

作品名稱：

離子化電噴灑及靜電紡絲軟硬體設備之開發

Development of Electrospraying and
Electrospinning Equipment

中山大學/機電系/黃婉琮/B033022028 (奈米纖維敷料製造)

中山大學/機電系/王仁宏/B023021029 (系統控制)

中山大學/機電系/乙陳豪/B023021032 (硬體設備)

中山大學/機電系/卓訓瑜/B023021028 (遠端控制)

指導教授：林韋至 老師

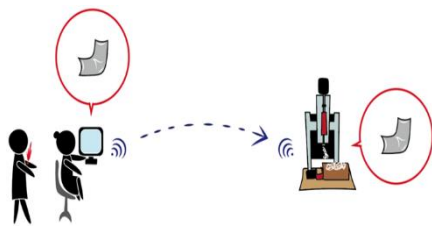
一、摘要

此研究為製造高分子奈米纖維敷料，及自行設計與製造敷料之電紡設備。此實驗選用聚己內酯紡出奈米絲狀與球狀纖維，調整電壓、材料濃度、針頭孔徑、針孔與收集板距離與溶液流速參數，並從紡出之 120 個纖維樣本中，找出纖維直徑小至奈米、均勻且不具球狀纖維之最佳化參數。而設備以 Ameba 開發板、可程式控制系統、訊號輸入裝置如人機介面、訊號輸出裝置如自製三軸滑台模組與氣體推進模組等組成，並具可遠端操控此設備的功能。

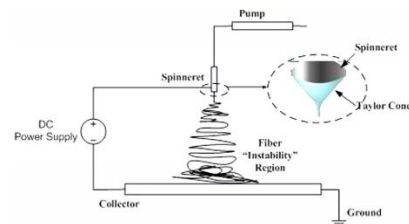
二、研究動機與目的

於 2015 八仙塵暴事件，根據新聞報導，人工皮明顯供應不足，目前人工敷料也因具黏附性，拆除時，常對傷口造成二度傷害。而開發此敷料與設計此設備動機為以下：

1. 材料優化：以目前最常使用的生醫材料聚己內酯(Polycaprolactone, PCL) 電紡成奈米不織布纖維敷料，能結合藥物，貼附皮膚，降解材料直接釋放藥物至皮膚。且此具高孔隙率、高體表面積比與微孔結構，使其透氣性佳、重量輕與高效能釋放藥物，降低以往藥物的濫用與浪費。
2. 便利性與客製化：此新興膚料藉由自製自動化設備，加快其生產速度，並具備可遠端操控機台[1]，未來有機會可透過網路，客製化敷料，示意圖如圖(一)。



圖一：概念示意圖



圖二：電紡示意圖[1]

二、研究內容

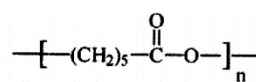
本實驗施加高電壓於電紡針頭，並牽引以聚己內酯為溶質的高分子導電溶液至平面收集板，其中針尖的溶液產生電荷分離的現象，並突破表面張力，形成泰勒錐，如圖二[2]，溶液內水份於牽引的過程中揮發，形成奈米纖維或顆粒纖維，並採用可程式控制器控制自製三軸滑台模組與氣體推進模組。我們藉由自製電紡及電噴灑設備，針對濃度、針頭與收集板距離、電壓、溶液推進速度與針頭孔徑等參數作探討，進而找出各參數間的相互關係，及最佳化之參數。

3.1 實驗材料準備與配置

材料配置方面主要為兩大項，第一項為聚己內酯 (Poly(ϵ -caprolactone), PCL) 原材料之合成，本實驗所使用之 PCL 材料為自行合成之 2b-120 PCL。第二部分則為電紡及電噴灑溶液之配置，將第一部分自行合成之 2b-120 PCL 做為溶質，結構如圖三，是由辛酸錫作為催化劑與四亞甲基二醇的末端羥基混合而成[3]，而六氟異丙醇(Hexafluoroisopropanol, HFIP)為溶劑，根據公式 (一)，加入特定重量的 PCL 於 HFIP 溶劑中，調配材料濃度，合成範圍從 10%至 50%的溶液。

$$wt\% = \frac{PCL \text{ 重量 (g)}}{HFIP \text{ 重量 (ml)}} \times 100\%$$

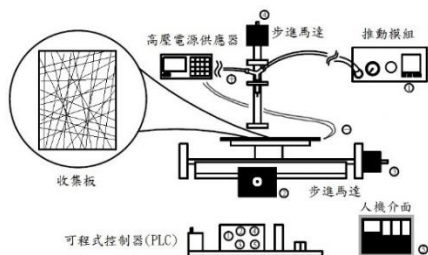
公式 (一)



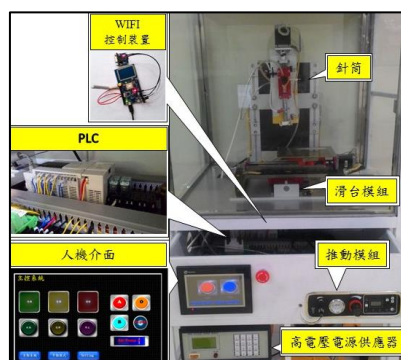
圖三：聚己內酯結構圖

3.2 實驗設備

圖四、圖五為本實驗自行設計製造之設備。設備主要由可程式控制器，接收從人機介面或 Ameba 開發板的訊號，繼而控制自製三軸獨立滑台模組與推進模組，並結合銅製收集板、高電壓電源供應器。



圖四：電紡設備示意圖



圖五：設備圖

3.2.1 主控制系統

由 FX-3U 32M 可程式控制器(Programmable Logic Controller, PLC)，為傳輸、計算與儲存訊號的主要控制裝置，藉著以階梯圖為編輯方式的 GX Developer 8.91V 設計程式。程式設計具手動與自動模式。並且可經輸入裝置調整收集板移動之距離與速度，速度範圍為 0.001mm/s 至 160mm/s。

3.2.2 訊號輸入裝置

3.2.2.1 人機介面 HMI

本實驗採用士林電機 EC 200 系列，具備壓力偵測的人機介面(Human Machine Interface, HMI)根據 EU Program Editor 2.8.2V，可設計控制介面，並於介面上設置電子按鈕連接 PLC 內指定之繼電器，促使控制面板產生的訊號經由 PLC 處理，以設定的頻率與脈衝量傳輸訊號，輸出至指定裝置。並

連接 PLC RS-422 埠，成為傳遞訊號的憑藉。

3.2.2.2 Ameba 開發板

採用實驗室虛擬儀器工程平台(Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, LabVIEW)軟體做為客戶端，以 Realtek 推出的 Ameba 開發板連上 WIFI 作為伺服端接收指令訊號，再將訊號傳入 PLC 來達到遠端控制的目的。

3.2.3 訊號輸出裝置

此實驗中，訊號輸出裝置為滑台模組以及氣體推進模組。滑台模組，主要為 XYZ 三軸獨立，螺距 0.02mm 的三個步進馬達所組成，以 XY 軸作為銅製收集板的移動載台，自由調整收集板移動的速度以及範圍，而 Z 軸除了具有調整針頭與收集板的距離，也可以做為最小可達 0.001mm/s 的推進器使用。並採用 GX Developer 8.91V 編程軟體設計氣體推進模組之推進時間。

3.2.4 銅製收集板與高壓電電源供應器

本實驗採用具良好導電性之銅製平面收集板，並令高電壓電源供應器之負極連接於收集板，正極施加於針頭，形成一高壓電場。

三、結果與討論

4.1 電紡與離子化電噴

藉由調整電紡參數，比較各參數對電紡纖維結果之影響，參數範圍如表 I。

表 I：電紡參數項目與範圍

電壓 (kV)	材料濃度 (%)	針頭孔徑 (G)	針頭與收集板距離 (cm)	溶液流速 (ml/hr)
10~20	10 ~50	18~27	13~19	0.01~2

比較並歸納紡出的 130 個纖維樣品後，參數變化影響最大的是材料濃度，其次是溶液流速和針頭孔徑。而最佳化奈米纖維的參數配置請參考表 II。

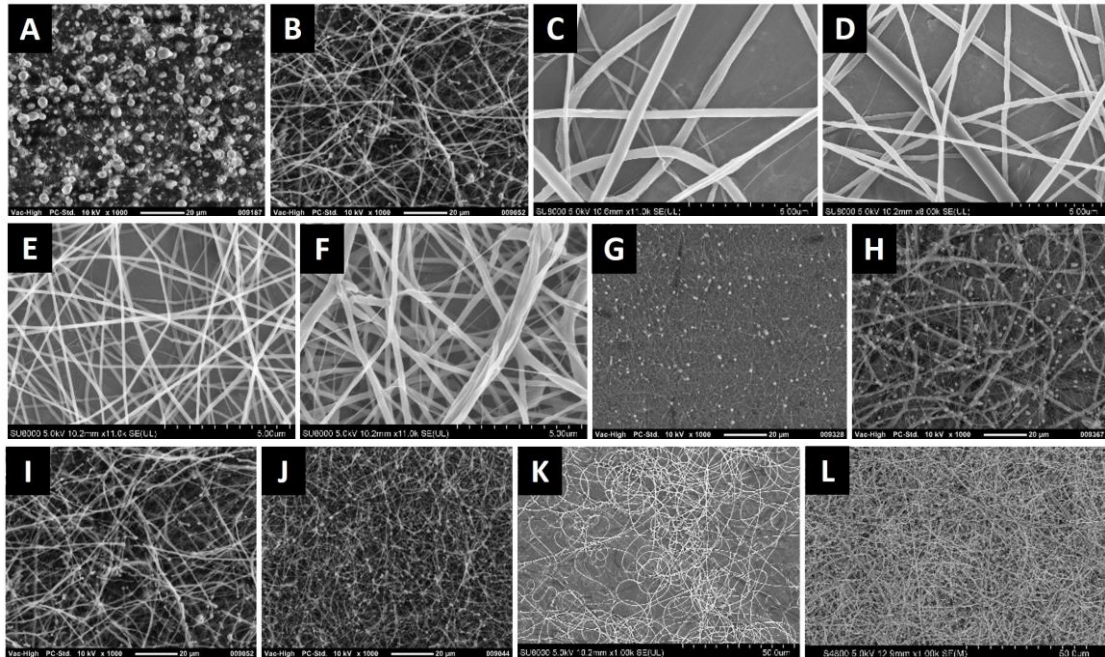
表 II：最佳化奈米纖維之參數配置

電壓 (kV)	材料濃度 (%)	針頭孔徑 (G)	機台高度 (cm)	溶液流速 (ml/hr)
10	30	23	13	0.01

觀察紡出結果，歸納參數影響如下：

材料濃度為 10%以下，維結構以球狀為主；而於 10%至 50%之間，微結構以平均直徑約 200nm 的絲狀為主，如圖四(A)、(B)，而纖維隨濃度的變化如圖(C)、(D)。電壓增加，纖維產量劇增，但直徑均勻度卻下降，如圖四(E)、(F)。針頭與收集板距離越大，纖維直徑越粗，直徑均勻度越低，如圖四(G)、(H)。針頭內徑尺寸的變化，18G 和 23G 的針頭孔徑比較下，隨著

針頭內徑的減少，纖維直徑下降且數量增加，如圖四(I)、(J)。溶液推進速度的增加，使纖維直徑下降，纖維量跟著增加，如圖四(K)、(L)。



圖六：SEM 拍攝之纖維，濃度：(A) 10%球狀纖維 (B) 50%絲狀纖維 (C) 30% (D)40%，電壓參數：(E)10kV (F)20kV，收集板與針頭距離：(G)13cm (H)19cm，針頭大小：(I)27G (J)28G，溶液推進速度：(K) 0.01 ml/hr (L)0.5 ml/hr

4.2 電紡設備結果與討論

自行組裝之設備已可正常使用，並具有多種運作模式。而未來發展，可嘗試同軸電紡，增加此電紡設備的多樣性。

四、致謝

感謝機電系紡生工程實驗室指導教授 林韋至老師的指導，以及陳亦寧學姐的協助。在此，致上感謝之意。

六、參考文獻

1. Velasco, F., et al., *Marine vehicles Web-WiFi platform for remote experimentation programmed in Labview*. IFAC Proceedings Volumes, 2006. **39**(6): p. 186-191.
2. Sarkar, K., P. Hoos, and A. Urias, *Numerical Simulation of Formation and Distortion of Taylor Cones*. Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine, 2013. **3**(4): p. 041001-041001.
3. Chmura, A.J., et al., *Group 4 complexes with aminebisphenolate ligands and their application for the ring opening polymerization of cyclic esters*. Macromolecules, 2006. **39**(21): p. 7250-7257.