之增加（如圖十所示），當與純料(0wt%)之渦流試片重量比較時，回收料分別添加 10 wt%、25 wt%、50 wt% 與 100 wt% 時，渦流試片重量分別增加了 0.85 %、6.86 %、11.98 % 與 25.31 %。另由圖十一可知，隨著 PLA 回收料含量的增加，渦流試片流長亦隨之增加，回收料分別添加 10 wt%、25 wt%、50 wt% 與 100 wt% 時，在渦流試片流長分別增加了 3.97 wt%、10.48 %、18.7 % 與 41.8 %。

在熔液流動指數實驗中，PLA 材料的不同回收料含量比例增加時，MI 值隨著回收料的含量增加其 MI 值隨之提升，在 PLA 回收料為 100 wt % 時 MI 值遽增，如圖十二所示。因此，由渦流試片實驗與熔液流動指數實驗中得知，適當的添加回收料有助於增加聚乳酸(PLA)生物分解高分子材料渦流試片的流動性。

伍、結論

本研究中探討可生物分解高分子材料之製程流動特性，並研究回收料含量 wt% 對流動性之影響，從整個研究過程中可以得到如下之結論：

1. 射出時間越長其射膠量越多，因此渦流試片重量與流長也隨之增加，而四個參數中以射出速度之影響最大，充填成型性比較佳。
2. 當於低射速水準時，由於螺桿移動射出動能不足，導致射出機無法達到所設定之射出速度水準，於較高射出速度水準時，實際最大射速能夠達到所設定之射出速度。
3. 射出成型製程中，保壓壓力設定在 60 kgf/cm² 以上螺桿才不會發生回彈的現象。
4. 使用射出速度 140 mm/sec、射出壓力 120 kgf/cm²、射出時間 0.6 sec 與保壓壓力 60 kgf/cm² 等製程參數水準製作 PLA 材料的渦流試片成型性較佳。
5. 適當的添加回收料有助於增加聚乳酸(PLA)可生物分解高分子材料渦流試片的流動性。

參考文獻

- [1] 楊斌, "PLA 聚乳酸環保塑膠", 五南圖書公司, pp.2~23, (2010)。
- [2] 張寧和張俊杰, "生物高分子材料聚乳酸研究新進展", 河北理工大學學報第 32 卷, 第 3 期, pp.116~120, (2010)。
- [3] 尤浚達, "聚乳酸-最具發展潛力的生分解材料", 塑膠百年特刊, pp.32~42, 塑膠工業技術發展中心, (2007)。
- [4] Huda M.S., Drzal L.T., Mohanty AK, Misra M., "Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: a comparative study.", *Composites Science and Technology*, Vol. 66, pp.1813–1824, (2006).
- [5] 巫江昌, "生物可分解材料射出成型參數最佳化之研究", 臺灣科技大學碩士論文, (2006)。
- [6] 張振璋, "聚乳酸分解性塑膠之射出成形特性研究", 建國科技大學碩士論文, (2007)。
- [7] 陳立偉, "保壓過程之模溫控制對於聚乳酸、聚乳酸/ 洋麻纖維和聚乳酸/蒙脫土射出成形品的高次構造形成之影響", 交通大學碩士論文, (2008)。
- [8] Richard Haibach, "INJECTION-MOLDING DEGRADATION OF BIODEGRADABLE POLYLACTIDE", *ANTEC*, pp.2055–2059 (2007).
- [9] H.L. Toor, R.L. Ballman and L. Cooper, "Predicting Mold Flow by Electronic Computer" *Modern Plastics*, Vol.39, No.12, pp.117 (1960)。
- [10] 蘇冠樺, 林佳弘, 林志清, "經多次回收加工之聚酰胺 6 工程塑料之特性" 高分子研討會, 清華大學, p.137, (2005)。
- [11] 李汪章, "以事業廢棄物資源化建立企業競爭優勢之研究—以台灣水產業為例", 元智大學碩士論文, (2000)。
- [12] Tantakom, "Processing Strategies for Thin Wall Injection Molding", *SPE Tech. Paper*, 367, (1998).
- [13] 賴文六, "解讀塑膠射出成型機油壓回路", *機械月刊*, 0342, pp.97~105, (2004)。
- [14] T. A. Miller, "Thin-Walled Injection Molding Study: Effect of Melt Temperature on Structure-Property Relationships", *SPE ANTEC Tech. Paper*, 3, 4267-4271. (1995).



表一 PLA 渦流試片製程條件表

實驗分組	料溫 $^{\circ}\text{C}$	模溫 $^{\circ}\text{C}$	射速 mm/sec	射出壓力 kgf/cm 2	射出時間 sec	保壓壓力 kgf/cm 2
1	200	45	20	120	0.6	60
			60	120	0.6	60
			100	120	0.6	60
			140	120	0.6	60
			180	120	0.6	60
2			100	60	0.6	60
			100	90	0.6	60
			100	120	0.6	60
			100	150	0.6	60
			100	180	0.6	60
3			100	120	0.4	60
			100	120	0.5	60
			100	120	0.6	60
			100	120	0.7	60
			100	120	0.8	60
4			100	120	0.6	0
			100	120	0.6	30
			100	120	0.6	60
			100	120	0.6	90
			100	120	0.6	120

備註：保壓時間0.05 sec、V/P位置0 mm

表二 PLA 不同回收料含量渦流試片固定製程條件

料溫 $^{\circ}\text{C}$	模溫 $^{\circ}\text{C}$	射速 mm/sec	保壓壓力 kgf/cm 2	射出時間 sec	射出壓力 kgf/cm 2
200	45	100	60	0.6	120

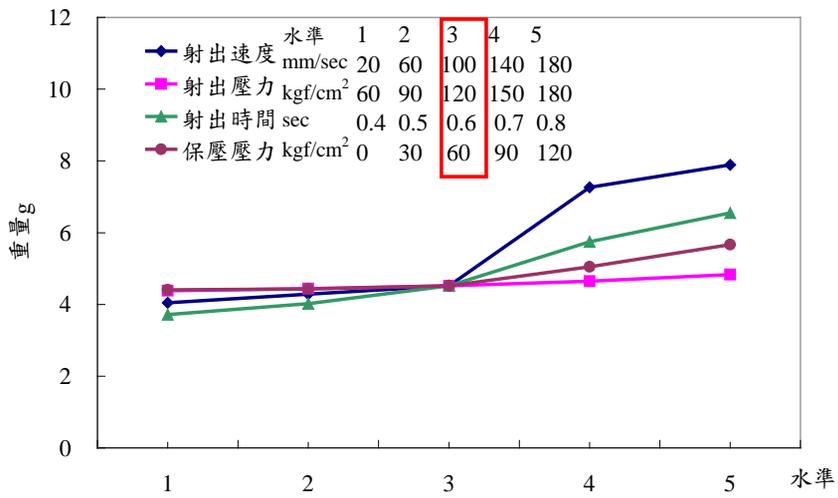
備註：保壓時間0.05 sec、V/P位置0 mm



圖一 渦流試驗模具

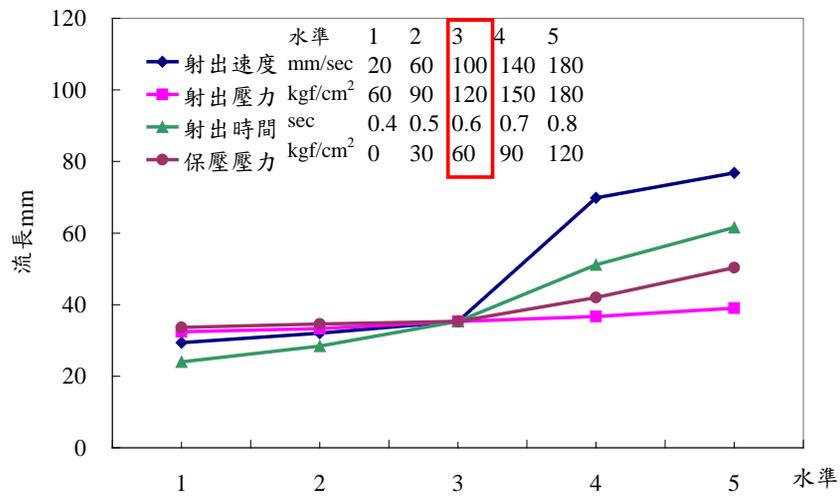


圖二 渦流試片成品

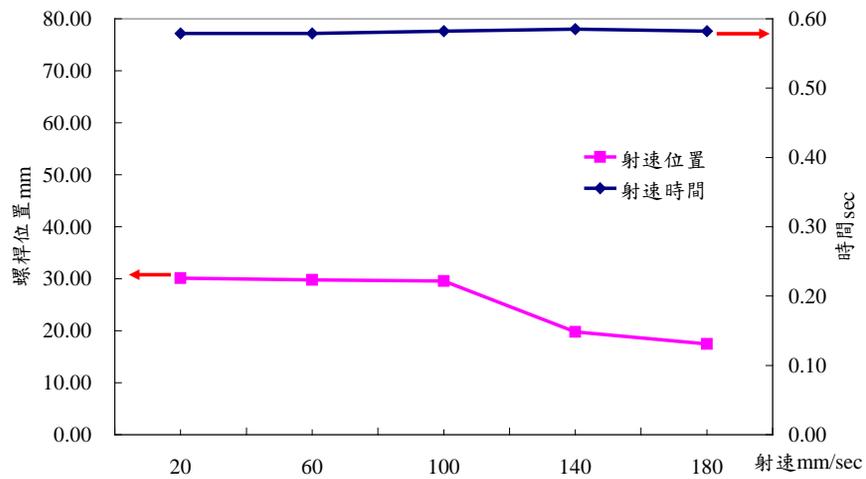


圖三 不同製程條件 PLA 純料渦流試片之重量

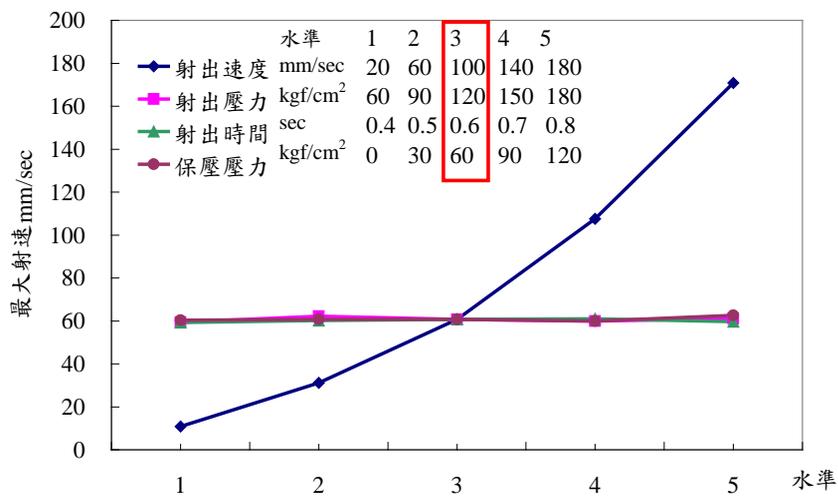




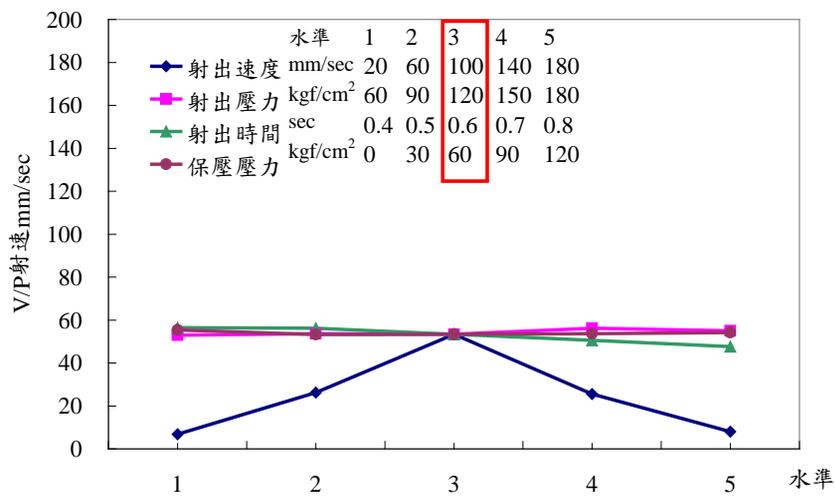
圖四 不同製程條件 PLA 純料渦流試片之流長



圖五 不同射速所擷取實際 V/P 位置之位置與時間

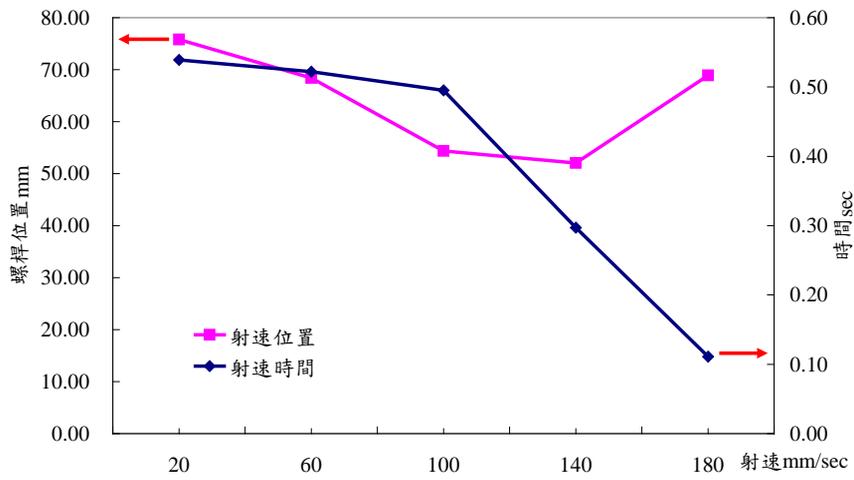


圖六 不同製程條件所擷取實際最大射速

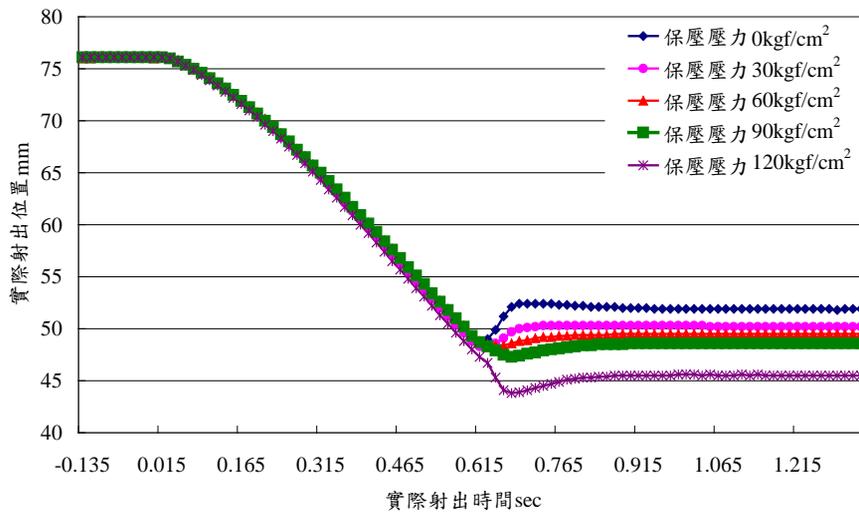


圖七 不同製程條件所擷取實際 V/P 位置之射速

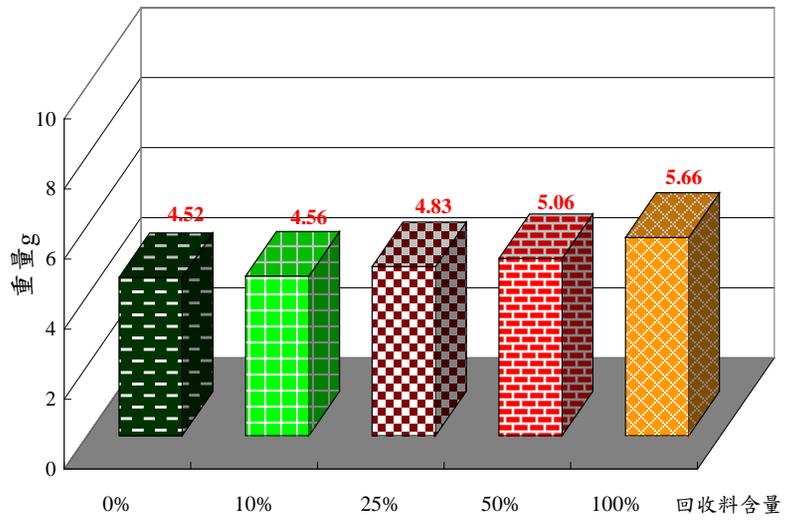




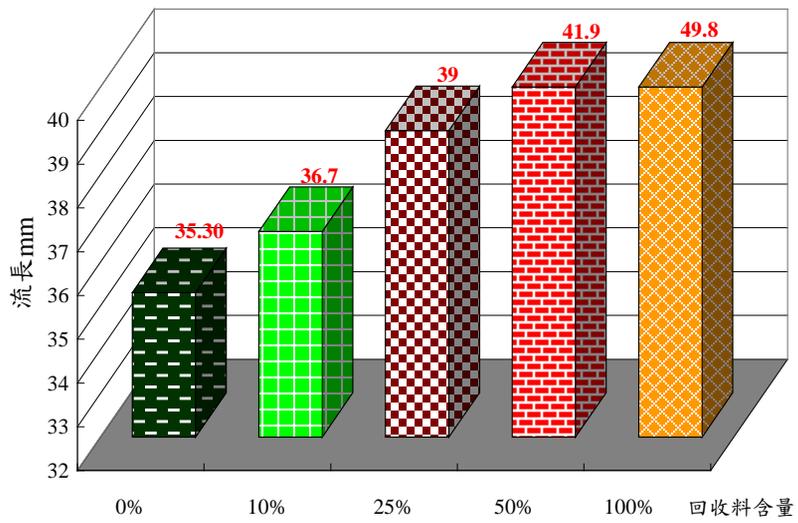
圖八 不同射速所擷取實際最大射速之位置與時間



圖九 不同保壓壓力時所擷取實際螺桿位置

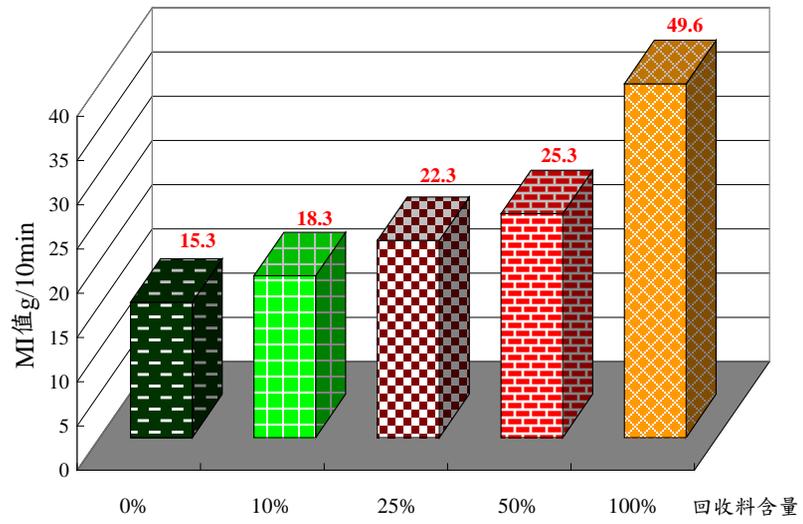


圖十 不同回收料含量渦流試片之重量



圖十一 不同回收料含量渦流試片之流長





圖十二 不同回收料含量渦流試片之 MI 值