

PBL 導向綠電永續淨零跨域整合實務教學實踐成效之研究探討

陳宥任

南臺科技大學機械工程系

uzchen0809@stust.edu.tw

摘要

本研究將PBL策略結合綠電創能導入教學課程，為聯合國可持續發展目標（SDGs）中第七項可自主承擔之潔淨能源，視為地球永續淨零之關鍵工具，旨在教學現場面臨少子化及自主學習慾望降低之困境，傳統教學難以接軌產業大量人力需求，尤其是2050年達淨零排放之目標為目前世界各國政府與大型企業之目標與責任，配合淨零排放啟動國家能源轉型，將是我國能源未來發展趨勢，其人才技能需求急迫供應至相關產業，因此本研究之課程人才培育，將以綠電創能減碳與智創整合數位，兩大實踐項目主軸來貫穿教學實踐方針，讓學生們從課堂專案實戰過程中，獲取創能開發經驗與數位化、智慧化技能，並藉由ADDIE的五個步驟同時導入NSDB與SWOT之提案策略與案例分析，發展出問題導向與專題導向學習之創新教學策略，引導學生進行設計思維，先行思考市場未滿足之需求，創建更符合實際用戶需求解決方案，培養解決問題能力，研究目的為探討經由此教學內容，所獲得學習成效之影響，研究對象為某科技大學綠電永續淨零跨域整合實務系列課程，共計428名學生，完成修課學生之專案實作素養普遍獲得提升，結合物理理論與工程實踐，為學生提供紮實的基礎知識和實用技能，體會協同合作於工程領域之重要性，提升學習興趣，可知得本研究發展之創新教學模式，對學生養成專業能力之訓練是有助益的。

關鍵詞：綠電創能、PBL 策略、NSDB 提案策略、可持續發展目標(SDGs)

A Study on the Effectiveness of PBL-Oriented Practical Teaching in Green Energy, Sustainability, and Net-Zero Cross-Disciplinary Integration

Yu Jen Chen

Department of Mechanic Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

In response to the global push toward net-zero carbon emissions by 2050 and the United Nations Sustainable Development Goal 7 (ensuring access to affordable, reliable, sustainable, and modern energy), this study integrates a Problem-Based Learning (PBL) strategy and green energy development into a university-level curriculum. The approach addresses challenges faced by higher education institutions, such as the declining of students' enrollment and their learning motivation, while meeting the urgent industry demand for skilled professionals in emerging energy sectors. Grounded in the ADDIE framework, the course design incorporates NSDB and SWOT proposal strategies, guiding students to explore unmet market needs through design thinking. Two primary practical themes—green energy generation and digitally intelligent integration—form the basis of the students' learning activities. A total of 428 students from a technology university participated in a cross-disciplinary course series of green energy sustainability. The results indicate that students significantly enhanced their theoretical knowledge and practical engineering skills, as well as their collaborative competencies, thereby

Received: Feb. 14, 2025; first revised: Apr. 15, 2025; second revised: Jun. 8, 2025; accepted: Jul. 2025.

Corresponding author: Y.-J. Chen, Department of Mechanic Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan 710301, Taiwan.

gaining a deeper appreciation of teamwork in engineering contexts. Moreover, the PBL-oriented curriculum effectively stimulated the students' learning interest and motivation, demonstrating its potential to prepare future talent for the rapidly evolving green energy industry. The findings suggest that this innovative teaching model not only fosters professional skill development but also serves as a viable pathway to cultivating problem-solving abilities and design thinking in support of global sustainability and net-zero initiatives.

Keywords: Green energy generation, Problem-based learning strategy, NSDB proposal strategy, Sustainable development goals (SDGs)

壹、研究背景與目的

一、研究背景與動機

水、能源與糧食為永續發展與環境保護中不可或缺之關鍵資源，三者間具高度關聯性，彼此相互依存與影響，近年受極端氣候事件、地緣政治衝突及能源價格波動等因素影響，淨零碳排列為目前世界各國政府與大型企業之目標與責任，臺灣亦訂定一系列氣候行動和政策，以應對氣候變化，目標於 2050 年達成淨零排放，並設定 2025 年為能源轉型之重要節點，致力提升再生能源佔國家電力結構之比重至 20%，除了積極推動太陽光電及風力發電之外，台灣亦加速研發波浪能、地熱及溫差發電等替代能源，然而，於實際推動過程中，政策執行遭遇許多之困境，面臨諸如民眾對於發電穩定性、居住環境安全性、生態環境破壞、高低頻噪音等疑慮，對再生能源基礎建設之時程構成挑戰。另一方面，Covid-19 疫情雖一度使全球能源需求與碳排放短期下降，然而隨著疫情趨緩、經濟與旅遊活動復甦，2022 年，全球相關能源 CO₂ 排放回升 0.9%，國際能源署提出疫情衝擊對能源系統與能源轉型，尤其於能源安全、系統韌性與潔淨能源轉型（energy security, resilient energy and clean energy transitions）將為未來發展重點，並強調需於經濟發展與環境保護間取得平衡。根據 IEA《CO₂ Emissions in 2022》報告，2022 年再生能源供應全球新增發電量逾九成，歐洲風光發電更是首次超越天然氣與核能，展現能源轉型之具體成效，然鑒於電廠運維週期長達 20 至 30 年之久，其發電系統需朝向智慧化、數位化及無人化發展，將帶動相關領域專業人力之高度需求，同時為確保有穩定及高品質電力供應，以及不斷電之風險疑慮，民眾對於自主可承擔之能源意識逐年高漲，小型再生能源 DIY 發電系統皆能有效避免突然停電之風險，由此可觀察，發展多元再生能源電廠建置與小型綠電創能微電網應用，將成為邁向淨零減碳目標之重要途徑。

於此背景之下，再生能源推廣與人才培育二者關係密切，尤以高等教育場域（大專院校）於技術銜接與知識傳承中扮演關鍵角色，如何培養兼具系統整合、設計實作與數位應用能力之綠電專業人才，已成為能源轉型能否落實之關鍵，故本研究課程結合教學實踐與人才培育，建構一套以「綠電創能減碳」與「智創整合數位」導向之課程架構，藉以培育具備實作能力、設計思維與溝通素養之應用型人才，以回應產業對能源與數位整合專業人力之迫切需求。

二、教學現況與執行策略

科技大學學生於學科背景上存有顯著差異，面對理論性課程常缺乏信心，易產生逃避學習之行為，致使學習動機逐漸削弱，同時，傳統講授式教學模式偏重板書與單向知識傳遞，教師容易忽略學生對於教材內容之吸收與理解，進而影響教學成效與學習參與度，為提升學生之學習意願與課程參與，本研究導入小組合作學習法，搭配課程所設計之實作示範教學，透過手作操作與視覺化展現，使學生能於短時間內掌握再生能源之發展脈絡，並親身參與風力發電系統自設計、打樣、組裝、測試至實際發電之完整流程，此一全方位體驗式教學法，有助學生理解發電系統運作之複雜性與挑戰性，進而強化其動手實作能力與問題解決能力，促進理論與應用之整合，提升其專業素養與學習動機。課程設計進一步結合問題導向學習（problem based learning, PBL）教學模式，問題導向學習 PBL 為一種教學方法，使學生能夠於積極解決有意義之問題中同時學習，驅使學生有機會於協作環境中解決問題（Yew & Goh, 2016），本課程引導學生聚焦於 ESG 與 SDGs 相關議題，發展具永續思維與社會責任意識之專案構想，並搭配 NSDB

（需求－解決方案－利益－差異化）與 SWOT 策略分析，聚焦 SDGs 第七項永續能源目標——「確保所有人得以取得負擔得起、可靠、永續及現代化能源」引導學生規劃具實務應用價值之創新方案，強化其永續設計與系統整合能力，教學歷程依循 ADDIE 模型（分析、設計、發展、執行、評估），導引學生自市場未滿足之需求出發，運用設計思維提出具創新性且符合現實應用需求之解決策略，進一步培養學生面對未來職場於產品開發與系統整合上之專業能力。

本研究以「可折疊式水平軸風力發電機裝置」作為系列課程之專案教學範例，藉由分組討論與概念發想，引導學生針對綠電創能應用進行構想與設計，並依據 ADDIE 教學模式逐步實踐，學生可參考歷年專案開發經驗與失敗案例，進行能源系統商品雛形建構，擬定具可行性與創新性之策略，強化設計執行力，課程同時整合能源實作與 AIoT 教學內容，使學生融合流體力學、電力電子與感測技術等跨域學科知識，建立從設計至製作之完整開發流程，並運用電腦輔助設計（computer aided design, CAD）及 Autodesk Service Platform 之數位平台應用，建構 3D 虛擬視覺化介面，實現學用合一之人才培育目標，並對接未來產業對智慧能源與數位融合能力之實務需求。

三、研究方向與目標

本研究課程導入問題導向學習 PBL 教學模式，藉由引導學生探討極端氣候與全球氣候變遷等議題，強化其對 2050 淨零排放目標與能源轉型重要性之認識，課程設計跳脫傳統以講授為主之理論導向教學，採模組化策略，規劃為提案規劃與執行、樣品實作與組裝、場域測試與驗證，以及成果展示與簡報交流等四大模組，鼓勵學生於真實問題情境中進行構想發想、策略擬定與技術實踐，該歷程不僅可激發學生主動探究之學習動機，亦能協助其養成跨域整合與解決問題之能力，進一步強化其科學化、智慧化與數位化之宏觀素養，培養具備永續思維與技術整合能力之應用型人才。

再者，因應後疫情時代教學環境與學習方式之轉變，本研究亦調整課程設計以回應學生於數位學習過程中之疏離感與互動不足之問題，相關文獻指出，導入互動式數位學習工具有助於提升學生參與與學習成效（Hazrat, Hassan, Chowdhury, Rasul, & Taylor, 2023），因此，課程內容融入 3D 可視化模擬與 AIoT 智慧物聯網平台，提供學生直觀且具互動性之再生能源系統操作體驗，使學生能透過互動式系統操作與模擬分析，加深對能源技術原理與整合流程之掌握，學生在此歷程中透過自我設計與實作，提升參與意願與學習成效，此外，課程設有業界導師參與機制，提供學生專業設計與實作經驗之交流與指導，進一步縮短學用落差，配合工作坊與任務導向實作設計，學生須進入實際應用場域並實地走訪使用者端，觀察與分析既有系統之限制與問題，再回校進行設計與驗證，並完成風力發電系統與發電機之建置作業，此歷程有效強化其機電整合技術能力與團隊協作素養。

整體課程歷程注重學生多面向核心素養之培養，包含自主學習、跨領域統整、溝通協調與宏觀視野等，學生需針對問題進行深度調查與策略規劃，並透過競賽歷程展現學習成果，進而提升其專業表現與自我認同感，課程同時重視社會互動與團隊合作，鼓勵學生參與社會議題、關懷公共議題，進而培養包容、多元與尊重之價值觀，奠定其成為具備社會責任與永續意識之應用型科技人才。

貳、文獻探討

一、永續發展目標下之課程轉化與教育實踐探索

氣候變遷導致海平面上升、冰層退縮以及極端天氣等事件之頻率與強度劇烈改變，這些現象主要源於人類使用能源所造成之溫室氣體累積（EPA, 2021 年），許多國家優先發展和推廣清潔能源與再生能源技術，再生能源技術之發展和推廣離不開公眾支持和人才培育（Bosman & Chelberg, 2019），目前，再生能源技術推廣之困境為缺乏具有再生能源創新意識與能力之人才（Lucas, Pinnington, & Cabeza, 2018），美國「下一世代科學教育標準（Next Generation Science Standards, NGSS）」體悟到提升學生對氣候與能源系統之理解極為必要，並強調能源、氣候變遷與永續相關知識之學習，對未來社會發展至關重要（NGSS, 2013 年），因此教育被視為提升全民對再生能源與永續發展目標（SDGs）意識之基本工具，在各級教育體系中推動再生能源教學，將對國家與社會發展產生深遠而正向之影響（Thomas, Jennings, & Lloyd, 2008），

進而培養公民對可再生能源之理解與支持，永續發展教育（Education for Sustainable Development）亦逐漸成為全球教育之核心議題，其目標在於使學生掌握應對永續挑戰所需之知識與能力（Nguyen, Cleveland, Nguyen, & Joyce, 2024），體現教育作為實現永續發展目標關鍵驅動力之重要角色。

二、問題導向學習 PBL 策略與 SDGs 目標導向教學整合之探討

然而傳統之課程教育多以灌輸教學方式來傳達資訊，導致學生因無實際體驗無法輕易聯想，進而缺乏自動學習契機（徐昊杲、施秀青，2014），尤其學科理論之教學，更讓技職體系學生難以吸收理論以聯想至實際應用，學者 Hoque 建議採用新方法，包括多學科合作、提供在現實環境中之欲解決之議題並建構識之機會，以此來激發學生對可再生能源教育之興趣，以實現永續發展目標（Hoque, Yasin, & Sopian, 2022），問題導向學習 PBL 已被證實能有效提升學生解決真實世界問題之能力，特別於永續發展目標（SDGs）之教育中（Ho & Huang, 2024），於問題導向學習 PBL 環境中，學生針對現實世界中之具體問題進行研究、討論和解決方案開發，激發學生學習熱情，更有效地內化永續發展原則。研究顯示，透過問題導向學習 PBL 設計之課程能顯著提升學生學習動機與成效，特別於通識教育中融入 SDGs 議題，促進學生永續素養培育（陳閔翔，2024）；問題導向學習 PBL 為教學模式之實施與批判性推理能力之提升之間存在正相關關係（Oja, 2011）。

問題導向學習 PBL 鼓勵協作和同儕學習，於大型教育環境中尤其有益（Fukuzawa & Boyd, 2016），有助於快速有效地提升學生於永續發展方面之知識和經驗，為更多學生做好應對永續發展挑戰準備，同時可透過問題導向學習 PBL 掌握各種能力，促進學生主動學習、批判性思考、解決問題的能力和協作的有效方法（Fergusson, 2022; Lehmann, Christensen, Du, & Thrane, 2008），為學生在就業市場上提供優勢。

三、創能減碳與智慧化數位技能整合導向之實踐教學設計

許多國家積極推動再生能源與環境教育計畫，致力於開發新能源相關課程，然而，文獻指出，各國大學於課程設置上普遍面臨兩大問題：一為課程更新滯後，二為課程架構受限（Ramos, 2015），導致難以回應國際社會對再生能源專業人才之迫切需求（Wang & Guo, 2021），專業人力之不足為再生能源技術推廣與落地之主要障礙之一（Kandpal & Broman, 2014），此外，學者亦指出，再生能源領域課程尚未受到足夠重視，其發展仍多沿用傳統灌輸式教學模式（Ocetkiewicz, Tomaszewska, & Mróz, 2017），如前所述，此類教學模式傾向重理論而輕實作、重講授而輕探究，與再生能源教育中強調之技能導向與實務應用目標有所落差（Wang & Guo, 2021），面對全球能源轉型之際以及前瞻性技術趨勢之下，尤其於 COVID-19 大流行促使數位科技廣泛應用於教學之背景下（Hazrat, 2023），教育系統亦應培養學生具備創能減碳與智慧化應用之綜合能力，結合綠電創能與數位技術之課程設計，能有效提升學生對於能源議題之理解與行動意識（Haleem, Javaid, Qadri, & Suman, 2022），透過整合物聯網、感測裝置與數位平台，學生不僅能觀察能耗數據，亦能參與碳排管理與能源調控等模擬操作，進而建立系統性問題解決能力（Ghashim & Arshad, 2023）。

因此本研究課程內容結合感測器與物聯網系統，進行即時數據之收集、控制、分析與共享，以實現自動化監控與遠端操作，課程中亦搭配 3D 列印進行打樣，製作具體實體系統，並透過 3D 可視化與 MQTT 協定將資料上傳至雲端進行後處理，進而建構虛擬與實體共存之數位化環境，即為導入數位孿生（Digital twin），該技術建構虛實整合之學習場域，使學生得以於虛擬環境中模擬操作現實世界之能源系統，不僅降低試誤學習之實體成本，亦促進創新與協作之學習歷程（Zhang, Zhou, & Horn, 2021）。透過此數位整合方式，課程以專案實作形式引導學生參與再生能源系統之設計與製作，同時培養智慧科學、科技工程、物理數學與數位化應用等跨域整合能力，以達成本計畫所設定之教學學習目標。

四、跨域實作課程對學生專業能力之培養成效

當前再生能源教育雖逐漸受到重視，但其課程設計中往往忽略了再生能源教育本身所具備之跨學科性與探索性特徵（Wang & Guo, 2021），特別是在永續性科學論述中，「跨學科性」被定義為一種研究實踐或原則，目前多數大學之再生能源相關課程存在「廣度有餘、深度不足」之現象（Kandpal & Broman, 2014），

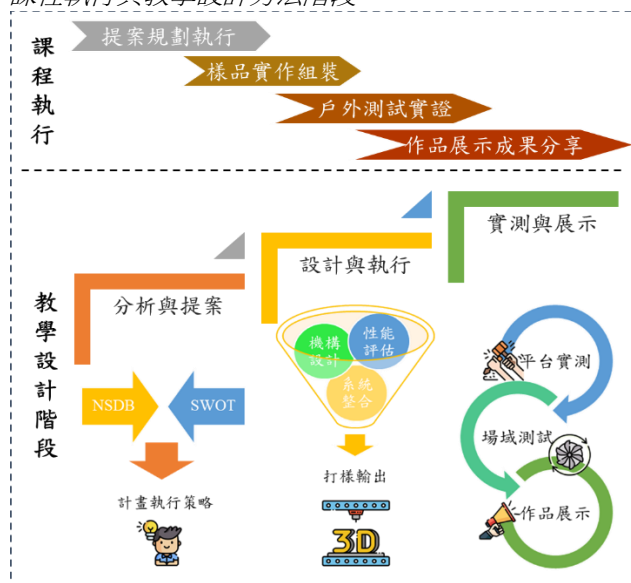
難以有效引導學生發展解決問題之能力與再生能源意識，然而，已有研究指出，結合問題導向學習 PBL 與跨學科專案實作模式之教學設計，不僅有助於學生於真實情境中整合理論與實務，並能進一步強化其系統思考、團隊協作與創新應變能力，對其未來投入能源產業或永續創業發展具有實質助益（Tejedor, Segalàs, & Rosas-Casals, 2018），同時透過數位孿生技術，學生可於虛擬環境中探索具跨域特性之複雜系統動態，進一步理解工程、資訊與管理等多領域知識整合應用（Hazrat, 2023）；澳洲工程學院院長委員會（ACED）倡議以主動學習為核心之教學策略，強調整合跨學科能力之培育，以因應當代工程教育所面臨之挑戰；跨領域素養導向之課程設計工作坊亦有助於提升教師專業知能，進而促進學生學習成效，展現出跨域課程於教與學兩方面之正向影響（陳佩英，2018），回應我國 2030 年人才培育目標與淨零轉型需求，教育部亦推動「永續能源跨域應用人才培育聯盟計畫」，鼓勵大專校院與高中學校建構融合綠電與智能化之跨域教育場域，以培育具備永續能源應用與系統整合能力之專業人才，強化再生能源產業之國際競爭力。

參、研究方法與教學設計

一、教學設計與方法

本教學實踐將應用於「綠電永續淨零跨域整合實務」系列課程中，對象為機械系 1 年級生以上，以及他電機系 1 年級以上學生，綠電、永續、淨零，這三個詞彙通常與能源、環境政策、氣候行動等議題相關聯，全球目前所關注議題之一，為使學生能與全球鏈結，透過此課程規劃著重於提供深入的理解、實際的應用和互動的學習體驗，協助學生建立與養成淨零排放觀念。另一方面，本研究所使用教學方法內容有講述教學、專題實作與業師協同教學，課程執行內容將以小組分組方式進行，同時導入 ADDIE 系統，搭配學科理論、綠電創能系統與戶外實際發電應用，整合 3D 可視化與 AIoT 智慧物聯網於再生能源系統之數位創新與減碳實踐應用研究，以問題導向學習 PBL 學習策略轉化成商品雛形化之設計元素，彙整學科理論、專題實作與戶外場域發電應用，三方面鏈結整合，同時發揮創意設計精神，並將其融入本研究教學執行之四大步驟，使學生們以觸覺與視覺方式，來瞭解能源之發展，藉由親自開發設計、打樣製造、操作組裝測試到最後實際發電過程，進而理解發電之不易，藉此提高技職體系學生們對創能之全新體驗，從而激發學生們對再生能源之認識與興趣，轉而影響讓更多民眾支持與實際行動再生能源之發展。其流程步驟可綜整成四大教學設計階段（如圖 1 示），目標培養學生有獨立思考運作與團隊合作分工之目的，各階段執行說明如下所述：

圖 1
課程執行與教學設計方法階段

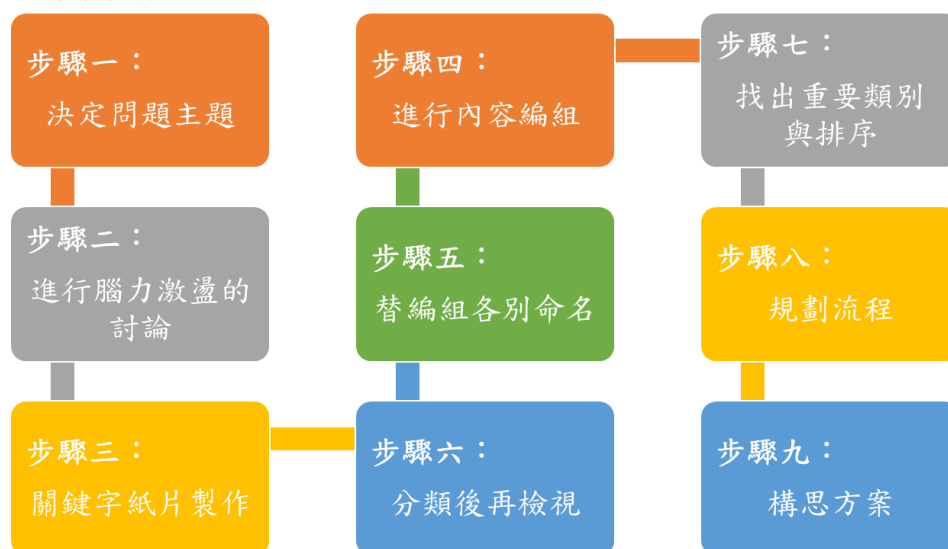


（一）誘導與思考

為加深及促進學生思考，找尋及探討問題之本性，將透過 KJ 法來彙整思緒，其原理為結合腦力激盪、分類法、歸納法，設定主題，KJ 法步驟有九個，如圖 2 所示，先將議題中所有人不同想法、意見和經驗完全搜集起來，再將所搜集事實透過歸類合併和整理，發展出具知識架構且邏輯性之合併圖，從彙整圖中整理出問題思路，幫助創意思考進行，讓學生面對問題並加以思索，因此本研究課程將以目前國內與全球所遭遇之氣候變遷為例，思考面對極端氣候以及淨零碳排等相關問題，便可將此階段結果，引導至下一階段分析與提案，透過 NSDB 提案與 SWOT 分析，擬好解決方針。

圖 2

KJ 法執行步驟

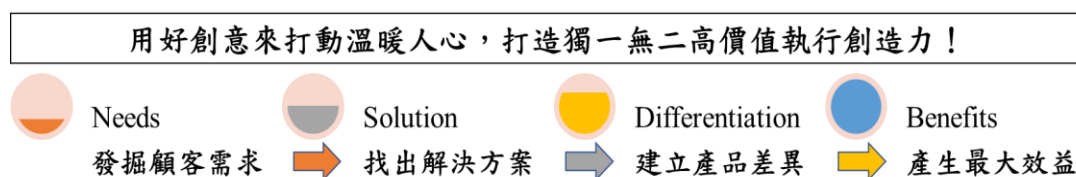


（二）分析與提案

本研究課程預計以分組實務專題提案執行，透過 NSDB 與 SWOT 兩項分析模型機制來探討與擬定策略；NSDB 模型為工業技術研究院 李鍾熙院長於任內所提出，透過此模型創造高經濟價值新主張：「提出必須洞悉市場需求（Needs）之解決方案（Solution），並透過與競爭對手之差異化（Differentiation），為顧客創造最大之效益（Benefits）」，因此將引導及教導學生們如何確立未來市場有此需求，但此需求尚未被解決與滿足，而目前市面上有哪些已有相似性高之方案進行中，並結合設計思考教學方式，兩相結合，讓學生思緒進行碰撞，而 SWOT 則是針對現有產品缺點及自我優勢策略分析，提出相對應之策略來解決，兩項模型相輔相成，因此本研究課程透過 NSDB（圖 3）提案步驟，量化淨零排放與能源市場急迫需求，進行差異化分析，並以 SWOT 輔佐解決策略擬定，然各組團隊提出策略方針，將搭配數位化、智慧化等解決策略，來研擬提案規劃。再搭配本課程學科理論與實作技術進行解決方案，來完成提案規劃與訓練學生獨立規劃及創新發想思維。

圖 3

NSDB 定義與執行方式



（三）設計與實作

專家課程內容包含單晶片 MQTT 傳輸、再生能源發電機制與軸流永磁發電機製作，並針對各組設計與解決方案，進行實務專題討論與方案檢討，提供改善建議與商品化經驗交流，各組一旦提案計畫確定

可以執行後，各組便可開始進行系統機構設計與性能評估計算，系統整合初步設計確定達離型標準，便可透過 3D 列印進行打樣輸出，搭配課堂上所教學之軸流永磁發電機（圖 4），發電機之製作，為了搭配發電機系統能於低風速下，即可旋轉並直接轉換充電至 5V 行動電源，因此本研究課程同時將所開發之設計軸流式永磁發電機（Axial Flux Permanent Magnet, AFPM）做為課程中教案，為了發揮創客精神，教導各組如何手工製作繞線與脫模成型，發電機系統前端，則讓學生們思考並發想機構設計，最終各組將透過合作方式將其機構整合組裝，並配合 3D 可視化鏈結感測器，完成數位孿生 3D 可視化實作（圖 5）。因本研究對象非資工系學生而是機械系學生，於程式撰寫上有一定之困難性，尤其需整合各平台介面之串聯，因此本研究於程式上之設計，採用 Autodesk Service Platform（ASP）之 Github 開源資料整合綠電系統資訊，可讓同學快速上手並熟悉整個建置流程，透過教案再延伸另一個專案。

圖 4

葉片 3D 列印打樣輸出圖與軸流式永磁發電機製作流程

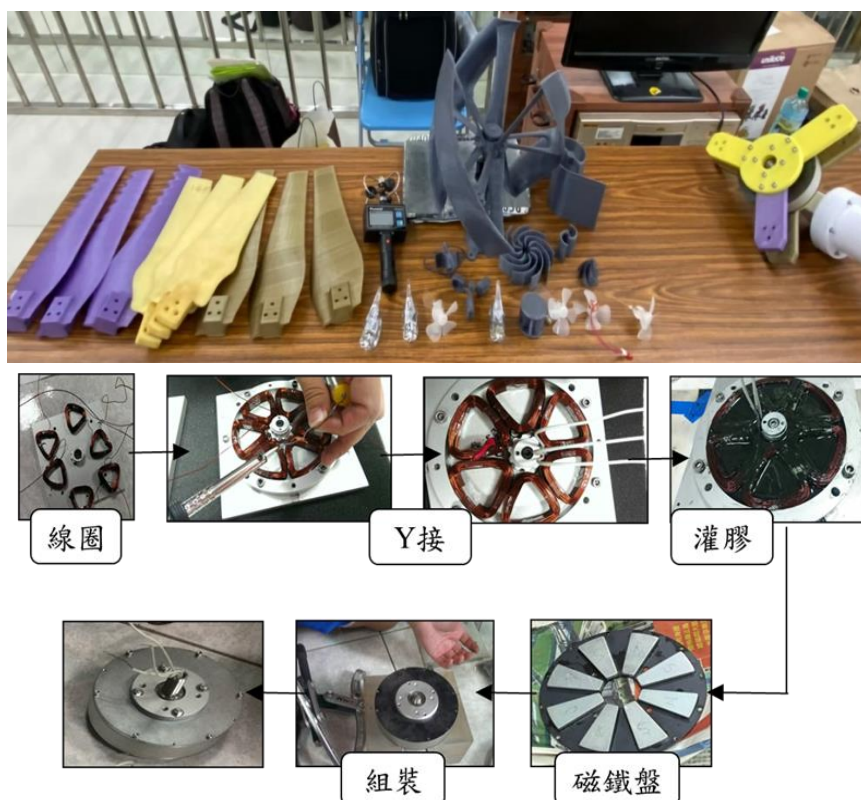


圖 5

3D 立體可視化實作 (Autodesk Service Platform)



(四) 場域與實測 (教學空間)

本研究課程會使用到之教學空間，分別為實體教室、校內實作空間以及校外實作場域，其中校內空間包含本校發電機測試載台（圖 6）與頂樓小型風力示範測試場（圖 7），其中發電機測試載台，會讓所實作之發電機系統，依序於發電機測試載台進行性能曲線紀錄與驗證，小型風力示範場域則是讓各組作品至於此測試環境，進行各組系統 3D 可視化與 AIoT 智慧物聯網整合測試，系統之感測器佈放包含直流與交流電壓及電流數據之建置，環境感測器之佈放，包含風速、風向與溫溼度等數據之建置，另外校外實作場域則預計至台南歸仁內政部建築研究所風雨風洞實驗室（圖 8）進行風洞實驗，建置系統場域環境測試與性能驗證，並評估改善之設計空間，讓學生們可以了解整個設計、實驗測試與氣動力性能驗證之過程。

圖 6

校園實驗室-再生能源發電機系測試載台



圖 7

校園頂樓-小型風力示範測試場

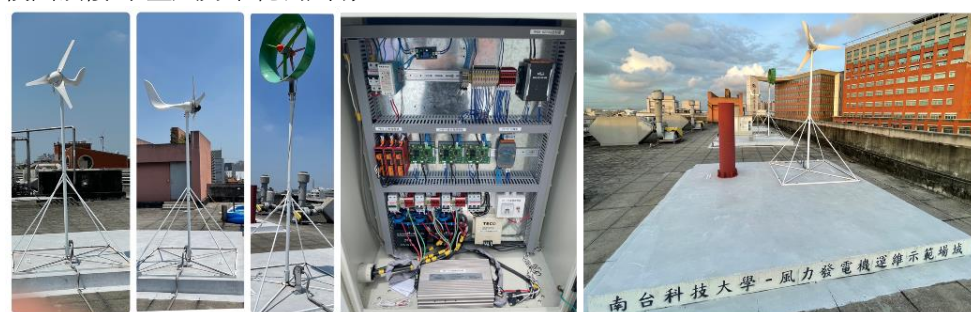
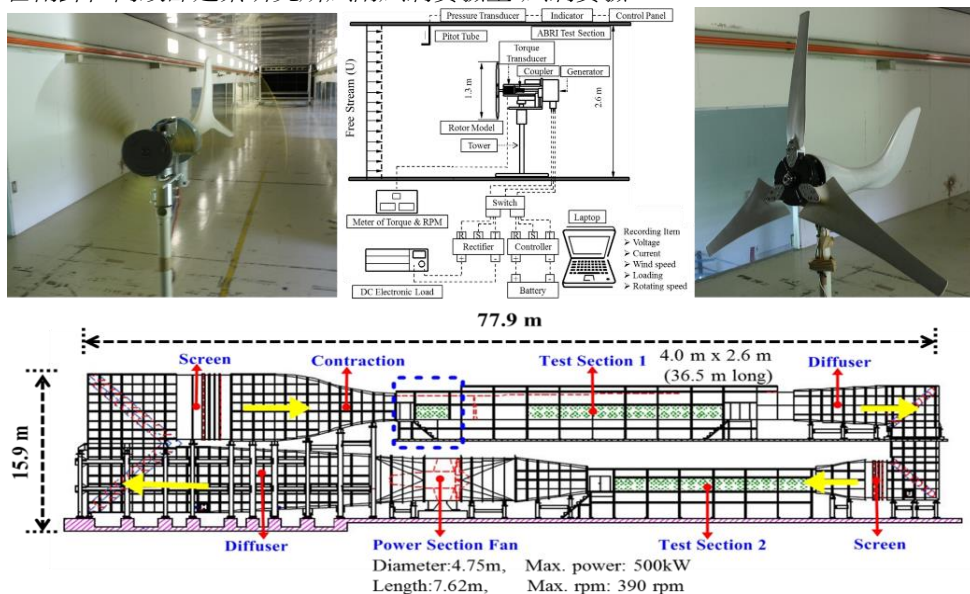


圖 8

台南歸仁內政部建築研究所風雨風洞實驗室-風洞實驗



二、學生成績考核與學習成效評量工具

依照以往課程考核經驗，評量學生學習成效是透過考試之總成績作為學生是否習得知識之標準，學生只能努力於考試中獲取高分來證明自己之能力，將使學生缺乏思考的能力。因此，因此本計畫課程以過程評估與成果評估為核心，列出六大項考核機制，如表1所示，其中第一項為教師需適時關心學生學習狀況，當學生開始意識到專案工作需要努力，有時會導致興趣和參與度下降，導致進度落後，這時教師透過週任務考核結果，除了適當重新引導、鼓勵，保持學生的興趣，亦是教師反思其教學方式是否需調整以使學生恢復熱情。第2項至第6項，將列出每項之考核機制，並依照學生實際狀況進行分數評比，改善舊有以分數高低評量學生之學習成效，而是透過各項目之綜合考核結果評量學生之學習成效。透過各項目所觀察到之事項，給予有效之建議，協助學生了解問題所在以及如何改善，增加老師與學生對專案之契合度與共同想法，減少學習上之盲點。而在評估表格之設計方面，以小組提案簡報評分為例，於這五項細項列出權重，每一項細項列出分類（極佳、優良、尚可、改進），並於各項目中列出細項之考核機制，接下來對每一個表現層級，定義它所代表之行為特色以及內涵，這些定義陳述除了反映作業本身的中心特質，也解釋了學生不同程度表現，評分表格範例如表2所示。

表1

學生成績考核項目、權重與考核機制

項目	權重	評量考核機制
1 週任務考核	15%	依學習項目，安排任務，完成週考核。
2 小組提案簡報評分	20%	以(1)議題需求性、(2)方法創意性、(3)邏輯性、(4)簡報編排與(5)台風口條，五大項內容以量化分數，搭配評估表格進行考核。
3 發電機測試載台功能完整性	15%	依載台量測系統數據，進行量化分數，測試過程中輔助評估表格填寫各組建議。
4 校內小型風場功能與系統性能	15%	依校內場域量測系統數據，進行量化分數，測試過程中輔助評估表格填寫各組建議。
5 風洞實驗之系統性能量測	15%	依風洞實驗量測系統數據，進行量化分數，測試過程中輔助評估表格填寫各組建議。
6 期末簡報發表與分享	20%	以(1)方法策略完成度、(2)團隊項目分工執行率、(3)實驗項目測試時之反思、(4)遭遇問題之解決能力與(5)簡報邏輯性，內容以量化分數，搭配評估表格進行考核。

表2

考核項目之細項評估表格(以小組提案簡報評分為例)

小組提案 評分細項	極佳	優良	尚可	改進	備註 (建議)
1. 議題需求性(30%)	具備對議題獨特見解，且量化數據需求，主旨陳述清楚。	具備量化數據需求，主旨陳述清楚。	具備量化數據，圖示引用不明。	缺乏量化數字，主旨陳述不清。	---
2. 方法創意性(30%)	具備具備創意性、獨特性且可行性高。	具備可行性與創意性。	方法雖可行，但不具備合理性。	方法天馬行空，不切實際。	---
3. 邏輯性(20%)	邏輯表達強烈且合理順暢。	邏輯表達順暢簡易。	邏輯合理，但不足。	前後邏輯不順。	---
4. 簡報編排(10%)	具備簡報技巧，且圖表清楚明白意圖。	圖表清楚明白意圖。	內容清楚，但引用內容不足	字數佔據版面太多。	---
5. 台風口條(10%)	具備自信、口條魅力特色且談吐明確。	談吐明確。	簡報內容不熟悉。	逐字念稿。	---

三、研究設計與執行

(一) 研究架構及過程

傳統的教學方法多以教師為中心，透過系統化與腳本化的課程計畫來傳授知識（Jeong & González-Gómez, 2020）。然而，在直接教學模式下，學生較難主動聯想、發想與深入探討，尤其在學科理論的學習方面，技職體系的學生往往難以將抽象概念與實際應用相結合。因此，本研究透過實踐系列課程的設計，引導學生運用 Arduino 開發平台，結合 ESP32 開發板與多種感測器（如蜂鳴器、溫溼度感測器、氣體感測器等），透過實際範例演練（如圖 9 所示），讓學生能夠在動手實作的過程中加深理解，提升學習興趣與成就感。此外，本課程亦融入 NSDB 與 SWOT（策略分析），引導學生從市場未滿足的需求出發，結合自身能力與優劣勢分析，發展符合市場需求的產品設計。透過這種方法，學生不僅能夠從需求面延伸至所需技能的學習，更能透過單晶片（ESP32）相關教學範例發想創新提案，並進一步發展具應用價值的產品概念。這種教學模式不僅培養學生的技術實作能力，也訓練其問題解決能力、創新思維與市場導向的產品開發能力。

為了評估本計畫課程對學生學習成效的影響，本研究採用問卷調查法，透過前測與後測的方式來進行學習成效評估，針對之前課程問卷，調整前、後測編製之間卷調查方式，進行調查與資料數據分析，審視本計畫教學研究之成效，透過三面向來探討分析，分別為「課程體驗滿意度」、「學習體驗」以及「技能學習調查」，問卷問題涵蓋學生學習態度（attitude）、課程參與態度（participation）以及課程應用態度（application）。個別項目回答使用五個回應等級，衡量對於該項陳述認同度。課程為「綠電永續淨零跨域整合實務」系列課程，以年度課程形式運行，並透過團隊合作模式進行專案實作。問卷調查於課程的第一週與第十八週結束後發放，藉此了解學生對於課程設計、學習體驗、實作過程的滿意度，並透過學生對於課程技能學習與吸收程度的回饋，作為未來課程優化的參考依據。本教學課程亦結合綠電創能技術、3D 可視化、AIoT 智慧物聯網應用，以能源實作體驗為核心，落實減碳議題，提升學生對於再生能源技術的理解與應用能力。透過「做中學」的體驗式學習模式，不僅增強學生對課程內容的興趣，更能激發其創新思維與動手實作能力，使其在未來產業應用及職涯發展上更具競爭力。

圖 9

學生提案與實作成果



(二) 研究範圍目標執行對象與場域實施模式

本研究所使用的問卷分為三大面向：「課程體驗滿意度」、「學習體驗」以及「技能學習調查」，旨在全面評估學生對問題導向學習 PBL 結合綠電課程的認知與成果。問卷以李克特氏五點量表作為主要量化衡量工具，便於系統化地分析學生在各個構向上的回應。課程體驗滿意度，此面向聚焦於學生對課程整體及其組成部分的滿意度，進一步細分為四個構向：

1. 授課老師：探討學生對授課教師的教學方式、解說清晰度、回應問題的即時性以及引導討論能力的看

法。在問題導向學習 PBL 框架下，教師的引導方法對於提升學生的參與感和學習成效至關重要。

2. **課程內容**：評估課程材料在綠電創能及淨零永續領域的相關性、全面性及實用性，並考量是否有效整合跨領域知識及實際案例。
3. **人際互動**：檢視學生在團隊合作、同儕討論及協作學習中的參與程度。由於永續教育的跨學科特性，強化溝通與合作技能對於培養問題解決能力至關重要。
4. **學習成就**：測量學生在新知識與能力獲得上的主觀感受，評估其技術技能、概念理解及將所學應用於現實挑戰的信心是否有顯著提升。

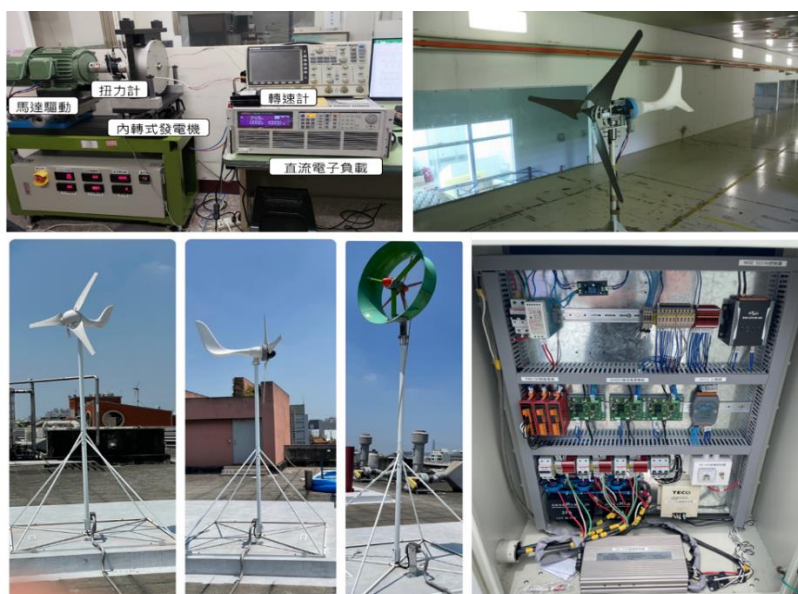
學習體驗此面向重點在於學生在課程中的參與程度與動機，探討學生對課程內容的興趣、相關性的認知，以及問題導向學習 PBL 教學法對其主動學習的促進效果。此外，亦關注學生是否因此養成了獨立學習習慣與批判思考能力，這些都是問題導向學習 PBL 的核心目標。技能學習調查為最後一個面向，著重於課程是否有效培育出符合綠電產業需求的實務技能，主要涵蓋以下幾個層面：

1. **技術技能**：評估學生在綠電創能技術、數位整合及永續實務上的熟練程度。
2. **分析與問題解決能力**：探討學生是否能將理論概念應用於實務場景，並提出創新解決方案。
3. **數位化與智慧化技術整合**：測量學生在運用數位工具、智慧監控系統及數據驅動決策方面之熟悉程度。

本研究對象主要為本校四技日間部機械系一年級以上之學生，這些學生是課程的主要修課群體。聚焦於綠電創能和淨零排放這兩個重要議題，並以實務化教學場域（圖 10）和豐富的測試資源來輔助學生的學習。這包括：校內 K 棟發電機測試載台場域：提供學生實際測試和操作機會，讓理論與實務結合。V 棟頂樓小型示範測試風場：展示風能設備的運行特性及其對發電效率的影響，讓學生從中了解技術挑戰。台南歸仁內政部建築研究所風雨風洞實驗室：為學生提供專業測試環境，模擬不同氣候條件下的風能發電效能，並學習如何進行數據分析和技術改進。這些設施將使學生能更直接地接觸到目前綠能產業所面臨的實際問題，並在動手解決的過程中提升分析能力和技術突破能力。同時，學生能夠更早接觸到業界真實需求，建立其未來職涯發展的基礎。為進一步優化課程內容，本計畫以問題導向學習 PBL 及設計思考教學方式為核心課程執行策略，將目前氣候異常所遭遇現況，並與同學們一同分析、探索及研擬解決行動方案，並結合綠能創新與數位智能應用之技術，幫助學生理解能源轉型之前沿技術和解決方案。同時，透過問卷調查與數據統計分析，教學團隊可以不斷檢視學生的回饋，調整教學進度，優化教學設計。未來，課程將朝向更系統化的綠電與淨零教學模組發展，並希望透過與業界和研究機構的合作，提供更多實習機會及實驗平台，讓學生在校園內就能獲得接軌職場所需的專業能力和實務經驗。

圖 10

校內實踐場域及內政部建築研究所風雨風洞實驗室



根據整年度學期授課情況觀察，課程以分組形式進行，每週按照課程進度安排，學生會進行範例實作及簡報提案。這種模式之目的是鼓勵學生自主參與，並在過程中學會如何結合理論與實踐，透過實例操作來理解技術細節。期末時，學生需完成小專題製作並進行成果發表。從多學期的教學經驗來看，這種教學方式，讓學生們自我可以感受到明顯成長與進步。學生不僅在專業技能上獲得了提升，還培養了專案規劃、團隊合作及問題解決之能力。最終一堂課，除了安排期末專題實作成果分享外，還讓學生針對整學期所學進行問卷調查與統計分析。透過這些調查結果，教師可以全面了解學生的需求、所面臨的問題、學習過程中的困惑，並用作下一階段課程設計和改進的參考依據。本研究希望能提供對課程影響的全面評估。透過李克特量表的應用，確保回應的一致性與可比性，進而進行有力的統計分析。調查結果將提供有價值的見解，反映問題導向學習 PBL 策略在永續教育中的有效性，並為未來的課程改進提供依據，使之更符合產業需求與學生期望。

四、研究信實度與倫理說明

本研究所使用之問卷工具，係依據問題導向學習 PBL 教學法、再生能源技術教育、跨域整合教學實務、及學習成效相關文獻進行初步構面建構與題項設計，內容包含三大面向：「課程體驗滿意度」、「學習體驗」與「技能學習調查」，並細分多個次構向（如授課老師、課程內容、團隊互動、學習成就等）。於正式施測前，為確保問卷具備良好內容效度（Content Validity），邀請具綠能技術、教學評鑑及高等教育研究經驗之專家學者進行專家內容效度審查（Expert Review）。專家針對題目適切性、文字清晰度、構面一致性與衡量能力進行逐項檢視與建議，並據此修正題目措辭與選項語意，使問卷更貼近學生真實學習情境與教學脈絡。問卷回收後，進行信度分析以檢驗其內部一致性。研究採用 Cronbach's α 係數作為衡量指標，其中三大構面之 α 值皆介於 0.851 至 0.904 之間，顯示問卷各構面具高度一致性，具備良好信度。信度係數分析顯示各題項間之相關性良好，資料可用於後續進行統計分析與推論。

本研究屬於以課程教學介入為基礎的教育實務研究，對受試者之風險屬於極低程度，然而為保障學生權益並符合法規，本研究依照教育部與本校訂定之「學術研究倫理指導原則」進行規劃與執行。於資料蒐集前，研究團隊向參與學生完整說明研究目的、內容、資料使用方式與參與權利，並發放書面說明書（含問卷說明與知情同意聲明），所有參與者皆在知情同意下自願填寫問卷，且可於任何階段選擇中止參與。研究過程中所取得之資料皆以匿名方式處理，僅用於學術分析與研究成果發表，不會用於任何個人識別或商業用途。此外，若未來本研究進一步延伸為跨校、跨領域或進行深度訪談研究，將依學術規範辦理研究倫理審查（IRB），以維持研究之合法性與參與者之尊重與保護。

肆、教學研究結果分析與討論

本研究蒐集利害關係人資料之方式分為問卷調查與深度訪談兩類，分別對應不同身分背景之利害關係人，進行與計畫成果相關之資料收集，課程學生則進行前後測方式，來比較學習成效差異，學期已向各課程發放前測、後測問卷，針對學生的學習方式、信心程度、對實作的興趣與對課程期許等面向進行調查，旨在比較學生在修習社會實踐課程前後的變化，設計問卷予以填寫，透過單一測驗或前後測方式，分析學生之學習方式、自主學習能力、解決問題能力、團隊合作意願等面向，評估導入場域實踐對學生之正面影響。112 學年度完成課程前、後測問卷發放並完成統計分析。成效評估資料之蒐集，以凝聚問題意識，透過 SPSS 統計分析作為評估本計畫成效之依據。各項質性資料包含訪談紀錄、會議紀錄等，統整關於課程實施面向、場域關係面向之各項有效資料。

由於本研究問卷為匿名填答，加上課程因有期初加選、期中退選及期末填問卷時有缺席等問題，使問卷於填寫人數在課程前後有所變化，導致有些人做前測，有些人做後測，造成樣本數不同，未能設置可辨識個體之欄位，導致部分樣本僅完成前測或後測，致使資料無法配對分析。未能完整反映個體變化趨勢，為本研究一項限制，因此本文採用了獨立樣本 t 檢定來比較「A 前測」與「B 後測」兩組，來比較前後測平均數之差異，本研究前後測共收集到 428 份問卷。以下節錄問卷部分題目之分析結果。「問題 5：是否喜歡課堂分組與團隊夥伴討論與互動？」，組別 A 前測之平均團隊合作喜好程度為 $M = 3.41$ ，標準

差為 $SD = 0.957$ ；組別 B 後測的平均團隊合作喜好程度為 $M = 3.98$ ，標準差為 $SD = 0.842$ 。根據獨立樣本 t 檢定的結果， t 值為 -6.549 ， $p < 0.001$ ，顯示出於這兩組之間『團隊合作喜好程度』上的差異具有統計顯著性。由於 $p < 0.001$ ，拒絕零假設，表示前測和後測之間「團隊合作喜好程度」具有顯著差異。表示經由本系列課程之引導，學生在課程結束後更樂於參與團隊合作，進行課堂專案的協作與溝通（圖 11）。

「問題 8：修習本課程前（後），你對自己專業能力之信心程度為何？」，組別 A 前測的平均專 $M = 2.90$ ，標準差為 $SD = 0.819$ ；組別 B 後測的平均為 $M = 3.37$ ，標準差為 $SD = 0.797$ 。根據獨立樣本 t 檢定的結果， t 值為 -5.843 ， $p < 0.001$ ，顯示出這兩組之間在「專業能力之信心程度」上之差異具有統計顯著性。由於 $p < 0.001$ ，表示前測和後測之間的「專業能力之信心程度」具有顯著差異。結果顯示經由課程帶領學生進入場域實踐，學生與在地場域互動後，發現自己有能力為社會產生貢獻，進而提升對自身專業能力之信心，顯現場域議題促進人才培育之成效。

圖 11

學生於期末問卷調查之成果（問題五、問題八）

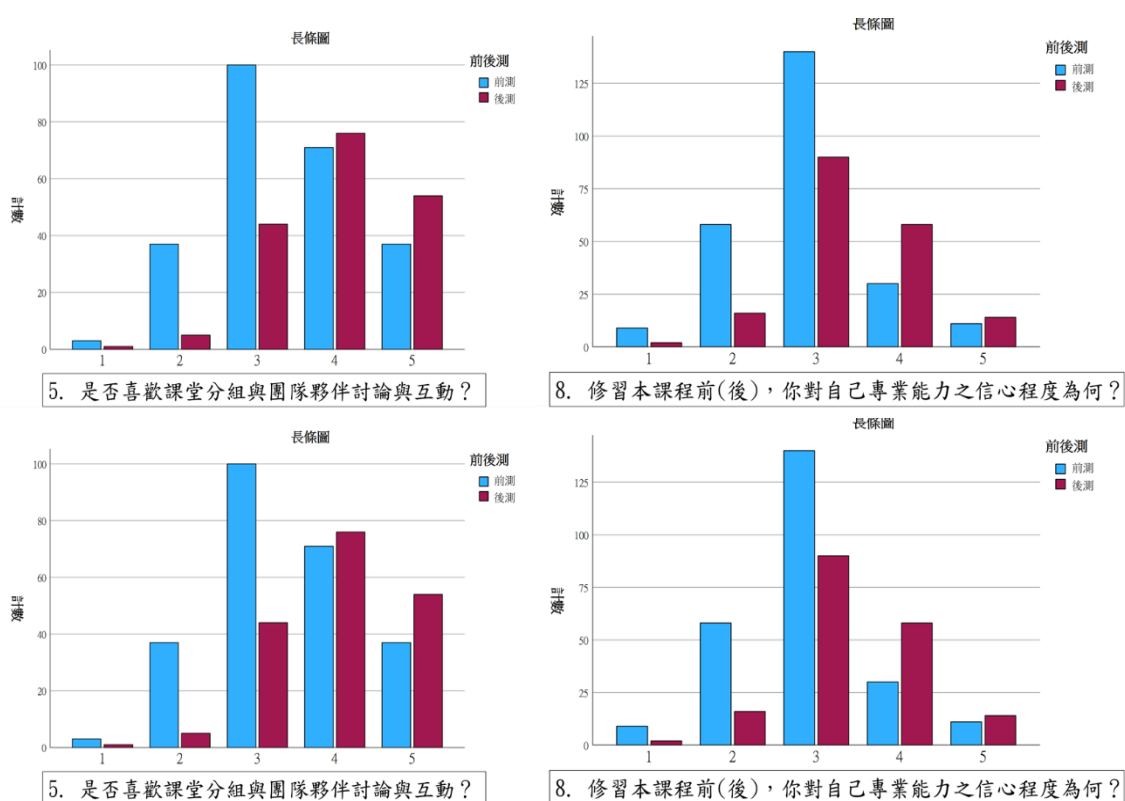


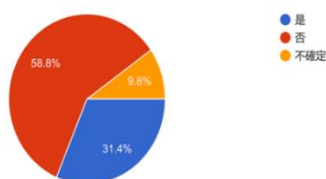
圖 12 為單一課程期末問卷之調查，可觀察到學生對於技能、專題實作與自主能力有大幅度之提升。本研究透過問卷調查與統計分析，評估透過導向學習 PBL 之教學方式，對於綠電永續系列課程之學生學習成效影響等問題，課程結束後之後測數據顯示，學生於技術技能、團隊合作、問題解決能力及專業信心等方面均有顯著提升。根據問卷數據，學生對於團隊合作的喜好程度在後測中提升（ $M = 3.98$, $SD = 0.842$ ），並達到顯著性差異（ $p < 0.001$ ），顯示問題導向學習 PBL 教學方式，以及 NSDB 問題探索與挖掘與 SWOT 策略分析擬定等導入課程內容進行實作教學，有效促進學生之間的互動與協作。此外，在專業能力信心度的測量上，學生從前測 $M = 2.90$ （ $SD = 0.819$ ）提升至後測 $M = 3.37$ （ $SD = 0.797$ ），顯示學生透過實作與理論結合之學習方式，增強對自身專業能力的認同與信心。整體來看，本研究所實踐之系列課程不僅促進了學生對綠能技術之認識與學習，也提高其團隊合作與自主學習能力，搭配實作可能出現的失敗問題與反思，再結合理論加以優化設計，使學生對課程內容之理解更為深刻，能夠應用所學技術於實務專案開發，展現問題導向學習 PBL 教學法之有效性，更有機會帶領同學往商品化與服務創新之思維，邁向創意創業之三創行動解決方案進行。

圖 12

學生於期末問卷調查之成果

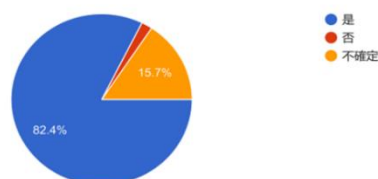
36. 在選修這門課之前，是否有參與過專題式學習（project-based learning）的課程？

51 則回應



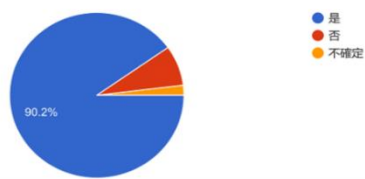
40. 你滿意你們小組完成的專題成果嗎？

51 則回應



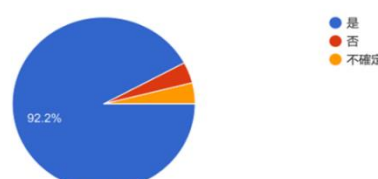
37. 對於專題報告，你了解自己所負責任務的範圍？

51 則回應



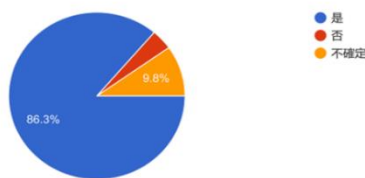
41. 這門課的專題報告是否提高你的專業知識？

51 則回應



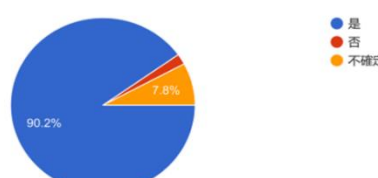
38. 為了完成專題報告，你有能力找到所有需要的資訊？

51 則回應



42. 這門課的專題報告是否提高你的實作能力？

51 則回應



伍、結果與討論

一、綠電創能與淨零排放議題之理解與應用

在課程設計中，透過本校 K 棟發電機測試載台場域、V 棟頂樓小型示範測試風場，以及台南歸仁內政部建築研究所風雨洞實驗室等多個實驗場域，學生能夠親自參與綠電創能與淨零技術的測試與開發。這種場域學習方式有效縮短了學術與產業應用之間的落差，學生可直接面對產業實務所遇到的技術挑戰，並學習解決策略。此外，本研究導入了 NSDB 提案策略與 SWOT 分析，引導學生在專案開發過程中思考市場未滿足的需求，進一步結合 ADDIE 教學設計，使學生不僅能夠掌握技術，更能夠在實踐過程中發掘創新應用的可能性。在訪談回饋中，多數學生表示透過課程中的數位孿生（Digital Twin）與 AIoT 技術應用，學習到如何運用智慧監控系統來提升綠能發電效能。此一學習方式不僅增強了技術實作能力，亦提升了學生對數據分析與數位應用的興趣，對未來進入綠能產業發展具有高度實用性。

二、問題導向學習 PBL 教學法有效性驗證

本研究結果顯示，學生透過問題導向學習 PBL 課程能顯著提升在技術實作、團隊合作、問題解決與專業信心等能力，與過去學者對問題導向學習 PBL 在工程教育與永續教育中所展現之成效研究相符。Hoque 與 Yasin（2022）指出，問題導向學習 PB 能促進學生進行深度學習，並將知識轉化為真實世界的解決方案，這與本研究中學生於專案中實作風力發電機系統與 AIoT 整合應用的表現高度一致，顯示問題導向學習 PBL 不僅提升其學習興趣，亦強化其創意思考與實務操作能力。此外，Tejedor 等人（2018）強調，在永續發展教育中，應引導學生透過實作與多學科融合方式，主動探究氣候與能源議題。本研究設計的跨域課程，融合了再生能源技術、感測系統設計與數位化模擬等元素，符合其建議之教學實踐模式，並進一步透過 ADDIE 與 NSDB 提案策略，使學生具備從市場需求出發、思考解決方案的邏輯流程，為產業導向的教育提供具體實證依據。Fukuzawa 等人（2016）在探討問題導向學習 PBL 應用於永續工程教育時亦指出，透過專案學習能使學生發展跨領域整合與團隊合作之能力，並建立對永續議題的責

任感與實踐動機。本研究學生對團隊合作的喜好程度與學習動機明顯提升，亦反映問題導向學習 PBL 策略有助於學生建立責任分工、共同達成專案目標的經驗基礎，進而為未來進入職場或參與永續實踐工作奠定能力。另一方面，本研究導入數位學生與 AIoT 技術作為課程內容的核心元素，也回應了 Hazrat 與 Hassan (2023) 指出 IoT 技術在教育應用中，可培養學生資訊整合、系統思考與實時資料應用能力的研究觀點。本課程所設計之 3D 可視化與數據感測實驗操作，讓學生能直接參與智慧監控系統建置與發電資料收集，顯示學生不僅能學會技術，更能理解其在實際應用上的價值與挑戰。

整體而言，本研究結果不僅驗證問題導向學習 PBL 之策略，對於技職體系學生學習成效之正面影響，也進一步佐證了前人文獻中對於跨領域整合、數位科技導入與再生能源教育結合所能帶來之教育價值。問題導向學習 PBL 教學策略之導入，有效地提升了學生學習參與度與滿意度，並使其學習態度有所改善。從課堂觀察與學生回饋來看，學生於學習過程中能夠主動尋找資源、提出問題、進行討論，展現了較傳統講授式課程更高之學習動機。此外，專題式學習方式促使學生需透過實驗、測試、數據分析與專案管理來完成期末專題，從而培養了更完整之綜合技能（包括創新思維、邏輯推理與專案執行能力）。課程中所創造出協同學習機制亦提升了學生間之交流與合作，使其在團隊合作、專案提案、溝通與簡報能力方面獲得成長，將有助於進一步強化學生於實務操作、創新設計與永續議題回應能力之養成。

三、結論與建議

本研究結合問題導向學習 PBL 教學策略與綠電創能、數位整合與淨零永續等核心議題，發展一套具實務導向與跨域整合特色之創新課程，並於實施過程中透過 ADDIE 教學模型與 NSDB 提案策略引導學生進行專案設計與問題解決，針對大學部機械與電機系學生進行系統化教學與學習成效評估。研究結果顯示，學生於技術能力、自主學習態度、專業信心與團隊合作能力等面向皆有明顯提升，且問卷分析亦驗證其學習成效具統計上顯著差異，顯示問題導向學習 PBL 課程在實踐場域中對學生專業能力養成具有實質成效。本研究亦證實，透過場域實作結合數位學生、AIoT 與 3D 可視化等新興技術，能有效縮短學術教學與實務應用之落差，幫助學生連結現實世界之技術挑戰，進而激發其創新思維與市場導向之產品設計能力。課程不僅提供學生多樣化的學習體驗，也成功促進對能源轉型、永續發展與淨零碳排放議題之認知與關注，為再生能源人才培育與永續教育實踐提供了具體模式與參考價值。

根據本研究執行成果，提出以下建議作為未來課程優化與後續研究之參考方向：

- (一) **課程深化與模組化發展**：可進一步發展為系統化教學模組，提供教師彈性選用不同單元，並可依不同學生背景做差異化調整，提升教學成效與學生參與度。
- (二) **跨領域融合與企業合作**：未來應加強與能源、工程、資訊、材料等不同領域之師資與業界專家合作，推動跨領域協同教學與產學共學計畫，增加學生實務應用與職涯發展的連結。
- (三) **強化數據分析與數位技能培訓**：課程內容可加入資料視覺化、程式設計與物聯網應用模組，強化學生在數位應用與各台界片整合操作方面之能力，以因應未來智慧能源系統發展趨勢。
- (四) **後續追蹤研究與影響評估**：建議進行畢業學生長期追蹤調查，評估問題導向學習 PBL 教學對其就業、創新與職涯發展之實質影響，並作為政策與教育改革之參考依據。

四、未來課程改進方向

儘管本研究顯示問題導向學習 PBL 的綠能課程對學生學習成效有顯著助益，但仍可進一步優化以下幾個方面：提升學生的數據分析能力：雖然本課程導入了 AIoT 與數位學生技術，但部分學生在數據分析與應用方面仍需更多輔導，可考慮加入更完整的數據處理與分析模組。擴展企業合作與實習機會：建議與企業合作，提供更多實務專案，讓學生能夠參與業界實際專案開發，以進一步加強學習與產業需求的銜接。增強跨領域學習機會：可納入材料科學、能源經濟與政策等課程內容，幫助學生更全面理解綠能產業的發展趨勢與挑戰。長期追蹤學習成效：未來可增加對畢業生的追蹤研究，以了解問題導向學習 PBL 課程對學生職涯發展的實際影響，進一步評估其在職場中的應用成效。

本研究結果顯示，透過問題導向學習 PBL 策略與專題式學習，學生在綠電創能、數位整合、技術應

用及問題解決能力方面皆有所提升，並對學習產生更高的動機與投入度。特別是透過場域實驗與數據分析的應用，學生對於淨零排放與綠能發電的理解更加深刻，並具備將學習成果應用於實際問題的能力。未來可透過進一步的課程優化與企業合作，提升學生的跨領域整合能力與數據應用技能，使其能更好地適應未來綠能產業的發展需求。本研究顯示問題導向學習 PBL 之教學法，於永續發展與工程教育中具有高度可行性，並能作為未來推動綠能人才培育的有效模式。

參考文獻

- 何昕家、黃天麒 (2024)。探究 STEAM 教育實踐聯合國永續發展目標 (SDGs) 問題導向學習模式。《教科書研究》，17 (2)，79–117。
- 徐昊杲、施秀青 (2014)。國民中小學能源教育之推動經驗與成果。《技術及職業教育學報》，5 (3)，99–128。
- 陳佩英 (2018)。跨領域素養導向課程設計工作坊之構思與實踐。《課程研究》，13 (2)，21–42。
- 陳閔翔 (2024)。把 SDGs 帶進通識教育：以「公民倫理與多元文化」課程為例。《通識學刊：理念與實務》，12，41–86。 [https://10.6427/JGECIP.202403_12\(1\).0002](https://10.6427/JGECIP.202403_12(1).0002)
- Bosman, L.B., & Chelberg, K.A. (2019). Integrating context and authenticity to increase pre-college engagement through the STEM academy for renewable energy education. *International Journal of Pedagogical Innovation*, 7(2), 17–29.
- Fergusson, L. (2022). Learning by... Knowledge and skills acquisition through work-based learning and research. *Journal of Work-Applied Management*, 14(2), 184–199.
- Fukuzawa, S., & Boyd, C. (2016). Student engagement in a large classroom: Using technology to generate a hybridized problem-based learning experience in a large first year undergraduate class. *The Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 7(1). <https://doi.org/10.5206/cjsotl-rcacea.2016.1.7>
- Ghashim, I.A., & Arshad, M. (2023). Internet of things (IoT)-based teaching and learning: modern trends and open challenges. *Sustainability*, 15, 15656.
- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M.A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable operations and computers*, 3, 275–285.
- Hazrat, M.A., Hassan, N.M.S., Chowdhury, A.A., Rasul, M.G., & Taylor, B.A. (2023). Developing a skilled workforce for future industry demand: The potential of digital twin-based teaching and learning practices in engineering education. *Sustainability*, 15, 16433.
- Hoque, F., Yasin, R.M., & Sopian, K. (2022). Revisiting education for sustainable development: Methods to inspire secondary school students toward renewable energy. *Sustainability*, 14, 8296.
- Jeong, J.S., & González-Gómez, D. (2020). Adapting to PSTs' pedagogical changes in sustainable mathematics education through flipped e-learning: Ranking its criteria with MCDA/F-DEMATEL. *Mathematics*, 8, 858.
- Kandpal, T.C., & Broman, L. (2014). Renewable energy education: A global status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 300–324.
- Lehmann, M., Christensen, P., Du, X., & Thrane, M. (2008). Problem-oriented and project-based learning (POPBL) as an innovative learning strategy for sustainable development in engineering education. *European journal of engineering education*, 33, 283–295.
- Lucas, H., Pinnington, S., & Cabeza, L.F. (2018). Education and training gaps in the renewable energy sector. *Solar Energy*, 173, 449–455.

- Nguyen, L.T.V., Cleveland, D., Nguyen, C.T.M., & Joyce, C. (2024). Problem-based learning and the integration of sustainable development goals. *Journal of Work-Applied Management*, 16, 218–234.
- Ocetkiewicz, I., Tomaszewska, B., & Mróz, A. (2017). Renewable energy in education for sustainable development. The Polish experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 92–97.
- Oja, K.J. (2011). Using problem-based learning in the clinical setting to improve nursing students' critical thinking: an evidence review. *Journal of Nursing Education*, 50, 145–151.
- Ramos, T.B., Caeiro, S., Van Hoof, B., Lozano, R., Huisingh, D., & Ceulemans, K. (2015). Experiences from the implementation of sustainable development in higher education institutions: Environmental management for sustainable universities. *Journal of Cleaner Production*, 106, 3–10.
- Tejedor, G., Segalàs, J., & Rosas-Casals, M. (2018). Transdisciplinarity in higher education for sustainability: How discourses are approached in engineering education. *Journal of Cleaner Production*, 175, 29–37.
- Thomas, C., Jennings, P., & Lloyd, B. (2008). Issues in renewable energy education. *Australian Journal of Environmental Education (Jun ed.)*, 24, 67–73.
- Wang, X., & Guo, L. (2021). How to promote university students to innovative use renewable energy? An inquiry-based learning course model. *Sustainability*, 13, 1418.
- Yew, E.H.J., & Goh, K. (2016). Problem-based learning: An overview of its process and impact on learning. *Health Professions Education*, 2, 75–79.
- Zhang, L., Zhou, L., & Horn, B.K. (2021). Building a right digital twin with model engineering. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 151–164.