

# 水溶芯材應用於中空射出成型之產品

## A Water-soluble Core for Manufacturing Hollow Injection-molded Products

楊朝龍<sup>1\*</sup>、林忠志<sup>2</sup>

國立虎尾科技大學 機械與電腦輔助工程系

\*E-mail: 10820136@gm.nfu.edu.tw

### 摘要

傳統上要用射出成型製作一體成型的複雜特徵中空件，如：汽車進氣歧管、導風管等非常困難，目前僅金屬熔芯射出成型效果最佳。但金屬熔芯射出技術投資成本高，且可以適用的塑膠材料種類以高性能工程塑膠為主，無法普及。本研究發展使用氯化鈉 NaCl 成分加上黏著劑製作成芯型胚(Core)，再組裝到芯型的塑膠殼成為具殼水溶芯(Enveloped Soluble Core)，具殼水溶芯同時具備剛性與韌性，於高壓之射出製程中可抵擋射出壓力不會碎裂或是變形，達成生產一體成型複雜特徵中空件。本技術需進行產品設計，分別是中空件產品圖產生兩個設計圖，一個用於做內層的殼；另一個為外層皮設計圖，以使用於此成型技術。為了使芯型胚具有足夠的強度來抵抗射出高壓，以及後續能夠快速地溶出型芯，使用田口方法針對黏結劑含量、加工壓力、熟成時間與加工溫度等製備芯型條件為控制因子，透過變異數分析 ANOVA 檢驗各因子的貢獻度，找出最佳組參數水準組合。實驗結果表明由氯化鈉所製成的型芯於抗壓表現上能夠承受約 3 MPa 的壓力，而能代表型芯分離速度的溶出率在表現上也呈現傑出的 16 g/min\*L。此外溶解於水中的氯化鈉能夠完整的回收再利用，以提供再次製備型芯。此實驗模型以特殊的三通管路來驗證此方法於射出成型上生產中空件的可行性，證實使用此方法可替代目前昂貴成本的金屬熔芯射出成型。

**關鍵詞：**射出成型、水溶性型芯、中空件、田口方法

### Abstract

To manufacture a complicated hollow product without any assembly process, for example, the plastic intake manifold, is difficult by the traditional injection molding method. The fusible-core technique, which uses a low melting point alloy as a sacrificial core, was developed to solve this problem; however, the limited selection of resin type and the huge capital investment have caused this technique to spread slowly. In this work, a novel method is established that can produce similar products without the limitation of resin type, as well as a lower energy consumption process. The concept of the enveloped-core defined by a water-soluble core assembled with a shell is proposed herein; it provides both rigidity and toughness to resist the pressure during the injection molding process. The shape of the enveloped-core equals the internal contour of the designated product. An insert molding process is introduced to cover the enveloped-core with a skin layer. Cut out the end of the enveloped-core and immerse it into a water bath. When the water-soluble core inside the shell is dissolved, the product with a special internal contour is accomplished. A tee-joint has been presented to demonstrate how the proposed method can be utilized. The optimal ingredient of the core and processing parameters are determined by the Taguchi method. The result shows that the

proposed product is molded successfully when the compressive strength of the core is larger than 3 MPa. In addition, the eccentricity measurement of internal contour of the tee-joint is down to 9.9 % and the required time for the core removal is less than 60 s.

Keywords: injection molding, water-soluble core, insert molding, Taguchi method

## 1. 前言

汽車進氣歧管在引擎輸入端中有著極為重要的功用，其功能為引導空氣與汽油混合並輸入至汽缸中進行點火。在空間有限的引擎室裡要將進氣歧管安裝在空慮與引擎之間這大幅限制了進氣歧管的形狀特徵，因此在設計上其外觀如同蛇般的曲折蜿蜒。BASF詳細的說明了汽車進氣歧管如何從金屬製品逐漸轉為塑膠製品，早期金屬製成的歧管藉由鑄造的方式完成，歧管在砂模與砂芯的使用下一體成形，但成品在重量、尺寸精度以及成本方面皆不盡如人意，因此在材質上逐漸被塑膠替代，由塑膠製成的歧管不僅改善了金屬歧管的缺點，光滑的管壁提供引擎更加順暢的油汽混合，使引擎馬力有所提升；但製程上若要保持一體成勢必需要使用由低熔點金屬製成的型芯，因此在製作與移除型芯上增加了不少成本且僅適用於部分工程塑膠；此外塑膠歧管可將其分為多個部件藉由射出成型的方式生產，再透過膠合、二次射出與超音波熔接等方式將其組裝完成，雖然比起一體成形的歧管無須高昂的成本，但成品在接合處的強度較為薄弱，因此使用在高頻率震動的引擎上將導致歧管壽命下降[1]。

碳纖維複合材料所製成的自行車空心骨架，過往藉由氣袋或由聚苯乙烯製成的保麗龍充當製成時的型芯，氣袋僅適用於形狀特徵簡單處；保麗龍需要而外的設備來製備，兩者皆為一次性型芯在移除後無法回收。Xiao學者等人研究由食鹽與海藻糖製成的型芯並應用於碳纖維複合材料中空件上，研究中型芯抗壓強度可達57 MPa、溶出率為 $1.23 \text{ Kg}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ，在製程結束後只須將成品浸泡於水中即可將型芯移除，且食鹽與海藻糖回收性高可重複使用，降低了製程成本以及對環境友善[2]。

本研究引用了Xiao等人在型芯上所使用的氯化鈉為主要芯材與海藻糖為黏結劑製成型芯，且將該型芯實踐於熱塑性射出成型上，達成幾何特徵較為複雜且為一體成形之產品，並探討其設計構想與研究結果。

## 2. 中空件設計與分析

### 2.1 中空件設計

實驗的模型為據有三個開口且通道轉彎處皆為直角的三通管如圖1所示，由於鹽芯(食鹽與海藻糖製成的型芯)的機械強度、表面粗糙度與尺寸精確度在射出成型上表現不如預期，因此在製作型芯時賦予一層”芯殼”，使其能抵擋射出時的高溫與高壓樹脂，芯殼設計流程與方式如圖2所示，圖中可將先前已設計完成的成品分為內外兩層，內層能襯托出成品內部特徵並提供空間能容納鹽芯放置使其成為芯殼；外層(皮層)則襯托出成品外部形狀並於包覆射出時將芯殼結合成一體，而芯殼除了提供鹽芯放置外，還設計出兩項功能，一項為卡扣功能用以結合兩兩芯殼成為完整的型芯，另一項為芯殼外側的支撐端其功用為進行皮層射出時使芯殼定位於模具中且為懸浮狀態。

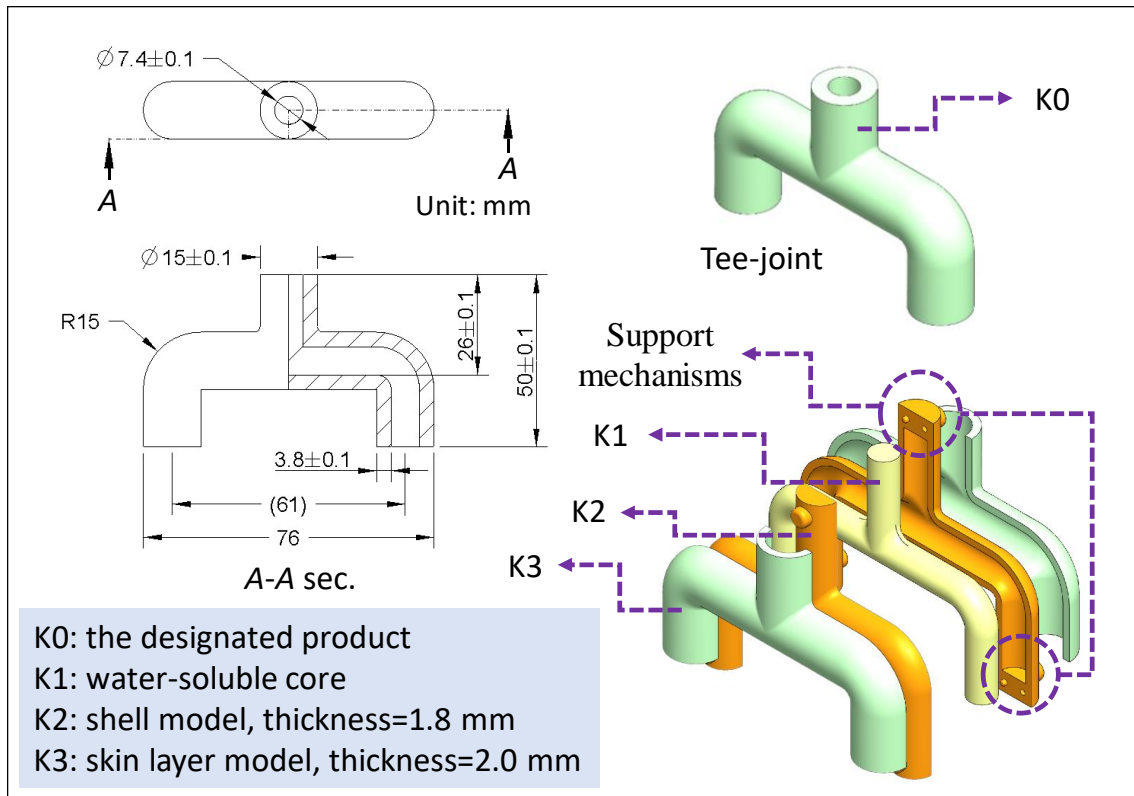


圖1 實驗模型三通管

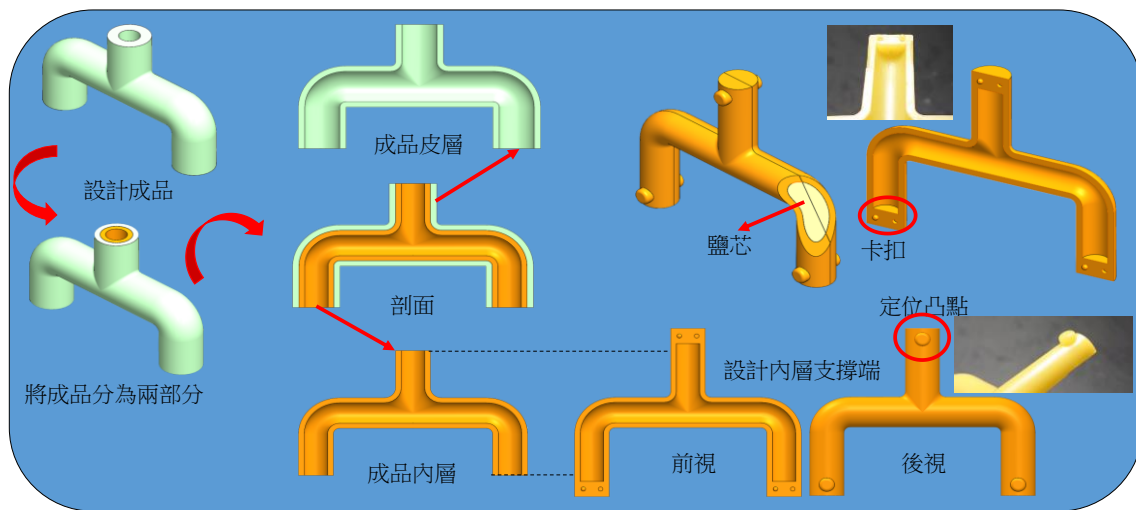


圖2 實驗模型三通管

## 2.2 型芯變形位移分析

針對皮層包覆射出時芯殼有無置入鹽芯進行位移變形模擬，圖3結果圖中分別為無置入鹽芯進行包覆射出模擬(a)與置入鹽芯再進行包覆射出模擬(b)，再無置入鹽芯的模擬中其變形量最高為0.5501 mm；而在置入鹽芯後最高變形量下降為0.3153 mm是前述的57%。由此可以得知鹽芯補足整體型芯包覆射出時的抗壓性，而芯殼的高韌性使型芯能在射出當下保持鹽芯的完整性且吸收大部分的射出壓力。

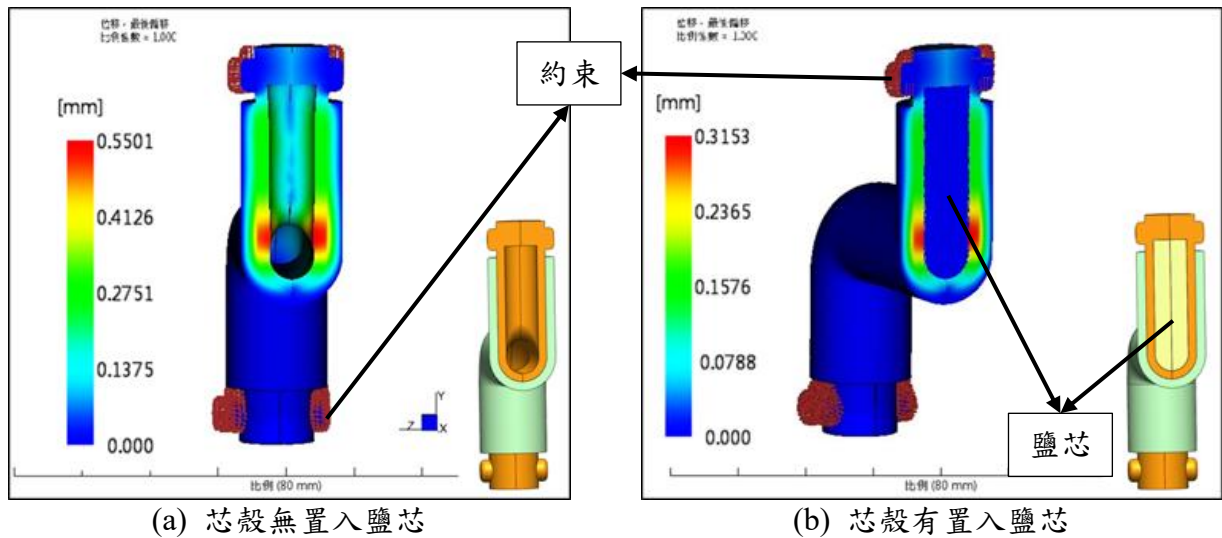


圖3 芯殼有無置入鹽芯之位移與變形分析結果圖

### 3. 實驗設計

#### 3.1 田口方法

由於型芯在模具中為懸空狀態且與形變中的材料接觸面積甚廣，這表示所承受的壓力也相對較高因此對於型芯的剛性要求尤為重要，而成型後型芯與成品需要進行分離，透過將帶有型芯的成品浸泡於水中使型芯與水接觸進而溶解完成分離，溶解過程中所需的時間也會間接影響生產的成本。

本研究在射出成型中應用由食鹽與海藻糖製成的型芯 - 鹽芯，探討鹽芯在射出成型模具中的可行性，以及運用田口方法針對黏結劑含量、加工壓力、加工時長與加工溫度等型芯製備條件為參數控制因子探討鹽芯的強度與移除速率等品質特性，實驗控制參數如表1所示。每組試驗有四個樣本進行壓縮並計算其平均值(Ave)、標準差S與S/N比，標準差與S/N比公式詳見式(1)與式(2)。

$$\text{標準差 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (1)$$

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

$n$ 為樣本數四個、 $\bar{y}$ 為四個樣本之平均值(Ave)

表 1 實驗控制參數

Parameters	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
A (Binder proportion)	wt%	10	15	20
B (Processing pressure)	Bar	0.23	0.47	0.7
C (Processing time)	min	30	45	60
D (Processing temperature)	°C	120	150	190

### 3.2 抗壓強度

為了更精確地透過田口方法實驗出鹽錠的最佳製程條件，排除不同形狀特徵的樣本將有可能會影響測試結果，故在測試的樣本將統一為相同的形狀特徵如圖4所示，將鹽與海藻糖的混合物(淨重16 g)置入於四個直徑為40 mm的模具中並在上層施加鋁錠，而鋁錠的上層放置壓板與重物最後進行烘烤。其中鹽與海藻糖的比例、重物、烤箱溫度皆為研究參數。

每組田口組合皆有四個鹽錠樣本( $\phi 40 \times 15$  mm)進行壓縮，由萬能試驗機HT-2402並搭配10 KN壓縮荷重單元以1 mm/min壓縮速率進行壓縮試驗，並擷取樣本的應力-應變數據，壓縮治具為一副 $\phi 60$  mm的S45C中碳鋼圓柱體，如圖5所示。

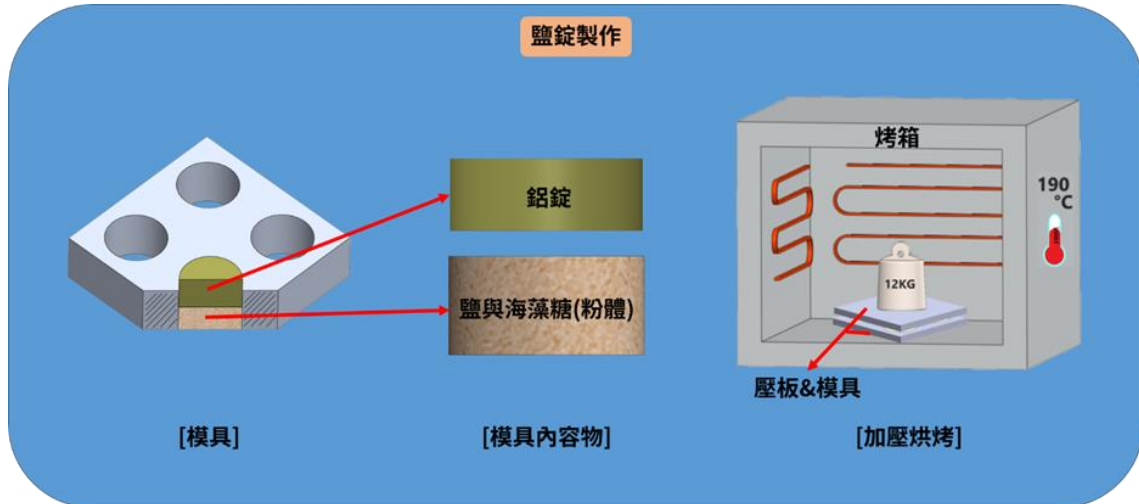


圖4 鹽錠製作方式

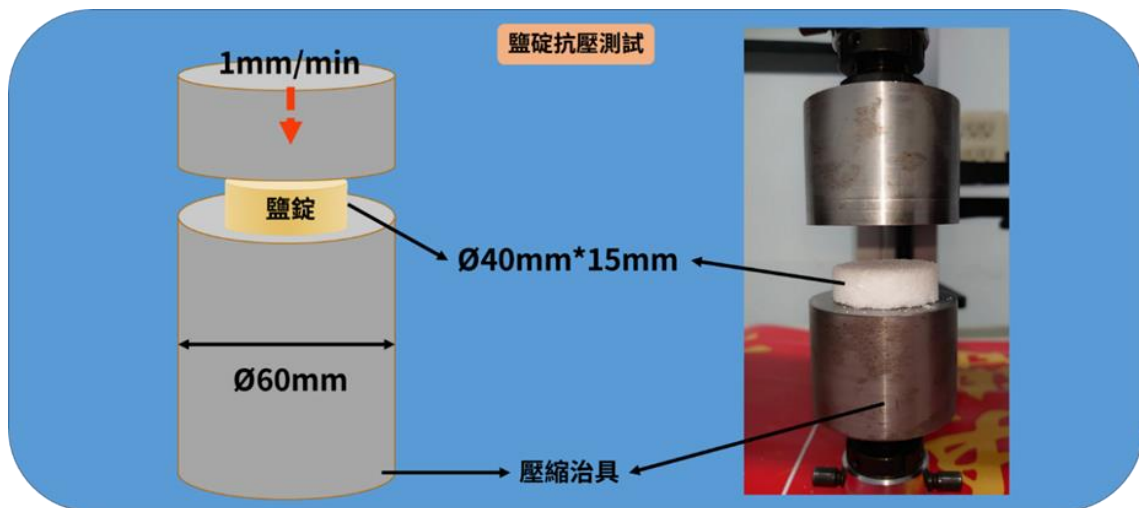


圖5 鹽錠壓縮測試

#### 3.2.1 抗壓結果

圖6為田口L9抗壓試驗應力應變圖並分為高(藍線)中(紅線)低(黑線)三組表示，其中抗壓強度最高為第9組試驗(藍實線，20 wt%、0.7 Bar、45 min、120 °C)；最低為第1組(黑長虛線，10 wt%、0.23 Bar、30 min、120 °C)，9組抗壓實驗之平均、標準差、S/N比與其製程參數均列於表2。

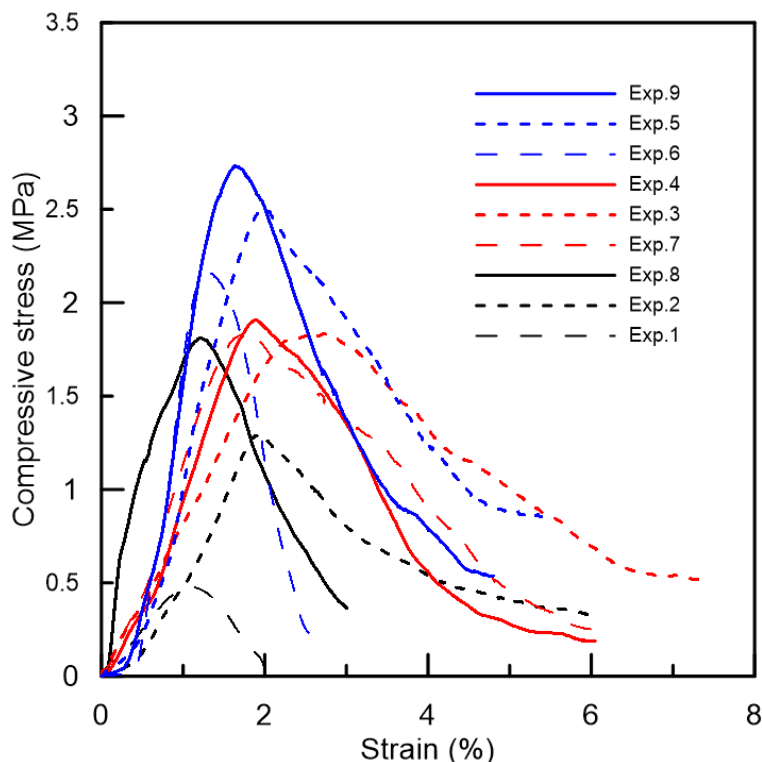


圖6 田口L9抗壓強度應力應變圖

表 2 田口抗壓強度試驗結果

Exp	A (wt%)	B (Bar)	C (min)	D (°C)	Ave	S	S/N
1	1	1	1	1	0.48	0.21	-8.29
2	1	2	2	2	1.29	0.32	1.29
3	1	3	3	3	1.83	0.40	4.61
4	2	1	2	3	1.90	0.30	5.36
5	2	2	3	1	2.73	0.49	8.37
6	2	3	1	2	2.15	0.56	5.98
7	3	1	3	2	1.83	0.39	4.69
8	3	2	1	3	1.81	0.41	4.64
9	3	3	2	1	2.78	0.49	8.87

使用9組實驗數據之S/N比分別計算出各因子在各水準的平均數，再將各因子最大的水準平均數剪去最小值則為該因子對於整組實驗的影響程度(Range)，田口最佳參數水準組合為海藻糖比例：20wt %；製程壓力：0.7 Bar；製程時間：45 min；製程溫度：190 °C

### 3.3 溶出速率

根據總溶解固體(Total dissolved solids,TDS)的定義為在一公升的水中溶有多少毫克溶解性固體，單位為mg/g或ppm。現今量測TDS值大致分為乾燥法與導電度法，乾燥法為將取樣而來的樣本放置於103~105 °C環境中，待樣本水溶液蒸發後量測剩餘溶質的質量，此方法適合大部分待測溶質且量測數據精準，但需要較長的時間且無法量測水溶液濃度的即時變化；

而導電度為法運用溶質在水中解離時造成水溶液具有導電性的原理進行量測，如圖7所示，在水溶液中施予正負電極時水中解離的離子將會往相反的極性靠攏，透過導電度單位可以換算 $1\text{ mS/cm}=500\text{ ppm}$ 總溶解固體。

圖8為運用Arduino搭配TDS量測模組進行成品溶出率紀錄之示意圖，樣本在容量為3公升的容器中進行溶解率量測，為了防止成品於水溶液中溶解時造成濃度不均的問題，在容器底部搭配磁力攪拌器以便水溶液有適當的均勻性，而測量的依據如圖9所示，將記錄每組樣本的溶出率從基準0%至100%所消耗的時間，

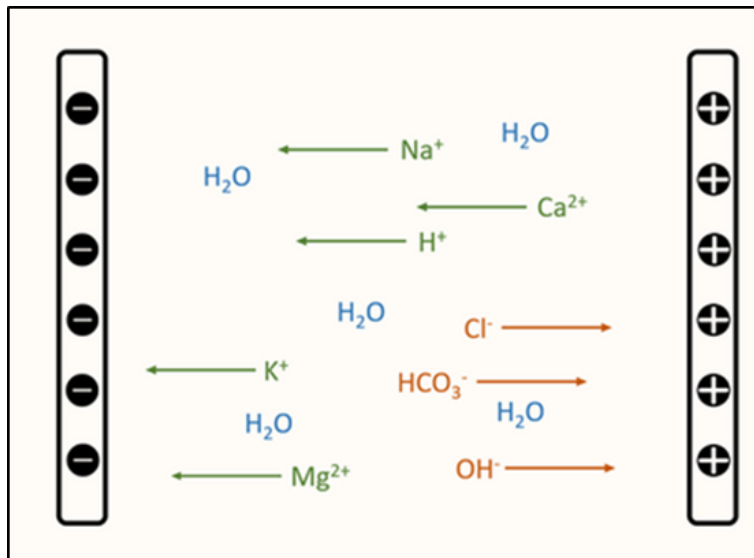


圖7 溶質在水中解離示意圖

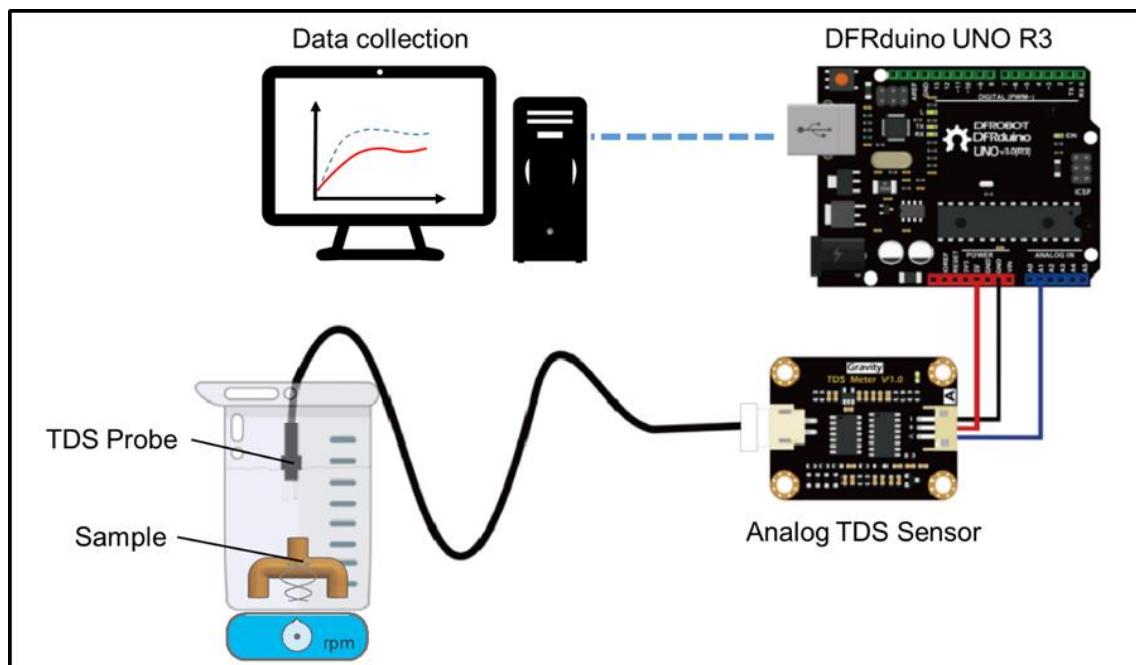


圖8 運用Arduino搭配TDS量測模組進行成品溶出率紀錄示意圖

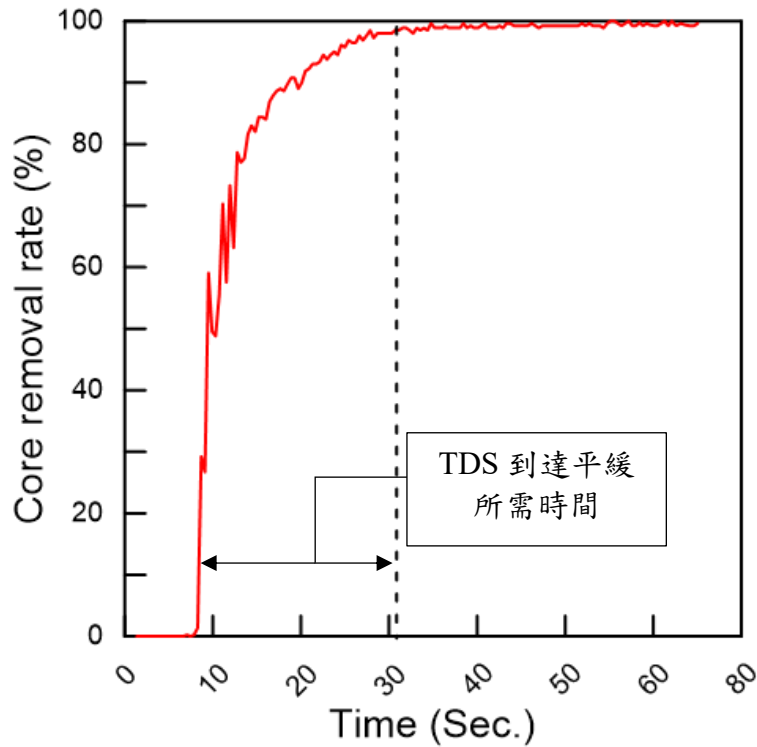


圖9 三通管溶出率之量測依據

### 3.3.1 溶出速率結果

量測的結果如表3所示，由於溶出速率的快慢決定生產的時間與成本，因此在S/N比計算上適用望小品質特性其公式如式(3) n為樣本數四個，後續使用9組實驗數據之S/N比分別計算出各因子在各水準的平均數，再將各因子最大的水準平均數剪去最小值則為該因子對於整組實驗的影響程度(Range)，最後再將且各因子的影響程度進行的排名如表4所示，因子D製程溫度為影響程度最高；因子B製程壓力為最低。

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

表 3 溶出速率結果表

Exp	A (wt%)	B (Bar)	C (min)	D (°C)	Ave	S	S/N
1	1	1	1	1	12.71	0.39	-22.09
2	1	2	2	2	12.53	0.85	-21.97
3	1	3	3	3	13.62	0.71	-22.69
4	2	1	2	3	13.35	0.87	-22.52
5	2	2	3	1	12.01	1.14	-21.62
6	2	3	1	2	10.88	0.09	-20.74
7	3	1	3	2	12.74	0.25	-22.10
8	3	2	1	3	12.72	0.50	-22.09
9	3	3	2	1	13.45	0.49	-22.58



表4 成品溶出率之因子反應表

S/N	A (wt%)	B (Bar)	C (min)	D (°C)
Level 1	-22.25	-22.24	-21.64	-22.09
Level 2	-21.63	-21.89	-22.36	-21.60
Level 3	-22.26	-22.00	-22.14	-22.44
Range	0.63	0.34	0.72	0.83
Rank	3	4	2	1

#### 4. 水溶芯應用於射出成型

圖10為鹽芯應用於射出成型流程圖，首先將預壓成型的鹽芯置入由ABS樹脂射出成型的芯殼中，透過芯殼內部的卡扣可將兩份芯殼組合成完整型芯，而型芯上的定位點可將型芯精準且穩定的安置於模具上，待模具合模後使型芯懸浮於模具中，為了使芯殼與皮層具有良好的結合性同樣也使用ABS樹脂，包覆射出後須切除用於定位的支撐端，再將其浸泡於至水中待內部鹽芯完全水解於水中即可獲得成品。

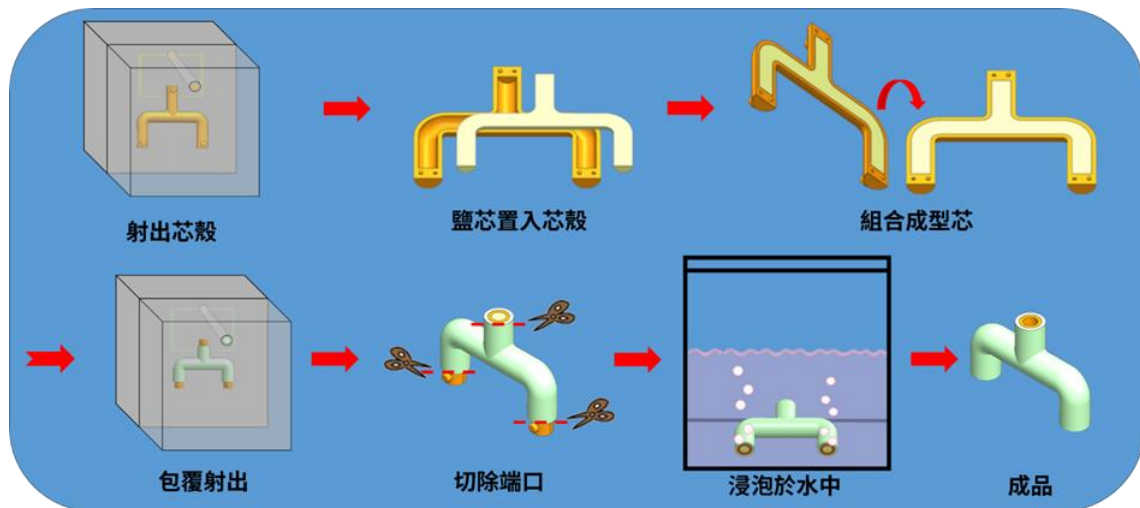


圖10 鹽芯應用於射出成型示意圖

##### 4.1 成品尺寸量測

當進行皮層的包覆射出時，高溫高壓的熔融樹脂可能會對芯殼造成擠壓變形，迫使原截面為正圓的芯殼變形為橢圓形，而鹽芯抗壓強度越高能抵禦芯殼變形的能力越高，透過量測三通管內部管徑的橢圓長短軸並計算橢圓離心率，可得知芯殼在該截面的變形程度。圖11為三通管經包覆射出後的變形示意圖，熔融樹脂經由澆口注入模穴時會使芯殼沿Y軸方向往內壓縮，經壓縮產生變形的芯殼形狀特徵會趨向橢圓形，透過三次元量床可量測管內橢圓特徵的長軸A與短軸B，若僅觀測1/4的橢圓則長短軸即為a與b，經由式(4)可計算出橢圓的半焦距c，而離心率 $\epsilon$ 的計算方式由公式(5)式可計算出。實驗中將會以最佳參數水準組合來製作出鹽芯並結合芯殼進行包覆射出，且將與未置入鹽芯的芯殼之包覆射出比較，量測三通管截面橢圓數據共有五處如圖12所示。

$$\text{焦距 } c = \sqrt{a^2 - b^2} \quad (4)$$

$$\text{離心率 } \varepsilon = \frac{c}{a} \times 100 \% \quad (5)$$

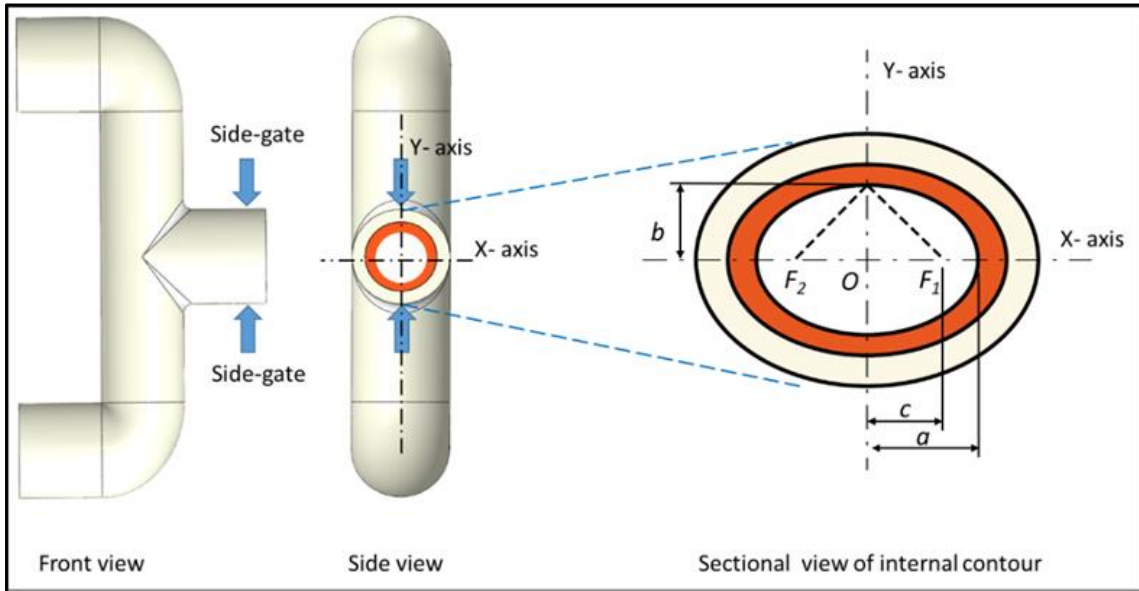


圖11 三通管截面經壓縮變形為橢圓示意圖

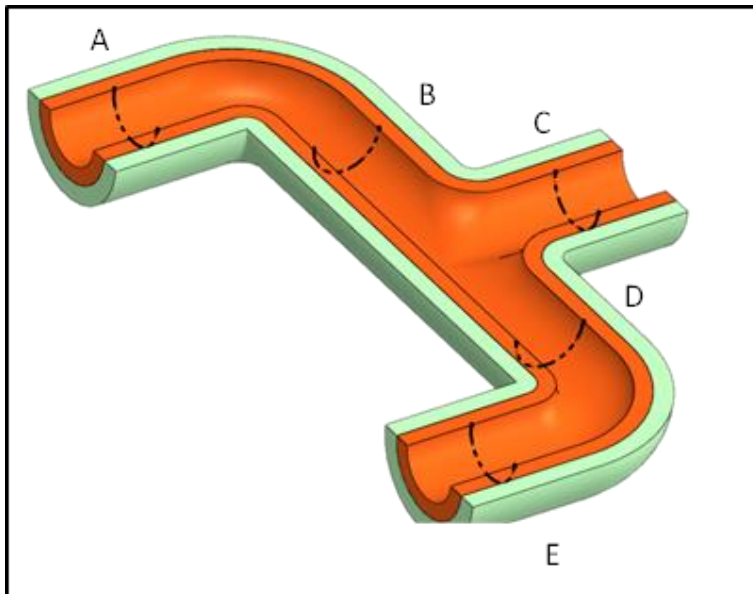


圖12 量測橢圓數據的樣本5處位置

圖13為三次元量床量測三通管內部管徑的橢圓長短軸後再經由公式計算出其離心率與量測對應位置之結果，結果顯示相較於無置入鹽芯的單一芯殼，使用最佳參數水準組合所製成的鹽芯並置入於芯殼進行包覆射出，其橢圓離心率平均減少23.85%，橢圓離心率越低則表示樣本的內徑截面越接近正圓。

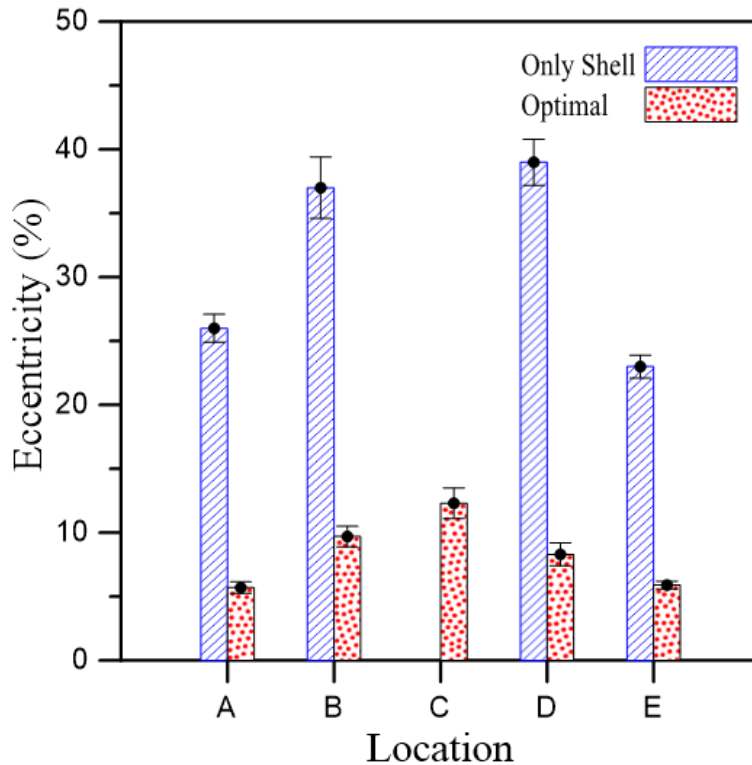


圖13 偏心率量測結果圖

## 5. 結論

使用田口抗壓強度的最佳參數水準組合來製作三通管特徵形狀的鹽芯，並且量測成品管徑的橢圓偏心率，結果顯示相較於無置入鹽芯的單一芯殼，使用最佳參數水準組合所製成的鹽芯並置入於芯殼進行包覆射出，其橢圓偏心率平均減少23.85 %。而成品的溶出速率在9組組合裡溶出速率最快的時間為10.88 s；最慢則為13.62 s，且影響程度最大的因子為製程溫度；最低為製程壓力。

## 6. 誌謝

本論文為科技部計畫編號MOST-109-2637-E-150-005之計畫，由於科技部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 7. 參考文獻

1. Klaus Fischer, BASF, “Materials for the fusible-core technique and half-shell technique”.
2. Xiao, Z., Harper, L.T., Kennedy, A. R., Warrior, N.A., “A water-soluble core material for manufacturing hollow composite sections”, *Composite Structures*, 2017, 182, 15, Pages 380-390.