

# 112年度氣候變遷創意實作競賽

## 決賽作品說明書

隊伍編號	01 (註：由執行單位統一填寫)
隊伍名稱	師大工教
作品中文名稱	開發閉迴路演算法於線纜絕緣製程 達到減緩對地球衝擊之研究
作品英文名稱	Develop closed-loop algorithm for cable insulation process Research to reduce the impact on the earth

參賽學校：國立台灣師範大學

系所名稱：工業教育學系 科技管理研究所

指導老師：郭金國 教授

團隊成員：宋俊毅 陳柏年

# 開發閉迴路演算法於線纜絕緣製程 達到減少對地球衝擊之研究

宋俊毅 陳柏年

國立台灣師範大學工業教育系科技管理研究所

## 摘要

以大幅度減少絕緣塑膠材料為手段，進而減緩氣候變遷中溫室氣體排放並減少對地球的衝擊，故建立低成本之閉迴路演算法系統。本研究核心專利技術經實驗證實每年可減少 PVC 材料達 13 萬公噸，進而使碳足跡減少 21.3 萬公噸（本研究僅單一線纜產品為計算，若擴展導入，減碳成效將成數百至千倍增加），並符合 SDGs 目標 7、9、12、13 及 14。

本研究將進行控制器進行閉迴路演算法，將開發後的閉迴路裝置真實運用於生產電線電纜之絕緣製程中，並與傳統電線電纜之絕緣製程相對驗證，並且提供數據比較傳統製程與創新製程的異同，實現有別於傳統製程的節能化、自動化、便利化、標準化等多項優點，進而改善目前地球所受到的衝擊現況。

**關鍵詞：**減少對地球的衝擊、碳足跡、閉迴路演算法、光電感測器自動量測。

## Abstract

By means of greatly reducing insulating plastic materials, In order to slow down the emission of greenhouse gases in climate change and reduce the impact on the earth, Therefore, a low-cost closed-loop algorithm system is established. The core patented technology of this research has been confirmed by experiments 130,000 metric tons of PVC materials can be reduced each year, This in turn reduces the carbon footprint by 213,000 metric tons(In this study, only a single cable product is used for calculation. If the extension is imported, The effect of carbon reduction will increase by hundreds to thousands of times), And meet SDGs goals 7, 9, 12, 13 and 14.

This research chief progression controller progression closed circuit operation method, Closed road equipment after initial opening In the actual operation, during the production of the wire cable, Parallel traditional wire and cable manufacturing process

In addition, there are a number of comparisons between the traditional manufacturing process and the innovative manufacturing process, Various advantages such as streamlining, automation, convenience, and standardization of existing traditional manufacturing processes, The current state of impact on earth that is about to be improved.

**Keywords:** Reduce the impact on the earth, closed-loop algorithm, automatic measurement by photoelectric sensor.

# 目次

摘要 .....	i
Abstract.....	ii
目次 .....	iii
表次 .....	iv
圖次 .....	v
壹、研究背景與動機 .....	1
一、從研究背景關係釐清問題界定 .....	1
二、以友善環境作為研究動機 .....	3
1. 使用感測器測量厚度 .....	3
2. 控制的部分 .....	4
貳、系統控制架構設計 .....	5
1. 絕緣層厚度信號的製作與處理 .....	5
2. 閉迴路的構成 .....	9
3. 本研究所使用器材之成本一覽 .....	11
參、為綠色做創新的理念 .....	12
1. 綠色創新的理念內容 .....	12
2. 工業減碳之創新理念的實現 .....	12
肆、閉迴路演算法導入根據 .....	13
1. PID 演算法在絕緣製程上的意義 .....	13
2. 本研究導入製程之根據 .....	13
伍、使用本研究成果於絕緣製程之技巧 .....	14
陸、研究價值與效益分析 .....	16
1. 對於節能減碳方面 .....	16
2. 對於企業生產與管理方面 .....	19
柒、中華民國專利證書 .....	21
捌、參考文獻 .....	22
玖、附錄 .....	24
1. 紀錄照片與註解 .....	24
2. 工作分配 .....	26
3. 因應 5/20 決賽展示之替代方案-以閉迴路演算法控制光 .....	26

## 表次

表 2-1 研究所使用器材之成本一覽.....	11
表 6-1 導入閉迴路前後之比較-對於企業生產與管理方面.....	20

## 圖次

圖 1-1 太平洋電線電纜高壓電纜及中低壓電纜 XLPE 規格表 .....	1
圖 1-2 電線電纜調整厚度流程 .....	2
圖 1-3 閉迴路控制設計流程圖 .....	3
圖 2-1 雷射光幕動作示意圖 .....	5
圖 2-2 電線最簡單的組成-導體與絕緣皮 .....	5
圖 2-3 同時使用二台雷射光幕外徑儀，來獲取絕緣層厚度 .....	6
圖 2-4 二台雷射光幕外徑儀架設完成 .....	7
圖 2-5 基恩斯雷射光幕外徑儀 BCD 碼端子對應表 .....	8
圖 2-6 單一雷射光幕外徑儀轉換 BCD 碼電路設計圖 .....	9
圖 2-7 擠製設備導入閉迴路控制推演圖 .....	9
圖 2-8 閉迴路演算法各項參數關係式 .....	10
圖 2-9 可程式邏輯控制器模組分配圖 .....	10
圖 4-1 絕緣製程在調整要求示意圖 .....	13
圖 6-1 絕緣厚度轉換重量依據 .....	16
圖 6-2 差異比較 .....	17
圖 6-3 聚丙烯碳足跡數值 .....	18
圖 6-4 導入閉迴路前後之比較-對於節能減碳方面 .....	19
圖 7-1 中華民國專利證書 .....	21

## 壹、研究背景與動機

研究者直接將觀察到的現象與想解決問題的構想放在首章做為敘述，可分為規範面未精確制約、操作與調整繁瑣不易、導致人為的操作不當，觀察其製程背景後，得出設計改良改善的動機。其分述如下。

### 一、從研究背景關係釐清問題界定

本研究團隊觀察目前現行電線電纜絕緣層之製造規範，皆以滿足絕緣與耐壓耐溫（簡士恩，2014）為設計要求，故最大厚度並未精準制約，如圖 1-1 所示。

	公稱斷面積	最小平均絕緣厚度	最小平均被覆厚度	約計完成外徑	交流試驗電壓	20°C 最大導體直流電阻	20°C 最小絕緣電阻	約計重量	標準單長
	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	KV/5分	Ω /km	M Ω·km	kg/km	m
單	2.0	1.14	0.38	5.2	5.5	9.24	3500	56	300
	3.5	1.14	0.38	5.8	5.5	5.20	3000	74	300
	5.5	1.14	0.38	6.4	5.5	3.33	2500	98	300
	8	1.40	0.38	7.2	7.0	2.31	2500	133	300
	14	1.40	0.76	9.0	7.0	1.30	2000	200	300
	22	1.40	0.76	10.5	7.0	0.824	2000	284	300
	30	1.40	0.76	11.0	7.0	0.623	1500	350	300
	38	1.65	0.76	12.5	8.0	0.487	1500	451	300
	50	1.65	1.14	14.5	8.0	0.378	1500	570	300
	60	1.65	1.14	15.5	8.0	0.303	1500	690	300
心	80	1.65	1.14	17.0	8.0	0.229	1000	880	300
	100	1.65	1.14	18.0	8.0	0.180	1000	1098	300
	125	1.90	1.65	21.0	9.5	0.144	1000	1400	300
	150	1.90	1.65	23.0	9.5	0.118	1000	1692	300
	200	1.90	1.65	25.0	9.5	0.0922	800	2111	300
	250	1.90	1.65	27.0	9.5	0.0722	800	2669	200
	325	2.29	1.65	30.0	11.5	0.0565	800	3391	200
	400	2.29	1.65	33.0	11.5	0.0454	800	4154	200
	500	2.29	1.65	35.0	11.5	0.0373	600	4996	150

圖 1-1 太平洋電線電纜高壓電纜及中低壓電纜 XLPE 規格表  
資料來源：研究者自行整理。

及節錄出絕緣製程背景如圖 1-2 所示，進行絕緣製程與環境衝擊的關聯說明如下。

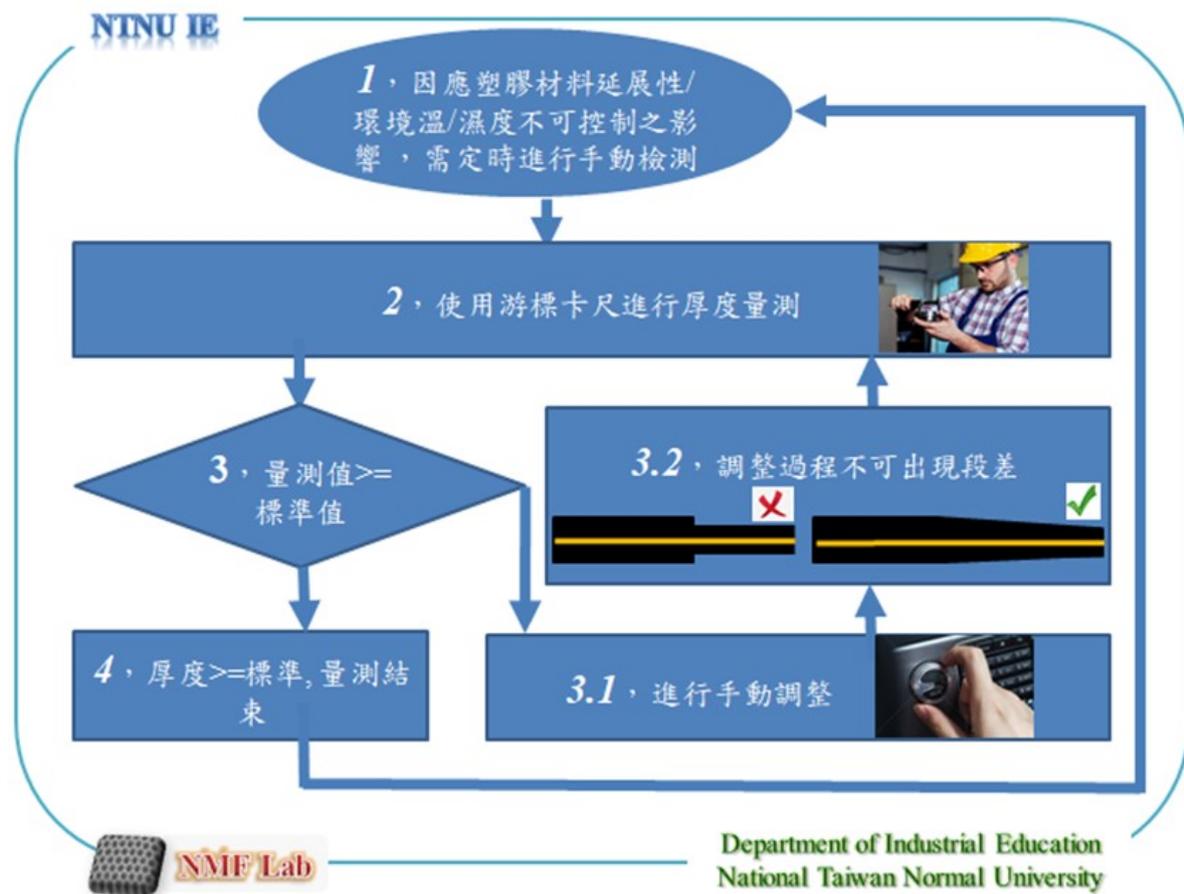


圖 1-2 電線電纜調整厚度流程  
資料來源：研究者自行整理。

如圖 1-2 的步驟 1，在傳統絕緣製程中，通常不會是在無塵室或是潔淨室的封閉環境中，一般會是在普通半開放的室內，塑膠粒在高溫的融溶成半固態半液態的狀態下，經擠製螺桿擠出，同時再經由中空模具的定型即可覆著在導體上，最後已有絕緣層的電線電纜產品便可進行一般自來水的降溫冷卻，此時可發現有三個同時發生的環境因素與材料的因素會導致絕緣層的收縮率不一（呂濤銘，2021）。第一個是半開放的室內下，四季的溫度與濕度皆不一致，第二是冷卻水的溫度不一致，第三用來擠製絕緣製程的材料或混色元素導致收縮率也不一致，傳統作法上會如圖 1-2 的步驟 3.1，工程師會直覺性且合理的將其絕緣厚度開大，以因應製造過程中變形的發生，以滿足製程規範中的絕緣厚度要求，這控管的應對手段是可以接受的。但此時又會衍生新的問題，也就是開大厚度是多大？那麼要以誰的量測數據為準？此時又將衍生出多次量測取平均的

解法，使的本來就繁瑣的測量調整過程更加複雜冗長，如圖 1-2 的步驟 2 到步驟 3、步驟 3.1、步驟 3.2 形成無止境的迴圈，到不了步驟 4。於是乎，為了滿足良品的製造也必須滿足良品的絕緣要求，而衍生出如此繁瑣的測量調整。

此時，回到圖 1-1，在絕緣製程中並無精準制約其絕緣最大厚度，再加上圖 1-2 敘述的調整繁瑣不易，故工程師們索性直接將厚度再開大一點，最終問題不但沒解決還回到浪費原點，甚至更放大了浪費的問題。此時此刻，便是更加劇了氣候變遷與不必要的塑膠浪費的問題起點。

經觀察以上製程背景後，本研究已得知其結論有二點做為研究動機；其一為非人為且可靠的測量塑膠用料，其二為非人為且能精準的控制塑膠用料，方能達到減緩氣候變遷中溫室氣體排放(Yoro & Daramola , 2020)並減少對地球的衝擊。而目前世界上各電線電纜大廠尚無發現此一創新技巧，也是本研究專利核心之價值。

## 二、以友善環境作為研究動機

### 1. 使用感測器測量厚度

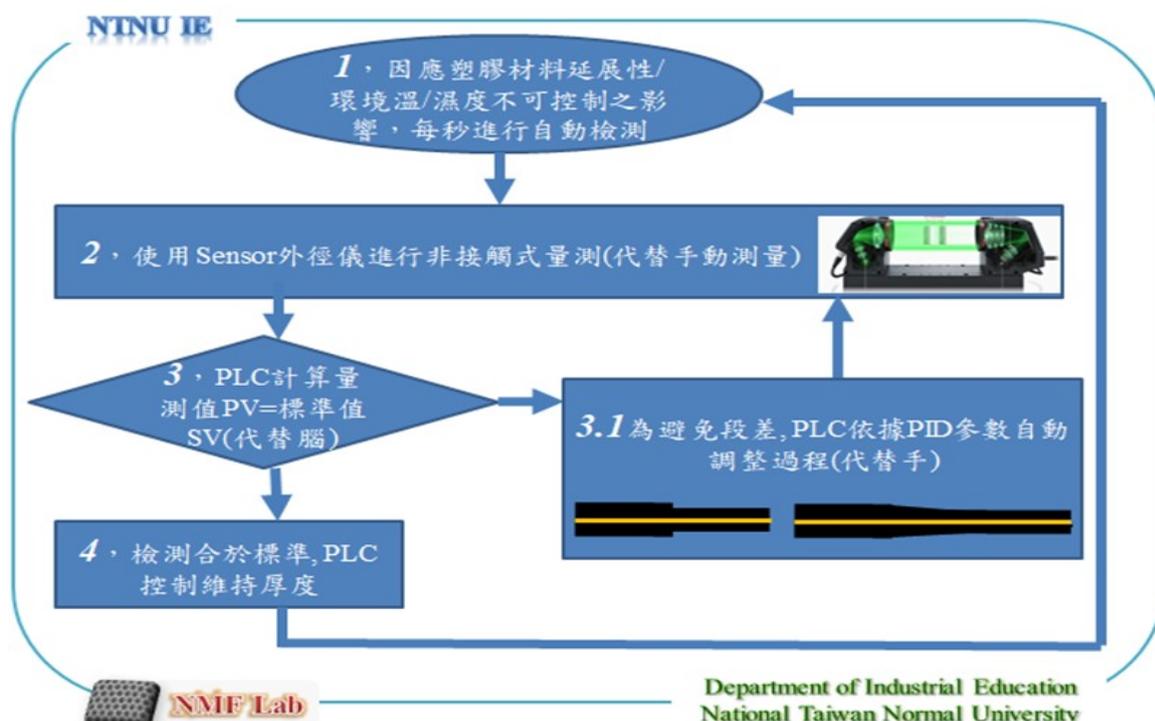


圖 1-3 閉迴路控制設計流程圖

資料來源：研究者自行整理。

研究者從模仿人類行為作為發想來選用感測器(Wilson,2004) ，研究者將二只外徑儀放置在絕緣前與絕緣後的地方作為代替人為量測數據來源如圖 1-3 步驟 2，本研究所採用之光學儀器有個特色是精密度高，可提供小數點後五位之精度，已遠高於游標卡尺小數點後一至三位的精度，故以測量精度來說服企業使用，是非常客觀且有力的。另外由於二只外徑儀皆有機械支架的架設，有別於人為手持游標卡尺量測，故沒有手勢上的問題；最後是計算，由於本研究使用 PLC 將其絕緣前與絕緣後的值作為運算工具，故也沒有人為計算的問題，如圖 1-3 步驟 3。如此一來，繁瑣且大量的人為測量工作便完整的由機器取代

## 2. 控制的部分

閉迴路控制中，測量值已經導入可程式邏輯控制器（PLC）裡做運算(Collins,2007)，並且經由人機介面（HMI）顯示出間接資料厚度值（PV），接下來依據電線電纜的製造規範中決定出設定值（SV）後，透過可程式邏輯控制器（PLC）進行閉迴路控制的 PID 演算法進行數位的運算，便可得到閉迴路控制輸出操作值（MV）的控制結果，可以看到研究者的設計流程如圖 1-2 步驟 3.1 與步驟 4，並利用程式設計的技巧，將閉迴路控制設定為周而復始的迴圈，不停的對整個絕緣製程做精密的監視與控制。

## 貳、系統控制架構設計

本章節將詳細介紹信號的製作與處理及如何進行回授，以構成必迴路的感應單元、目標單元、控制單元三個要素，其分述如下。

### 1. 絕緣層厚度信號的製作與處理

本研究因應絕緣材料特性的不同，採用雷射光幕，其具不受目標顏色、溫度、軟硬、透明且穩定等特色（謝滄岩，1992）故採用雷射光幕外徑儀作為應用範例，其雷射光幕遮斷示意如圖 2-1 所示，以鉛筆為舉例，垂直擺放可得出鉛筆之長度，若將其水平擺放即可得到鉛筆筆身的輪廓，也就是外徑值。

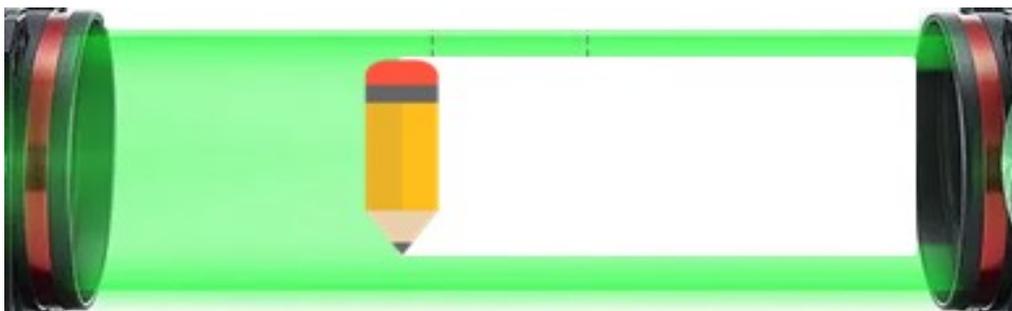


圖 2-1 雷射光幕動作示意圖

資料來源：研究者自行整理。

接下來，研究者簡單分析一下一般電線的結構，大致上可分為導體與塑膠設備沿著導體擠出的絕緣層，如圖 2-2 所示。

### 電線最簡單的組成-銅與絕緣皮



圖 2-2 電線最簡單的組成-導體與絕緣皮

資料來源：研究者自行整理。

研究者使用第二台雷射光幕外徑儀，放置在絕緣製程之前，用來收集導體的直徑。換句話說，必須同時使用二台雷射光幕外徑儀，並將已裹上絕緣層的外徑值，同時利用電腦或控制器減去導體的直徑後間接資料，才是研究者所要的絕緣層厚度，如圖 2-3 所示。

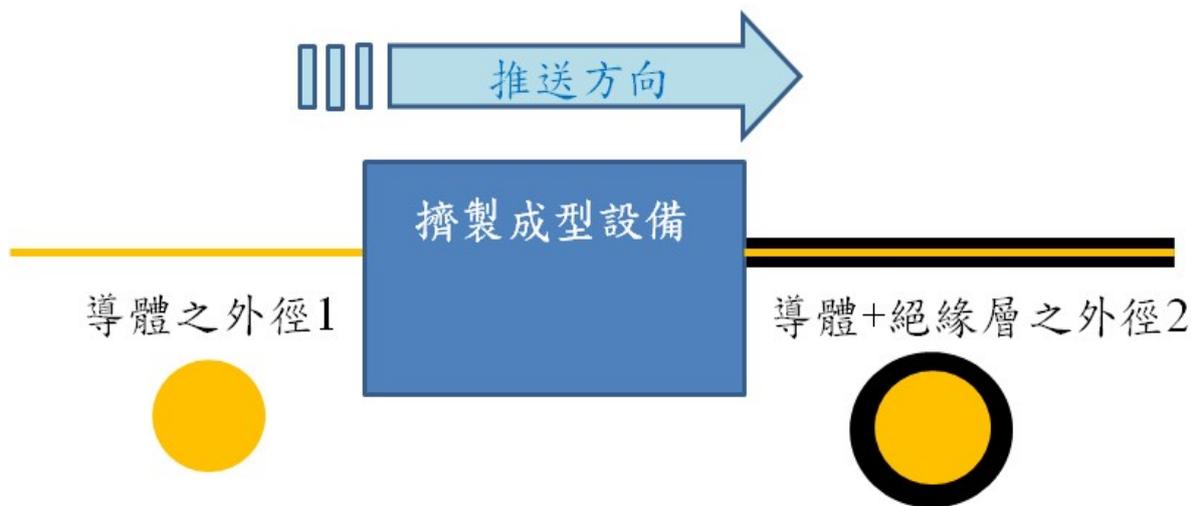


圖 2-3 同時使用二台雷射光幕外徑儀，來獲取絕緣層厚度  
資料來源：研究者自行整理。

此時已可透過二架雷射光幕外徑儀的架設，將厚度轉為數位信號，如圖 2-4 所示。



圖 2-4 二台雷射光幕外徑儀架設完成  
資料來源：研究者自行整理。

此時還需人員做手動的計算，故參閱感應器手冊如圖 2-5 所示，可使用 BCD (Binary-Coded Decimal) 碼進行二架雷射光幕外徑儀的傳送至電腦或程式控制器來做資料收集(P. Alfke, 2008)。

## BCD 模式

端子编号	信号名称	说明	电缆颜色	
1	COM2	通用 I/O (输入/输出) 插座	棕色	
21	BCD POLE	BCD 输出端极性	红色	
2	BCD DIGIT 7 (8)	BCD 输出第 7 位数 (最左边的一位)	棕色	
22	BCD DIGIT 7 (4)		黄色	
3	BCD DIGIT 7 (2)		绿色	
23	BCD DIGIT 7 (1)		蓝色	
4	BCD DIGIT 6 (8)	BCD 输出第 6 位数	紫色	
24	BCD DIGIT 6 (4)		灰色	
5	BCD DIGIT 6 (2)		白色	
25	BCD DIGIT 6 (1)	黑色	NPN 集电极开路输出 ⇒参照第 6-10 页	
6	BCD DIGIT 5 (8)	BCD 输出第 5 位数		棕色
26	BCD DIGIT 5 (4)			红色
7	BCD DIGIT 5 (2)			黄色
27	BCD DIGIT 5 (1)	绿色	NPN 集电极开路输出 ⇒参照第 6-10 页	
8	COM2	通用 I/O (输入/输出) 插座		绿色
28	BCD DIGIT 4 (8)	BCD 输出第 4 位数		蓝色
9	BCD DIGIT 4 (4)			紫色
29	BCD DIGIT 4 (2)		灰色	
10	BCD DIGIT 4 (1)	BCD 输出第 3 位数	白色	
30	BCD DIGIT 3 (8)		黑色	
11	BCD DIGIT 3 (4)		棕色	
31	BCD DIGIT 3 (2)		红色	
12	BCD DIGIT 3 (1)	BCD 输出第 2 位数	黄色	
32	BCD DIGIT 2 (8)		绿色	
13	BCD DIGIT 2 (4)		蓝色	
33	BCD DIGIT 2 (2)	BCD 输出第 1 位数 (最右边的一位)	紫色	
14	BCD DIGIT 2 (1)		灰色	
34	BCD DIGIT 1 (8)		白色	
15	BCD DIGIT 1 (4)	BCD 输出 OUT 编号选择 输出	黑色	
35	BCD DIGIT 1 (2)		棕色	
16	BCD DIGIT 1 (1)		红色	
36	BCD INDICATE OUT 1/2	OUT (输出) 2 选通输出	黄色	
17	OUT2 STROBE		通用 I/O (输入/输出) 插座	
37	COM2		通用 I/O (输入/输出) 插座	
18	BCD SELECT OUT 1/2		BCD 输出 OUT 编号选择 输入	绿色
38	OUT2 TIMING	OUT (输出) 2 定时输入	非电压输入 ⇒参照第 6-9 页	
19	OUT2 RESET	OUT (输出) 2 RESET (重置) 输入		蓝色
39	OUT2 ZERO	OUT (输出) 2 自动量零输入		紫色
20	(不使用)		灰色	
40	AREA1 FUNCTION	ARE (区域) A1 功能输出	NPN 集电极开路输出 ⇒参照第 6-10 页	白色
				黑色

圖 2-5 基恩斯雷射光幕外徑儀 BCD 碼端子對應表

資料來源：台灣基恩斯下載中心 (2017)。LS-7000 BCD 模式。取自

<https://www.keyence.com.tw/download/downloadCart/>

其中雷射光幕外徑儀 BCD 編碼輸出與 PLC 信號設計圖如圖 2-6 所示。

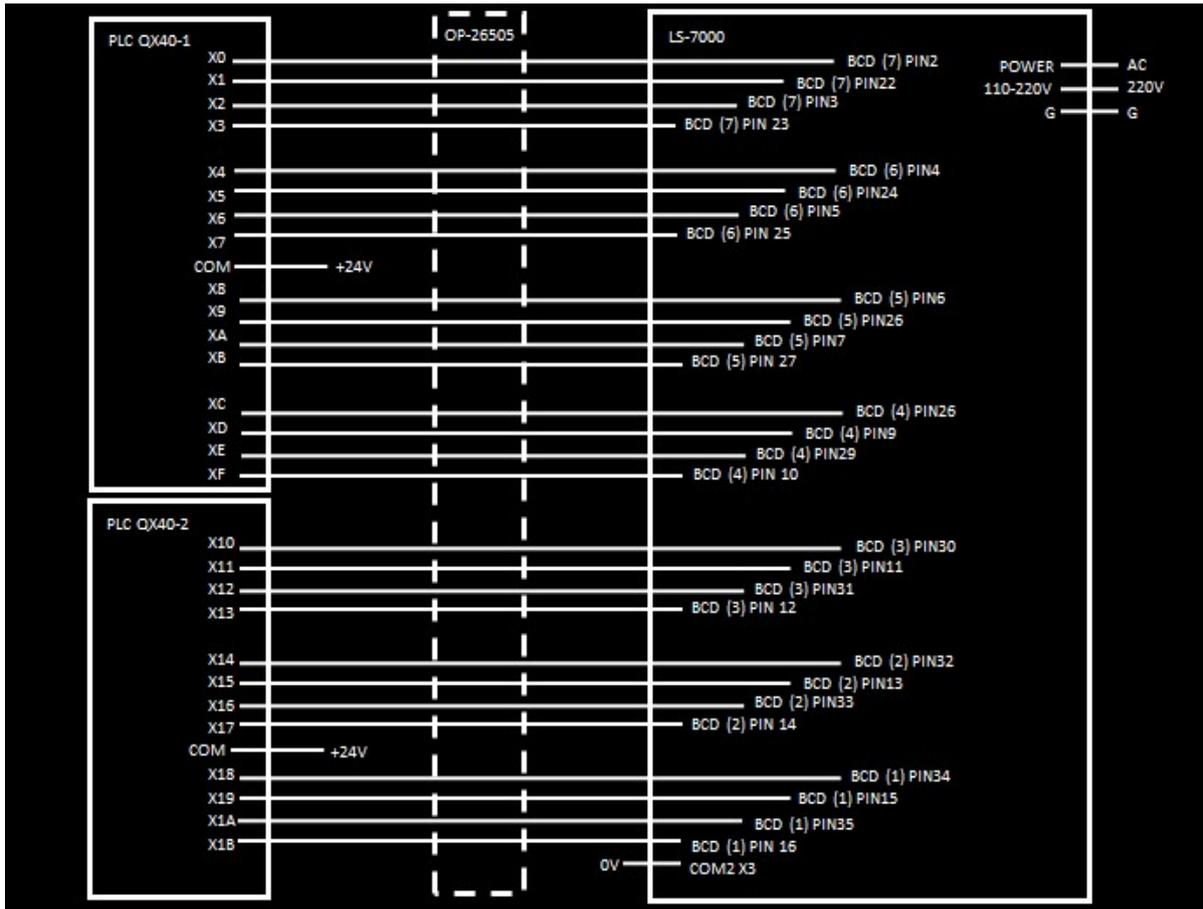


圖 2-6 單一雷射光幕外徑儀轉換 BCD 碼電路設計圖  
資料來源：研究者自行繪製。

## 2. 閉迴路的構成

擠製設備導入閉迴路控制推演圖構成如圖 2-7 所示。

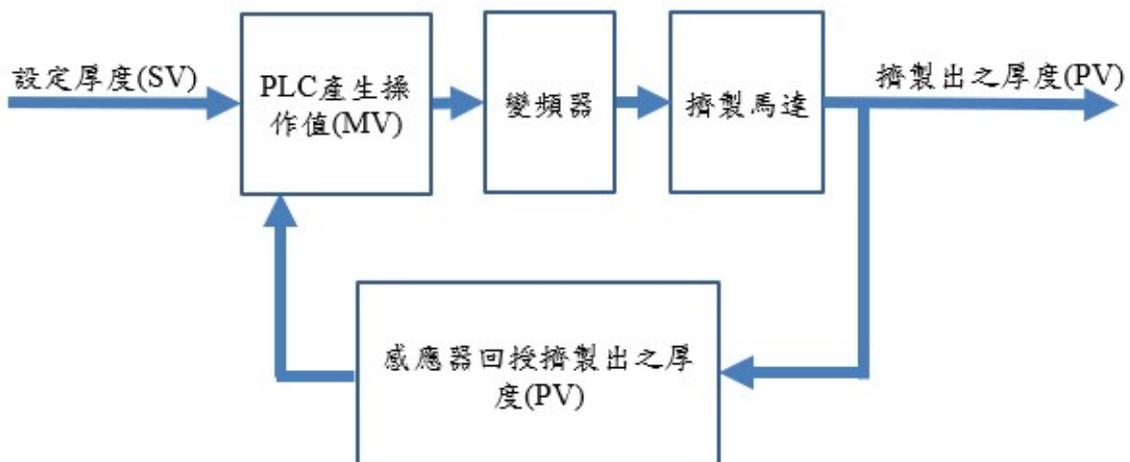


圖 2-7 擠製設備導入閉迴路控制推演圖  
資料來源：研究者自行整理。

本研究所使用 PID 演算法之比例、積分、微分參數三者之關係表示如圖 2-8 所示。

$$u_c(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) d(t) + K_D \frac{de}{dt}$$

圖 2-8 閉迴路演算法各項參數關係式

資料來源：Araki, M. (2009). PID control. *Control Systems, Robotics and Automation: System Analysis and Control: Classical Approaches II*, 58-79.

PLC 接收二只雷射外徑儀 BCD 碼後，換算為厚度值，再進入 PID 演算法得出控制擠製馬達的控制，可程式邏輯控制器運作如圖 2-9 所示。

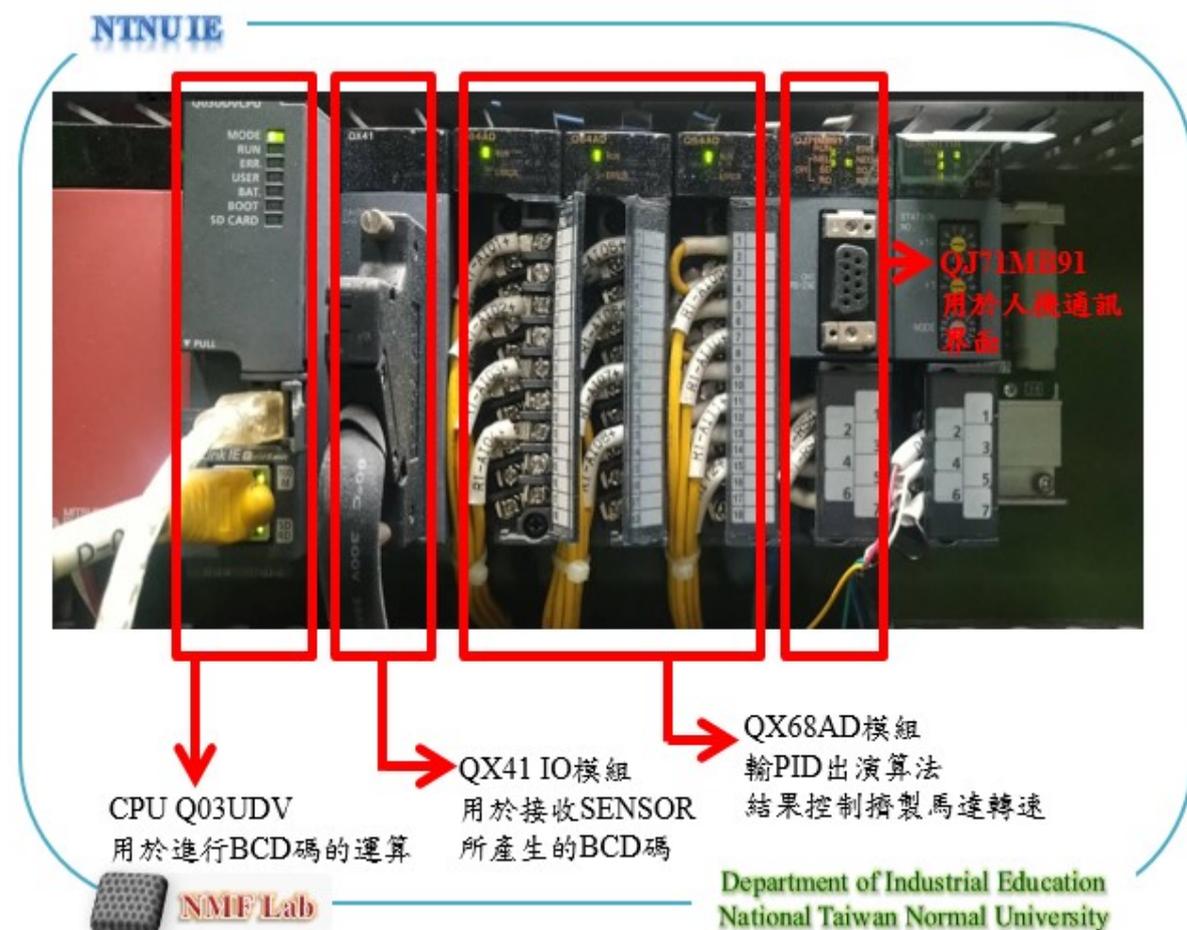


圖 2-9 可程式邏輯控制器模組分配圖

資料來源：研究者自行設計。

### 3. 本研究所使用器材之成本一覽

本研究開發成本為 11 萬 8 千元，即可創造出節省 PVC 材料達 13 萬公噸，進而使碳足跡減少 21.3 萬公噸（僅單一線纜產品為計算），且單一控制器可使用 8 組閉迴路控制，若滿載 8 組閉迴路導入進行絕緣塑膠的生產監控，成本與效益將變為 **14,750 元/170.4 萬噸**，可謂低成本，高效益。

表 2-1

本研究所使用器材之成本一覽

編號	名稱	型號	所需數量與價格	總計
1	CPU	Q03U DV	1 台，約 12,000 元	
2	輸入模組	QX40	4 片，共約 9000 元	
3	類比輸出模組	Q64DAN	1 片，約 8,000 元	
4	輸出模組	QY80	1 片，約 1,000 元	
5	連接底盤	Q38B	1 片，約 3,000 元	118,520 元
6	電源供應器	Q61P	1 片，約 1,000 元	
7	人機介面	4301T	1 片，約 12,000 元	
8	Mini-USB	不限	1 條，約 50 元	
9	網路線	不限	1 條，約 70 元	
10	雷射外徑儀	不限	2 架約 70,000 元	

資料來源：研究者自行整理。

## 參、為綠色做創新的理念

本研究專利核心技術以綠色節能減碳之與減緩氣候變遷為初衷，做為開發目的與相關文獻探討，歸納出對塑膠成型機進行閉迴路控制達成綠色節能減碳之與減緩氣候變遷之有效方法。經實驗證明能有效且穩定的減少在絕緣製程中對天氣與海洋、與人類的衝擊，產品品質面也印證可獲得大幅度的提昇與更上層樓的有效方法，故有必要對工廠設備進行創新的設計與改良。

### 1. 綠色創新的理念內容

將現有量測的設備或工具如游標卡尺、千分表之機械信號轉為數位信號之過程，並將其數位信號與閉迴路演算法之內容進行設計與實現，將開發後的閉迴路裝置真實運用於生產電線電纜之絕緣製程中，並與傳統電線電纜之絕緣製程相對驗證，並且提供數據比較傳統製程與創新製程的異同，實現有別於傳統製程的節能化、自動化、便利化、標準化等多項優點，進而改善目前地球所受到的衝擊現況。

### 2. 工業減碳之創新理念的實現

應用閉迴路演算法達成節能減碳之方法，是針對電線電纜絕緣製程原本傳統製程上的測量不便性，操作複雜性，與耗費人力等特性所改善的有效方法，以能有效解決傳統製程上污染的問題，達到工業減碳為前題設計，減少對地球與環境的衝擊且減少塑膠對全人類身體健康之危害(Halden,2021)同時提高企業產品良率的提升與成本的降低，是全面性且有效的方法。

## 肆、閉迴路演算法導入根據

本章節為敘述現場觀察絕緣塑膠的製程後，利用閉迴路的原理並對閉迴路之參數做量身訂做的改寫設計，其分述如下。

### 1. PID 演算法在絕緣製程上的意義

Visioli, A. (2006) 研究顯示，其操作值 (MV) 由比例 P、積分 I、微分 D 等三個關鍵因素所產生，根據三個標準定義公式進行推導後，清楚得知操作值比例、積分、微分三者的應用可解釋為：控制量 (MV) = 依當前變化做反應 + 參考過去變化和做穩態控所得到的斜率作為預測之值所得到的 PID 演算法的結構 (張道弘，1997)。

### 2. 本研究導入製程之根據

研究者認為，無論再好的科學或是再好的演算法，在使用並導入之前都應該先徹底瞭解與學習應用場域的操作與手法，仔細並深入瞭解後，再回過頭來研究該科學或是演算法是否適用或是必須進行數學模型上的調整，故本研究導入絕緣製程在調整上的要求根據，如圖 4-1 所表示。

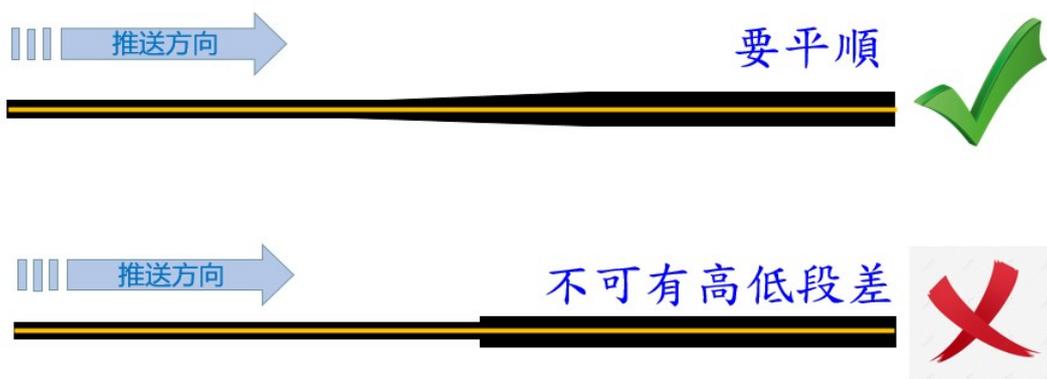


圖 4-1 絕緣製程在調整要求示意圖  
資料來源：研究者自行整理。

## 伍、使用本研究成果於絕緣製程之技巧

由圖 5-1 所示，在滿足製程規範前題下，在絕緣製程上在做絕緣厚度調整時，不能夠出現段差，若出現段差將造成不能出貨，而這個過程時間越長，肉眼越不容易發覺，固需要有一定的過程時間，而這段時間越長，對操作手的工作壓力越大。研究者將操作熟手的行為模式以數學模型做以下敘述：

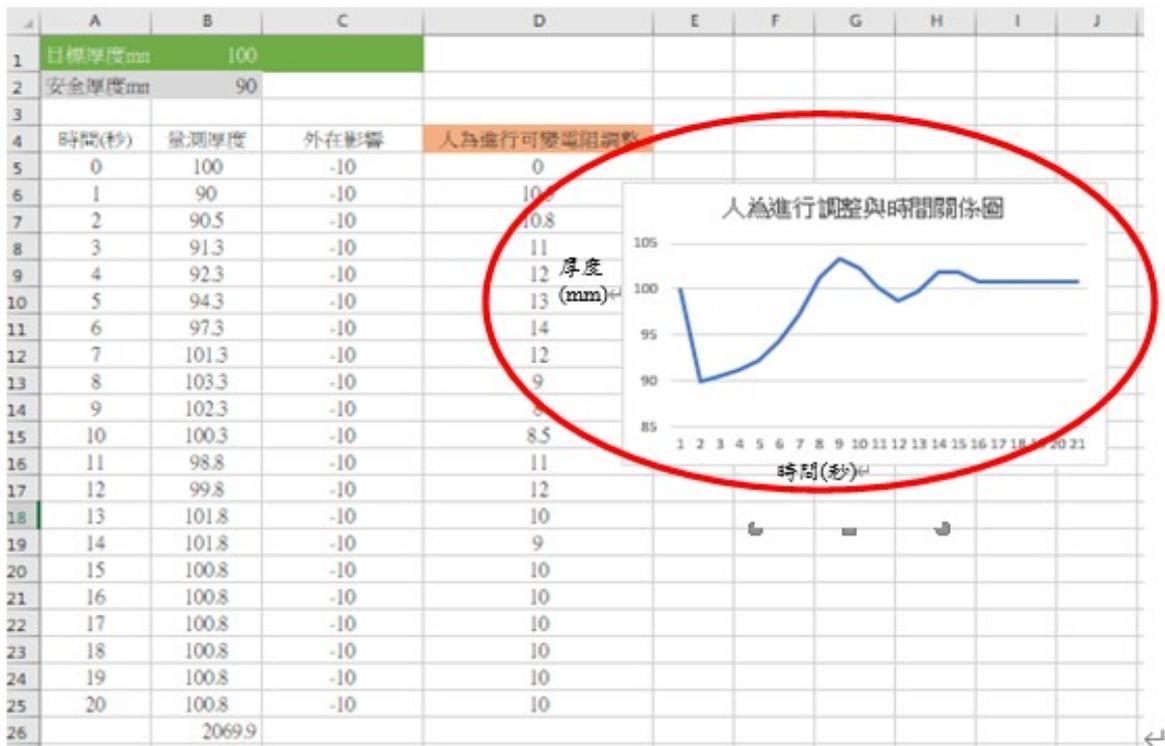


圖 4-2 操作手實際調整分析圖

資料來源：研究者自行整理。

X 軸採樣為 0-20 秒，Y 軸是厚度值，當發生環境溫濕度或是冷卻水溫的影響需要進行人為進行調整控制時，以試算表量化的趨勢圖，可以發現在這 20 秒中，操作手必須要全神灌注使用眼與手進行操作，而操作出來的厚度變化如圖 4-2 所演示，原物料總消耗 2069.9mm。接下來研究者將閉迴路演算法導入擠製設備後，一樣進行演算法動作與時間關係如圖 4-3 所示。



圖 4-3 閉迴路演算法實際調整分析圖

資料來源：研究者自行整理。

X 軸採樣為 0-20 秒，Y 軸是厚度值，當發生環境溫濕度或是冷卻水溫的影響，閉迴路演算法自動偵測進行進行調整控制時，以試算表量化的趨勢圖，可以發現在這 20 秒中，全程是無人操作，而操作出來的厚度變化如圖 4-3 所演示，原物料總消耗 2042.3mm，少於人為操作 27.6mm，目前已可證明本研究「開發閉迴路演算法於線纜絕緣製程 達到減緩對地球衝擊之研究」之專利核心技术導入後對電線電纜之絕緣製程的外觀上與用料上有正面效果。

## 陸、研究價值與效益分析

本章節將敘述導入本研究後的效益，將分再節能減碳方面與企業生產管理方面來做敘述。

### 1. 對於節能減碳方面

PID 演算法在絕緣製程上的意義如圖 4-3 所演示，原物料總消耗 2042.3mm，少於人為操作 27.6mm，目前已可證明本研究「應用閉迴路控制改善線纜絕緣製程之研究」在不影響絕緣能力之下，能有效降低絕緣塑膠的使用。

本控制系統所申請為新型專利，其主要目的為提供電線電纜業在絕緣製程上的量測、判斷、調整三大問題解決的系統，並經由研究者對應產業特徵而設計，可彈性調整參數使用於不同產品性質之需求，故能有效減少綠能減碳之效果。中華民國專利證書如圖所示。導入後對電線電纜之絕緣製程的外觀上與用料上有正面效果，本研究再以電線電纜業界常使用之重量換算公式如圖 6-1 表示。

2、絕緣用量：

$$(Kg/Km) = (D^2 - d^2) * 0.7854 * G * C * K2$$

D=絕緣外徑 d=導體外徑 G=絕緣比重 K2=芯線絞入率 C=絕緣芯線根數

圖 6-1 絕緣厚度轉換重量依據

資料來源：YoLmer Bloody (2021)。计算机电缆护套厚度计算方法, 电线电缆的导体、护套、绝缘计算公式介绍。CSDN。取自 <https://ppt.cc/fEOa9x>

以單芯 IV 線 250 平方電纜為例，8.89 是銅的比重，故 250 平方\*8.89\*1000 米就是 250 平方 1000 米銅的重量，面積為 0.7854 是  $\pi/4$ ，撚入率大約是 1.02，

PVC 絕緣比重是 1.45，單芯線撙入率是 1，可計算出使用本研究後絕緣用量為 2419.755(公斤/公里)，而原手動控制下絕緣用量為 2452.497(公斤/公里)，故可求得每公里單芯 IV 線 250 平方電纜可節省 32.741 公斤的塑膠材料，以臺灣某電纜電纜大廠為例，今年度生產 411KM 之單芯 IV 線 250 平方電纜，若 2023 年業績比照 2022 年，可望節省達 13.456 噸之絕緣塑膠材料，計算資料如圖 6-2 所示。

比較項目	人工生產	使用本研究專利生產	差異量	
厚度mm，取20秒比較	2069.9	2042.265882	27.63411827	mm
換算重量kg/km	2452.497691	2419.755718	32.74197365	kg
以2022年生產411km 250平方單芯IV線	1007976.551	994519.6	13456.95117	kg

圖 6-2 差異比較

資料來源：研究者自行整理。

本研究僅以單芯 IV 線 250 平方電纜單 1 種產品，節錄出 2022 年所節省之 13.4 噸的絕緣塑膠材料。事實上電纜產品數萬種，若都能導入本研究，勢必對節省材料有數萬倍之功效！

研究者以節省材料之角度，並參考環保署 2013 年所記載之聚丙烯碳足跡之資訊如圖 6-3 所示。

中文名稱	聚丙烯(PP)	
英文名稱	Polypropylene(PP)	
化學式或俗名	PP 塑膠	
碳足跡數值	2.01E+0 kgCO <sub>2</sub> e	
數量	1	
宣告單位	公斤(kg)	
生命週期範疇 (系統邊界)	搖籃到大門	
排除項目	- - -	
技術描述	以丙烯為原料聚合反應製成	
生產區域名稱	臺灣	
盤查起迄日	2011/01/01 ~ 2011/12/31	
活動數據來源	單一場址盤查	
排放係數來源	- - -	
產品數據品質 分數	可靠性	1
	完整性	2
碳足跡計算 輔導單位名稱	財團法人工業技術研究院	
建置單位名稱	經濟部工業局	
是否經第三方查 驗證	是	
公告年份	2013	
備註	- -	

圖 6-3 聚丙烯碳足跡數值

資料來源：環保署產品碳足跡資訊網。取自

[https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/CFP\\_P\\_02](https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/CFP_P_02)

研究者根據圖 6-2 與圖 6-3，將節省 13000 公斤的聚丙烯乘以 2.01 公斤之碳足跡，便可得到 26.130 噸之碳足跡，而本研究僅以 250 平方之電纜單一產品作為範例，若將其所有電線電纜相關生產產品皆進行計算，達到減碳之效益將可成數百倍之倍數放大。

使用本研究「利用閉迴路演算法達成節能減碳之方法 以絕緣製程為例」導入前後對電線電纜之絕緣製程之差異比較，如圖 6-4 所示。

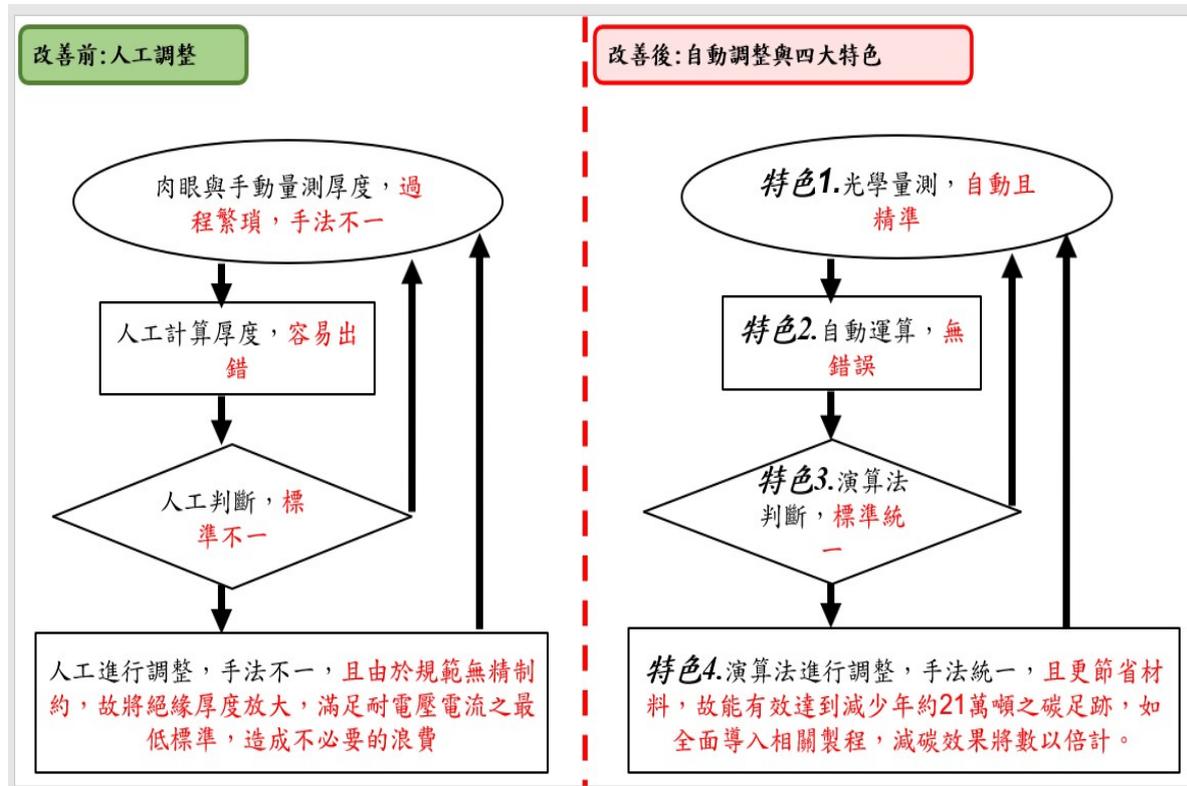


圖 6-4 導入閉迴路前後之比較-對於節能減碳方面  
資料來源：研究者自行整理。

## 2. 對於企業生產與管理方面

由於已經達到自動化的量測並能自動動化的進行調整，故研究者將導入前後對於企業生產與管理方面的效益做一簡易之比較，如表 6-1 所示。

表 6-1

## 導入閉迴路前後之比較-對於企業生產與管理方面

■ <sup>↵</sup>	傳統絕緣製程 <sup>↵</sup>	創新絕緣制程 <sup>↵</sup>
■製程操作比較 <sup>↵</sup>	人工量測、計算、判斷 與調整 <sup>↵</sup>	PLC 或 PC 自動 化量測、計算、 判斷與調整 <sup>↵</sup>
■品質管理面比較 <sup>↵</sup>	依據工程師經驗，不同 工程師有不一樣的品質 <sup>↵</sup>	PLC 或 PC 自動 運算，能控制品 質面的統一 <sup>↵</sup>
■運算頻率 <sup>↵</sup>	每 20-30 分鐘人工進行 一次，各廠標準不同 <sup>↵</sup>	每 1 秒掃瞄 <sup>↵</sup>
■成本 <sup>↵</sup>	每月三班人力制，約 120,000 元 <sup>↵</sup>	約 118,520 元 <sup>↵</sup>
■後續維護 <sup>↵</sup>	人力薪資與管理成本 <sup>↵</sup>	無 <sup>↵</sup>

資料來源：研究者自行整理。

## 柒、中華民國專利證書

本研究「應用閉迴路控制改善線纜絕緣製程之研究」控制系統所申請為新型專利，其主要目的為提供電線電纜業在絕緣製程上的量測、判斷、調整三大問題解決的系統，並可彈性調整參數使用於不同產品性質之需求，故能從減少絕緣塑膠材料的方式達到減碳之效果。中華民國專利證書如圖 7-1 所示。

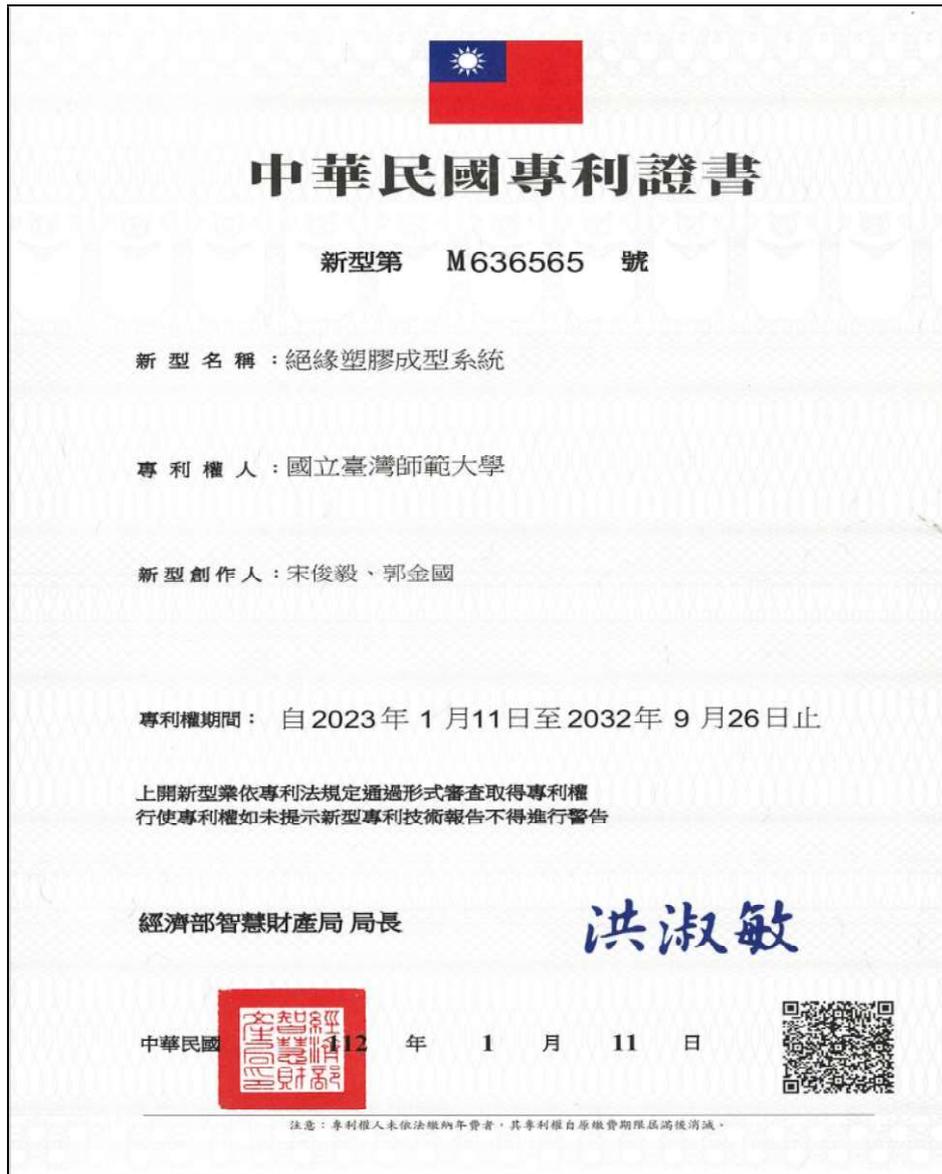


圖 7-1 中華民國專利證書

資料來源：研究者自行整理。

## 捌、參考文獻

### 中文部分

YoLmer Bloody (2021)。计算机电缆护套厚度计算方法,电线电缆的导体、护套、绝缘计算公式介绍。CSDN。取自 <https://ppt.cc/fEOa9x>

太平洋電線電纜官網 (2022)。XLPE-PVC 電力電纜規格。取自 <https://ppt.cc/f7hDox>

台灣基恩斯下載中心 (2017)。LS-7000 技術手冊。取自 <https://ppt.cc/f3eiTx>

呂浩銘 (2021)。射出成型關鍵因子與收縮率品質關係之研究 (未出版之碩士論文)。中原大學，桃園市。

張道弘 (1997)。PID 控制理論與實務。新北市：全華圖書。

環保署 (2023)。產品碳足跡資訊網。取自 [https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/CFP\\_P\\_02](https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/CFP_P_02)

謝滄岩 (1992)。光學式測徑儀 (未出版之碩士論文)。國立中央大學，桃園市。

簡士恩 (2014)。臺灣本島電力系統穩定度之模擬分析與規劃 (未出版之博士論文)。國立台灣大學，台北市。

## 英文部分

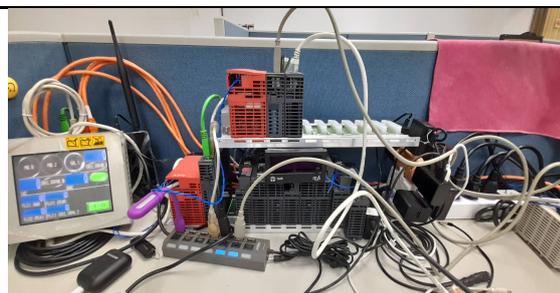
- Araki, M. (2009). PID control. *Control Systems, Robotics and Automation: System Analysis and Control: Classical Approaches II*, 58-79.
- Collins, K. (2007). *PLC programming for industrial automation*. Exposure.
- Halden, R. U. (2010). Plastics and health risks. *Annual review of public health*, 31, 179-194.
- Visioli, A. (2006). *Practical PID control*. Springer Science & Business Media. *Workshop on Wiring for Space Applications*.
- Wilson, J. S. (2004). *Sensor technology handbook*. Elsevier.
- Yanfie, F., Fengyuan, R., & Chuang, L. (2003, July). Design a PID controller for active queue management. In *Proceedings of the Eighth IEEE Symposium on Computers and Communications. ISCC 2003* (pp. 985-990). IEEE.
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In *Advances in carbon capture* (pp. 3-28). Woodhead Publishing.
- Alfke, P. (2008). Creative uses of block RAM. *White Paper: Virtex and Spartan FPGA Families, Xilinx*.

# 玖、附錄

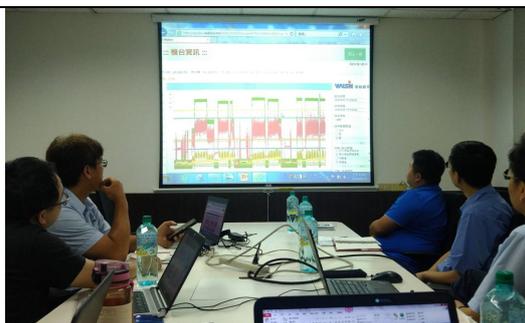
## 1. 紀錄照片與註解



走訪大廠進行訪查與了解問題



實驗室架設等量模擬控制器



過程問題探討與解決



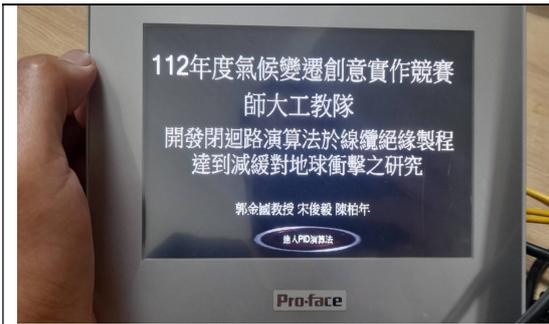
實驗室架設等量模擬控制器



企業榮譽獎項



工程現場導入與驗證



因應 5/20 日會場用電限制，故進行 PID 縮小版設計

工程現場導入後教學（國立台北科技大學機械系）



企業榮譽獎項

減碳大賽趕工過程受傷



控制器縮小版趕工開發

控制器縮小版趕工開發



工程現場施工

電路與控制圖設計

## 2. 工作分配

	宋俊毅	陳柏年
工作分配	演算法設計、控制器選用、 電路設計、線上設備移轉展 示設備、APP 設計、論文寫 作、影片製作。	感應器硬體設計與架設、硬 體穩定度驗證，演算法驗 證、論文寫作、影片製作、 影片配樂混音、影片文案設 計。

## 3. 因應 5/20 決賽展示之替代方案-以閉迴路演算法控制光

